

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SUELOS Y CONTENIDO DE
NUTRIENTES FOLIARES Y SU RELACIÓN CON LA INCIDENCIA DE LA
PUDRICIÓN DE COGOLLO EN PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis* Jacq)
EN EL MUNICIPIO DE ZONA BANANERA. MAGDALENA**

CARLOS ERNESTO IBAÑEZ FERNANDEZ

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRONÓMICAS
MONTERIA- CÓRDOBA
2021**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SUELOS Y CONTENIDO DE
NUTRIENTES FOLIARES Y SU RELACIÓN CON LA INCIDENCIA DE LA
PUDRICIÓN DE COGOLLO EN PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis* Jacq.)
EN EL MUNICIPIO DE ZONA BANANERA. MAGDALENA**

**Trabajo de grado, modalidad investigación, como requisito para optar el
título de Magister en Ciencias Agronómicas Con énfasis en Suelos**

Directores

**ENRIQUE COMBATT CABALLERO I.A. Ph.D.,
DELMIDES DENDRID OSPINO GUTIERREZ, I.A.,
Especialista en ciencias ambientales**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRONÓMICAS
MONTERIA- CÓRDOBA**

2021

Los derechos sobre los textos y las imágenes incluidas en este trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor y no necesariamente reflejan el pensamiento de la Universidad de Córdoba.

La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas expresadas, conceptos y resultados del proyecto son responsabilidad del autor.

Artículo 17, acuerdo N° 039 del 24 de junio de 2005 del consejo superior de la Universidad de Córdoba.

NOTA DE ACEPTACIÓN

JAVIER GARCÍA ALZATE I. A, Esp Cítricos., M.Sc. PhD, Jurado

JUAN DE DIOS JARABA NAVAS I.A, M.Sc, PhD, Jurado

ENRIQUE COMBATT CABALLERO, I.A, PhD, director

Montería, 2021

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, escucharme y orientar mi camino hacia el cumplimiento de mis objetivos y sueños.

A mi familia, que siempre estuvo aportando su esfuerzo, trabajo, y brindando el valioso apoyo en este momento tan necesario. A mi mamá Enilda Fernández Suarez, el mejor regalo que tengo gracias a Dios y a la vida, merece esta dedicatoria por creer siempre en sus hijos brindando todo lo material, emocional y sentimental posible sin duda alguna.

A Rosana Escalante del valle por su apóyame incondicional dándome fuerza en los momentos más difícil.

A mis hermanos Carmen Ibáñez, Elizabeth Ibáñez, Ernesto Ibáñez, y Eduardo Ibáñez por el apoyo incondicional

A mis Sobrinos Moisés Ferreira, Hermes De la Rosa, Fernando Ferreira, Elizabeth de la Rosa y Natalia De la rosa por su apoyo y compañía.

A mi profesor Eliecer Canchano Niebles por regalarme la inquietud de aprender

A la Familia Zubiría Escalante por ayudarme a conseguir mis metas.

A los docentes del programa de ingeniería agronómica de la Universidad del magdalena, por ser los formadores básicos de mi disciplina.

AGRADECIMIENTOS

al señor **Eduardo Dávila Armenta** propietario del grupo **Dávila & Dávila**, por su apoyo económico y logístico durante toda la etapa de estudio y ejecución de este proyecto.

a mí director de tesis **Enrique Combatt Caballero ph.d.**, y al **I.A. Delmides Dendrid Ospino Gutiérrez especialista en ciencias ambientales**. por su apoyo, colaboración, enseñanzas y sus orientaciones durante toda la ejecución de este proyecto.

a la **universidad de córdoba** por brindarnos todos los recursos posibles para la realización de este proyecto.

a todos los docentes, coordinación y compañeros de la maestría en ciencias agronómicas por compartir sus conocimientos y brindarnos espacios de aprendizaje.

a mis amigos y compañeros de trabajo, que siempre estuvieron conmigo en este camino, **Robert Smith Valencia, Sol Mirena Pájaro Fernández y Ronald Echeverría**, por su colaboración en las jornadas de campo, en la universidad y en la consolidación de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN GENERAL-----	15
GENERAL ASTRACT	18
CAPITULO I	200
INTRODUCCIÓN GENERAL	
1.1 INTRODUCCIÓN	211
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
1.3 GENERALIDADES.....	256
1.3.1 Origen, taxonomía y distribución de la especie	266
1.3.2 Nombre botánico y Clasificación taxonómica	266
1.3.3 Importancia económica del cultivo de la palma de aceite	277
1.3.4 Pudrición del cogollo (PC) de <i>E. guineensis</i>	288
1.3.5 Síntomas de la PC.....	288
1.3.6 Determinación y evaluación de la severidad de la enfermedad pudrición de cogollo en palma.....	30
1.3.7 Características de los suelos del departamento del Magdalena (Zona Bananera)	31
1.3.8 Características edáficas.....	32
1.3.9 Propiedades químicas de los suelos.....	332
1.3.10 Propiedades físicas del suelo	33
1.3.11 Efecto de las condiciones físicas y químicas del suelo, en la incidencia de pudrición de cogollo	33
1.3.12 El análisis foliar en palma africana.....	34
1.4 OBJETIVOS	35
1.4.1 Objetivo general.....	35
1.4.2 Objetivos específicos	35
1.5 REFERENCIAS	36
CAPITULO II	42

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS Y SU RELACIÓN CON LA PUDRICIÓN
DEL COGOLLO EN EL CULTIVO DE PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis* Jacq.)
EN EL MUNICIPIO DE ZONA BANANERA DEL MAGDALENA

RESUMEN	43
ABSTRACT	44
2.1 INTRODUCCIÓN	45
2.2 METODOLOGÍA.....	48
2.2.1 Localización del proyecto.....	48
2.2.2 Establecimiento de la investigación	48
2.2.3 Población y muestra	49
2.2.4 Diseño experimental	49
2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
2.3.1 Descripción de los perfiles modales.....	50
2.3.1.1 Nivel de incidencia cero (0)	50
2.3.1.2 Nivel de incidencia bajo (I).....	54
2.3.1.3 Nivel de incidencia media (II).....	58
2.3.1.4 Nivel de incidencia alta (III).....	61
2.3.2 Evaluación de la densidad aparente en los diferentes grados de severidad en la finca Padelma.	64
2.3.3 Resistencia a la penetración en profundidad en el lote 1.....	66
2.3.4 Resistencia a la penetración en profundidad en el lote 2.....	69
2.3.5 Resistencia a la penetración a diferentes profundidades en la zona de plateo en los diferentes grados de severidad	71
2.4 CONCLUSIONES.....	75
2.5 REFERENCIAS	76
CAPITULO III	81
CONDICIONES QUÍMICAS DEL SUELO, SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO FOLIAR EN PALMA AFRICANA EN DIFERENTES FINCAS EN EL MUNICIPIO DE ZONA BANANERA DEL MAGDALENA	
RESUMEN	82

ABSTRACT	83
3.1 INTRODUCCIÓN	84
3.2 METODOLOGÍA.....	86
3.2.1 Localización del proyecto.....	86
3.2.2 Localización de los puntos de muestras	86
3.2.3 Determinación del contenido nutrición del suelo.....	86
3.2.4 Determinación del contenido foliar	87
3.2.5 Diseño Experimental.....	87
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	88
3.3.1 Análisis de varianza para el pH y los contenidos de nutrientes del suelo .88	
3.3.1.1 Reacción del suelo	88
3.3.1.2 Materia orgánica (MO).....	88
3.3.1.3 Azufre (S)	90
3.3.1.4 Fósforo (P).....	90
3.3.1.5 Calcio (Ca).....	90
3.3.1.6 Magnesio (Mg).....	91
3.3.1.7 Potasio (K).....	91
3.3.1.8 Sodio (Na)	91
3.3.2 Análisis de varianza para el contenido de micronutrientes en el suelo	93
3.3.2.1 Hierro (Fe)	93
3.3.2.2 Manganeso (Mn)	93
3.3.2.3 Cobre (Cu).....	94
3.3.2.4 Zinc (Zn)	95
3.3.2.5 Boro (B)	95
3.3.3 Correlaciones entre las variables químicas de los suelos y el contenido foliar en <i>E. guineensis</i>	96
3.3.3.1 Finca Invarten.....	96
3.3.3.2 Finca Inversora.....	98
3.3.3.3 Finca Comercializadora	100
3.3.3.4 Finca Padelma.....	101

3.3.3.5 Finca Palmari.....	104
3.3.3.6 Finca Rosaleda.....	105
3.4 CONCLUSIONES.....	108
3.5 REFERENCIAS.....	109
CAPITULO IV.....	115
CONTENIDO FOLIAR DE NUTRIENTES, LA INCIDENCIA DE PC Y RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE PALMA AFRICANA EN EL MUNICIPIO DE ZONA BANANERA DEL MAGDALENA	
RESUMEN	116
ABSTRACT	117
4.1 INTRODUCCIÓN	118
4.2 METODOLOGIA.....	120
4.2.1 Localización del proyecto.....	120
4.2.2 Localización de los puntos de muestreo	120
4.2.3 Determinación del contenido foliar.....	120
4.2.4 Determinación de niveles de incidencia de PC.....	121
4.2.5 Determinación de la producción.....	121
4.2.6 Diseño experimental	121
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	122
4.3.1 Análisis de varianza para los contenidos foliares de macronutrientes ...	122
4.3.1.1 Nitrógeno (N)	122
4.3.1.2 Fósforo (P).....	123
4.3.1.3 Potasio (K).....	124
4.3.1.4 Calcio (Ca).....	127
4.3.1.5 Magnesio (Mg).....	127
4.3.2 Análisis de varianza para los contenidos foliares de microelementos	128
4.3.2.1 Hierro (Fe)	129
4.3.2.2 Manganeso (Mn)	129
4.3.2.3 Cobre (Cu).....	131
4.3.2.4 Zinc (Zn)	131

4.3.2.5 Boro(B).....	132
4.3.3 Análisis de varianza para el rendimiento	133
4.3.4 Correlaciones entre las variables químicas del contenido foliar, la PC y el rendimiento en cultivo de palma africana.....	134
4.4 CONCLUSIONES.....	138
4.5 REFERENCIAS	139
4.6 DISCUSION GENERAL.....	145
4.7 REFERENCIAS.....	160
4.8 CONCLUSIONES GENERALES	167
4.9 RECOMENDACIONES GENERALES.....	170

LISTA DE TABLAS

Pág.

CAPÍTULO I

Tabla 1.1. Clasificación taxonómica de la palma africana.....	266
Tabla 1.2. Relación cualitativa para los grados de severidad de la pudrición de cogollo de <i>E. guineensis</i>	31

CAPÍTULO II

Tabla 2.1. Descripción del pozo de observación modal del lote 1 e incidencia 0.....	51
Tabla 2.2. Descripción del pozo de observación modal del lote 2 e incidencia 0.....	52
Tabla 2.3. Principales características físicas encontradas en los pozos de observación para el grado de incidencia testigo, en los lotes I y II de la finca Padelma.....	53
Tabla 2.4. Descripción del pozo de observación modal del lote 1 e incidencia 1.....	55
Tabla 2.5. Descripción del pozo de observación modal del lote 2 e incidencia 1.....	56
Tabla 2.6. Principales características físicas encontradas en los pozos de observación para el grado de incidencia I en los lotes 1 y 2 de la finca Padelma.....	57
Tabla 2.7. Descripción del pozo de observación modal del lote 1 e incidencia II.....	58
Tabla 2.8. Descripción del pozo de observación modal del lote 2 e incidencia II.....	59
Tabla 2.9. Principales características físicas encontradas en los pozos de observación para el grado de incidencia I en los lotes I y II de la finca Padelma.....	60
Tabla 2.10. Descripción del pozo de observación modal del lote I e incidencia III.....	61
Tabla 2.11. Descripción del pozo de observación modal del lote 2 e incidencia III.....	62
Tabla 2.12. Principales características físicas encontradas en los pozos de observación para el grado de incidencia I en los lotes I y II de la finca Padelma.....	63
Tabla 2.13. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de la respuesta de la densidad aparente en diferentes grados de severidad en dos lotes sembrado con palma africana en la finca Padelma.....	64
Tabla 2.14. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de la respuesta de la densidad aparente en diferentes grados de severidad en cada lote sembrado con palma africana en la finca Padelma.....	64
Tabla 2.15. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de la respuesta de la resistencia a la penetración en diferentes grados de severidad a diferentes profundidades en suelos establecidos con palma africana en la finca Padelma.....	67
Tabla 2.16. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de la respuesta de la resistencia a la penetración en diferentes grados de severidad a diferentes profundidades en suelos establecidos con palma africana en la finca Padelma.....	69

CAPÍTULO III

Tabla 3.1. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de las variables físico-químicas de diferentes fincas establecidas con palma africana en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.....	88
Tabla 3.2. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de los elementos menores de los suelos de diferentes fincas establecidas con palma africana en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.	93
Tabla 3.3. Correlaciones lineales de Pearson entre las características químicas del suelo y los contenidos químicos foliares en el cultivo de palma, finca Invarten.	97
Tabla 3.4. Correlaciones lineales de Pearson entre las características químicas del suelo y los contenidos químicos foliares en el cultivo de palma, finca Inversora.....	99
Tabla 3.5. Correlaciones lineales de Pearson entre las características químicas del suelo y los contenidos químicos foliares en el cultivo de palma, finca Inversora.....	101
Tabla 3.6. Correlaciones lineales de Pearson entre las características químicas del suelo y los contenidos químicos foliares en el cultivo de palma, finca Inversora.....	103
Tabla 3.7. Correlaciones lineales de Pearson entre las características químicas del suelo y los contenidos químicos foliares en el cultivo de palma, finca Palmarí.....	105
Tabla 3.8. Correlaciones lineales de Pearson entre las características químicas del suelo y los contenidos químicos foliares en el cultivo de palma, finca Rosaleda.....	106

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de los macroelementos de los tejidos foliares en palma africana en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.	11212
Tabla 4.2. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de los microelementos de los tejidos foliares en palma africana en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.	11278
Tabla 4.3. Correlaciones lineales de Pearson entre los contenidos químicos foliares y la incidencia de la pudrición del cogollo en el cultivo de palma africana, en diferentes fincas del municipio de Zona Bananera del Magdalena.....	135
Tabla 4.4. Correlaciones lineales de Pearson entre los contenidos químicos foliares y la incidencia de la pudrición del cogollo en el cultivo de palma africana, en diferentes fincas del municipio de Zona Bananera del Magdalena.....	137

LISTA DE FIGURAS

Pág.

CAPÍTULO II

- Figura 2.1.** Densidad aparente en diferentes grados de severidad en dos lotes establecidos con palma africana en la finca Padelma..... 65
- Figura 2.2.** Resistencia a la penetración en diferentes grados de severidad en dos lotes establecidos con palma africana en la finca Padelma..... 68
- Figura 2.3.** Resistencia a penetración en diferentes grados de severidad en dos lotes establecidos con palma africana en la finca Padelma 70
- Figura 2.4.** Resistencia a la penetración a diferentes longitudes y profundidad de muestreo en diferentes grados de severidad en dos lotes establecidos con palma africana en la finca Padelma. 72

CAPÍTULO III

- Figura 3.1.** Reacción del suelo y contenidos de materia orgánica, azufre y fósforo en seis fincas establecidas con el cultivo de palma africana en el año 2019 en el municipio de Zona Bananera del Magdalena..... 89
- Figura 3.2.** Contenido de bases intercambiables en los suelos de seis fincas establecidas con el cultivo de palma africana en el año 2019 en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.92
- Figura 3.3.** Contenido de elementos menores en los suelos de seis fincas establecidas con el cultivo de palma africana en el año 2019 en el municipio de Zona Bananera del Magdalena..94

CAPÍTULO IV

- Figura 4.1.** Contenido foliar de macroelementos en hojas del cultivo de palma africana para el año 2019 en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena,..... 126
- Figura 4.2.** Contenido foliar de microelementos en hojas del cultivo de palma africana para el año 2019 en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena..... 130
- Figura 4.3.** Rendimiento total para el año 2019 en el cultivo de palma africana en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena..... 134

RESUMEN GENERAL

Demostrar qué propiedades de suelos pueden estar influyendo en la manifestación de la enfermedad en la planta, de modo que se pueda identificar con el fin de proponer programas que logren mejorar la condiciones que están involucradas. El objetivo de esta investigación es Evaluar la relación entre las características físicas y químicas de los suelos, el contenido nutricional de las hojas y la Incidencia de la enfermedad Pudrición del Cogollo en el cultivo de la Palma Africana (*Elaeis guineensis* jacq.). Mediante la implementación de un ensayo realizado en la finca Padelma. El trabajo experimental se llevó acabo en el municipio de la Zona Bananera del departamento del Magdalena, ubicado al norte de Colombia, en el litoral atlántico. Esta zona se encuentra en las coordenadas geográficas: 10°46'00" de latitud Norte y 74°8'00" de longitud. El estudio se realizó bajo un diseño experimental de muestreo aleatorio simple en seis fincas con 38 repeticiones por finca (6*38). Las variables para las características físicas de los suelos, fueron evaluadas en ochos pozos de observación En cada pozo se realizó la descripción del primer y segundo horizonte del suelo. se evaluó el color, la estructura, el espesor de cada horizonte, presencia de macroorganismos, raíces, estado de óxido-reducción, nivel freático, profundidad efectiva de raíces, la textura al tacto, la prueba de compactación por medio la resistencia a la penetración del cuchillo y la densidad aparente por el método del cilindro biselado y la resistencia a la penetración por el método de penetrómetros manual de cono Eijkelkamp. Esta variable fue evaluada en dos formas: la primera se realizó en tres sitios al borde de la zona de plateo a tres profundidades de 10, 20 y 30 cm respectivamente. Para la segunda evaluación se realizaron tres transeptos en triangulo desde el fuste hasta el borde de la zona de plateo, evaluando cada 50 cm hasta los 3,5 m la resistencia a la penetración a tres profundidades de 10, 20 y 30 cm de profundidad. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y un análisis de comparación de medias de Tukey ($p=0,05$), un análisis de regresión para la resistencia a la penetración, siendo los datos procesados con el software estadístico SAS versión 9.1. Los resultados encontrados indican que entre los grados de incidencia de pudrición del cogollo (PC) el testigo, las texturas de que predomina fueron las francas, arcillas y franco arcillosa y franco limosa. La estructura está asociada a bloques angulares a subangulares, además, los suelos presentaron aproximadamente entre un 59,3 y 71,8% de gleyzación y entre 37,5 y 59,3 % de suelos compactados entre los pozos de observación evaluados. Entre los grados de severidad no se encontró diferencias entre los niveles de densidad aparente, oscilando entre 1,79 y 1,82 g cm⁻³. En cuanto a la resistencia a la penetración se encontraron niveles críticos altos en las diferentes profundidades, con valores que oscilaron entre 1,57 y 5,0 Mpa. Para evaluar las variables de las condiciones químicas del suelo y su relación con el contenido foliar se colectaron 38 muestras de suelos de 0 a 20 cm de profundidad, para el contenido nutricional foliar, se recolecto las muestras foliares en la hoja número 17 en 38 palmas adultas, las cuales se enviaron al laboratorio

de Cenipalma, Donde fueron evaluados los contenidos de macro y microelementos tanto en el suelo como foliares: N, P, S, Ca, Mg, K, Na+ Fe³⁺, Cu²⁺, Mn²⁺ y Zn²⁺, B, el pH, acidez intercambiable y el porcentaje de carbono orgánico. Los datos fueron sometido a un análisis de varianza (ANOVA), análisis de comparación de medias de Tukey($p \leq 0,05$), un análisis de correlación entre las variables químicas y foliares mediante el programa estadístico SAS versión 9.1. Los resultados encontrados indican que el pH fluctuó entre 5,2 y 6 considerándose como suelos ácidos. El contenido de materia orgánica en el suelo se encontró en entre 2,1 hasta 1,0% clasificado como bajo, a medios. En cuanto, a las propiedades químicas, de los suelos se halló que el contenido de azufre estuvo en el rango de 78,3 a 10,5 mg kg⁻¹ y de fósforo en el suelo, en un rango de 40,5 y 21,8 mg kg⁻¹ ubicándose por encima de los parámetros de Munévar y lares. El contenido de bases se caracteriza por tener alto contenido de calcio que van entre 10,4 a 5,0 cmolc kg⁻¹, para el contenido de Mg rango estuvo en 4,7 y 1,5 cmolc kg⁻¹. El contenido de potasio presento valores entre 1,1 y 0,6 cmolc kg⁻¹. Los niveles de concentración de hierro en los suelos mostraron valores que van de 382,5 a 199,1 mg kg⁻¹. Para el Mn se encontró los valores entre 57,4 y 14,5 mg kg⁻¹, para el Cu el rango de 5,1 a 2,4 mg kg⁻¹. Para el Zn sus valores estuvieron en los rangos entre 3,9 y 3,3 mg kg⁻¹ y para el boro el contenido estuvo en el rango de 11 y 0,8 mg kg⁻¹. Existe una correlación positiva entre el contenido manganeso, zinc y boro foliara y el contenido con el hierro y el cobre del suelo y el contenido de cobre foliar con el contenido de cobre en el suelo. Para la determinación de la variable del contenido foliar de nutrientes y su correlación con las condiciones químicas del suelo, la incidencia de pc y el rendimiento en el cultivo de palma africana. Se evaluó el contenido nutricional de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B de la hoja. Los datos fueron sometido a un análisis de varianza (ANOVA), análisis de comparación de medias de Tukey($p \leq 0,05$), un análisis de correlación entre las variables químicas y foliares mediante el programa estadístico SAS versión 9.1 Los resultados indicaron que los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio se encuentran a nivel foliar por debajo de los rangos críticos y el calcio se encontró por arriba de los contenidos críticos del cultivo, Los contenidos foliares de P, K y Mg no presentan correlación con los contenidos de nutrientes que presentan los suelos. Los elementos menores como hierro, cobre y zinc se establecieron como altos a nivel foliar, encontrando que están por arriba de los contenidos críticos. Los contenidos foliares de Mn, Cu y Zn no presentan correlación con los contenidos edafológicos que presentan los suelos. Con estos resultados se establece que en las fincas Inversora y comercializadora con 22,4 y 22 t ha⁻¹ presentaron los mayores rendimientos y la de menor rendimientos son Palmari y Rosaleda con 17,8 y 15,5 t ha⁻¹. A mayor contenido acumulado a nivel foliar de N, Ca, Mg, Cu y Zn, se presenta menor incidencia de PC, pero a mayor acumulación de K y B se presentará mayor incidencia de PC, a mayor contenido acumulado a nivel foliar de N, P, K y Zn foliar, se presenta mayor rendimiento, y a mayor acumulación de Mg y B se presentará menor rendimientos, en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

Palabras claves: Palma África, características químicas, características físicas, contenido nutricional foliar. Pudrición de cogollo.

.

GENERAL ASTRACT

Demonstrate what soil properties may be influencing the manifestation of the disease in the plant, so that it can be identified in order to propose programs that improve the condition involved. The objective of this research is to evaluate the relationship between the physical and chemical characteristics of the soils, the nutritional content of the leaves and the incidence of the disease Bud Rot in the cultivation of African Palm (*Elaeis guineensis* jacq.). Through the implementation of a test carried out on the Padelma farm. The experimental work was carried out in the municipality of the banana zone of the department of Magdalena, located in the north of Colombia, on the Atlantic coast. This zone is located at the geographic coordinates: 10°46'00" North latitude and 74°8'00" longitude. The study was carried out under an experimental design of simple random sampling in six farms with 38 replications per farm (6 * 38). The variables for the physical characteristics of the soils were evaluated in eight observation wells. In each well the description of the first and second soil horizons was made. the color, structure, thickness of each horizon, presence of macro-organisms, roots, state oxide of reduction, water table, effective depth of roots, texture to the touch, compaction test by means of resistance to knife penetration and bulk density by the beveled cylinder method and resistance to penetration by the Eijkelkamp cone manual penetrometer method. This variable was evaluated in two ways: the first was carried out at three sites on the edge of the silver-plating area at three depths of 10, 20 and 30 cm respectively. For the second evaluation, three triangular transects were made from the shaft to the edge of the silver area, evaluating the penetration resistance at three depths of 10, 20 and 30 cm every 50 cm up to 3.5 m. The data were subjected to an analysis of variance (ANOVA) and a comparison analysis of Tukey means ($p = 0.05$), a regression analysis for resistance to penetration, the data being processed with the statistical software SAS version 9.1. The results found indicate that among the degrees of incidence of bud rot (PC) the control, the predominant textures were loam, clay and clay loam and silty loam. The structure is associated with angular to subangular blocks, in addition, the soils presented approximately between 59.3 and 71.8% of gleyzación and between 37.5 and 59.3% of compacted soils between the observation wells evaluated. Among the degrees of severity, no differences were found between the levels of apparent density, ranging between 1.79 and 1.82 g cm⁻³. Regarding penetration resistance, high critical levels were found at different depths, with values ranging between 1.57 and 5.0 Mpa. To evaluate the variables of the chemical conditions of the soil and their relationship with the foliar content, 38 soil samples were collected from 0 to 20 cm deep, for the foliar nutritional content, the foliar samples were collected on leaf number 17 in 38 palms. adults, which were sent to the Cenipalma laboratory, where the contents of macro and microelements both in the soil and foliar were evaluated: N, P, S, Ca, Mg, K, Na + Fe³⁺, Cu²⁺, Mn²⁺ and Zn²⁺, B, pH, exchangeable acidity and the percentage of organic carbon. The data were subjected to an analysis of variance (ANOVA), Tukey's mean comparison analysis ($p = 0.05$), and a correlation analysis between chemical and foliar variables using the statistical program SAS version 9.1. The results found indicate that the pH fluctuated between 5.2 and 6 considered as acid soils. The content of organic matter in the soil was

found in between 2.1 and 1.0% classified as low, to medium. Regarding the chemical properties of the soils, it was found that the sulfur content was in the range of 78.3 to 10.5 mg kg⁻¹ and of phosphorus in the soil, in a range of 40.5 and 21, 8 mg kg⁻¹, located above the parameters of Munévar and Lares. The content of bases is characterized by having a high content of calcium ranging between 10.4 to 5.0 cmolc kg⁻¹, for the content of Mg range was 4.7 and 1.5 cmolc kg⁻¹. The potassium content presented values between 1.1 and 0.6 cmolc kg⁻¹. The iron concentration levels in the soils showed values ranging from 382.5 to 199.1 mg kg⁻¹. For Mn, values between 57.4 and 14.5 mg kg⁻¹ were found, for Cu the range of 5.1 to 2.4 mg kg⁻¹. For Zn its values were in the ranges between 3.9 and 3.3 mg kg⁻¹ and for boron the content was in the range of 11 and 0.8 mg kg⁻¹. There is a positive correlation between the foliar manganese, zinc and boron content and the iron and copper content of the soil and the foliar copper content with the copper content in the soil. For the determination of the variable of the foliar content of nutrients and its correlation with the chemical conditions of the soil, the incidence of pc and the yield in the cultivation of African palm. The nutritional content of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn and B of the leaf was evaluated. The data were subjected to an analysis of variance (ANOVA), comparison analysis of Tukey means ($p = 0.05$), a correlation analysis between chemical and foliar variables using the statistical program SAS version 9.1 The results indicated that the contents of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium are found at the foliar level below the critical ranges and calcium was found above the critical contents of the crop. The foliar contents of P, K and Mg do not present correlation with the nutrient contents of the soils. The minor elements such as iron, copper and zinc were established as high at the foliar level, finding that they are above the critical contents. The foliar contents of Mn, Cu and Zn do not present correlation with the edaphological contents that the soils present. With these results, it is established that in the Inversora and comercializadora farms with 22.4 and 22 t ha⁻¹ they presented the highest yields and the ones with the lowest yields are Palmari and Rosaleda with 17.8 and 15.5 t ha⁻¹. The higher the accumulated content at the foliar level of N, Ca, Mg, Cu and Zn, the lower the incidence of CP, but the higher the accumulation of K and B, the higher the incidence of CP, the higher the content accumulated at the leaf level of N, Foliar P, K and Zn, there is a higher yield, and a higher accumulation of Mg and B will show lower yields, in different farms in the municipality of the Magdalena banana zone.

Keywords: African palm, chemical characteristics, physical characteristics, foliar nutritional content. Bud rot.

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* jacq.) es una de las fuentes más importante de oleaginosa registrado a nivel mundial (Córdoba, Olán, García y Estrada, 2017), debido esencialmente a que es más rendidora que otras oleaginosas, pudiendo producir hasta 4 t·ha⁻¹ de aceite por año (Rival y Levang, 2015). La negociación de su aceite tiene una historia de más de 3.000 años de antigüedad, y es nativa de África ecuatorial occidental; sus semillas fueron transportadas a América por los barcos comerciantes que arribaban desde Europa en el siglo XIX (Bernal y Almonacid, 2006). En Colombia fue florentino Claes el gestor de introducir esta especie con fines ornamentales en el año de 1932 en la estación agrícola del valle del Cauca, pero se instala como cultivo con fines productivos en el año de 1945 en la zona Bananera del departamento del Magdalena por parte de la United Fruit Company con plantas originaria de Honduras (Mingorance, Minelli, y Le Du, 2004).

El cultivo de la palma de aceitera (*Elaeis guineensis* jacq.) presenta una alta ductilidad, por lo que se siembra en diversos países de cuatro continentes, entre los países más sobresaliente están, Indonesia, Malasia Nigeria, Tailandia, Colombia, Nueva Guinea, Costa de Marfil, Costa Rica, Brasil, Honduras y Guatemala, gracias a las áreas cultivadas, y los grandes rendimientos en aceite de palma. (Estupiñán, 2013). Actualmente Asia Suroriental se ha transformado en el mayor productor de aceite de palma, haciendo que los incrementos de la producción durante los últimos siete años se hayan dado en Malasia (8,5 % por año), e Indonesia (16,9 % por año) originado entre los dos una productividad del 80,0 % a nivel mundial (Fairhurst y Härdter, 2012).

La palma africana es uno de los cultivos perennes más sobresalientes en el territorio colombiano debido a su fácil expansión y tecnificación llegando a ser el segundo cultivo con mayor crecimiento con alrededor de 512.076 hectáreas sembradas en el 2016 (Fedepalma, 2017). Los países con mayores siembran de palma africana son, Malasia en primer lugar, Indonesia, Nigeria, Tailandia, Colombia, Nueva Guinea, Costa de Marfil, Ecuador, Costa Rica y Congo. (Onudi, 2014). Ubicando a Colombia en el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primero en América Latina, (SISPA-Fedepalma, 2018). En Colombia la palma de aceite está presente en cuatro zonas que son: Norte, Central, Oriental y Suroccidente que comprende 125 municipios en 25 departamentos de los 32 que constituye todo el país, llegando a una extensión alrededor de las 512.076 hectáreas haciendo que la palmicultura sea una de las ocupaciones agrícolas más beneficiosa para alcanzar el desarrollo nacional (Fedepalma, 2017).

En Colombia el cultivo de palma africana viene siendo afectado por una enfermedad llamada Pudrición del cogollo (PC) es la afección más grave que se ha presentado hasta ahora en Colombia está ocasionando incluso el deterioro y la pérdida de plantaciones enteras (Martínez *et al.*, 2013). Está enfermedad se encuentra distribuida en todas las zonas palmeras, y ha destruido cerca de 75.000 hectáreas en Tumaco, Puerto Wilches y el Departamento del Magdalena, y ha afectado económicamente a 60.000 hectáreas

en los Llanos Orientales (Sarria *et al.*, 2008a; Sarria *et al.*, 2008b; Torres 151 *et al.*, 2016)

Por más de cuarenta años el agente causal de la enfermedad no fue correctamente identificado. Trabajos realizados por el Centro de Investigación de Palma de Aceite (Cenipalma) de Colombia, identificaron a *Phytophthora palmivora* Butl, como el agente causante de las primeras lesiones, posteriormente se presentan patógenos oportunistas: varios hongos (*Fusarium* spp., *Colletotrichum* sp., *Thielaviopsis* sp., y *Rhizoctonia* sp, entre otros), bacterias (*Pseudomonas* sp. y *Erwinia* sp) e insectos (*Rhynchophorus palmarum*) que promueven el proceso de pudrición, el cual se inicia en los tejidos inmaduros de las flechas que se están desarrollando (Ramírez y Benítez, 2017)

Bajo un planteamiento orientado hacia el manejo de la PC como una enfermedad y previamente como un problema fisiológico, las conclusiones de la investigación han sido provechosa para dar recomendaciones al manejo de los llamados agentes condicionantes o predisponentes 1991-2005 (Munévar y Acosta, 2002). Siendo unos de los principales problemas fitosanitarios que aquejan y limitan el desarrollo del cultivo y por consiguiente su rentabilidad es la enfermedad denominada en Colombia como pudrición del cogollo (Louise, Amblard, Franqueville, Benavides y Gallardo, 2007), siendo unos de los problema fitosanitario que más preocupa a los palmicultores de Colombia (Pichón, 2010).

De acuerdo a lo planteado por Turner (2003), existe una relación directa entre la nutrición de la palma africana y la incidencia de la enfermedad. En este orden de ideas cabe anotar que las investigaciones realizadas con respecto a agentes predisponentes, han encontrado vínculo entre las condiciones químicas del suelo y tasas de crecimiento de la PC (Cristancho, Alfonso y Molina, 2012). De igual forma el contenido nutricional del suelo y el balance que exista entre los nutrientes en la solución pueden ser determinantes en la velocidad del desarrollo de la infección y en la recuperación de las palmas enfermas (Cristancho, Castilla, Rojas y Munévar, 2007). Con relación a las propiedades físicas y la enfermedad Pudrición del Cogollo se han encontrado relaciones con respecto al porcentaje de arcillas, la conductividad hidráulica y su relación con la compactación del suelo (Ospina, 1995). Además, la saturación de agua en el horizonte superficial del perfil (Cenipalma, 1995; Blanco, 1988; Munévar, 2000).

De acuerdo con Munévar y Acosta (2002) existe un gran interés sobre el crecimiento de la enfermedad con respecto al manejo agronómico de las plantaciones, la adecuación de los suelos antes de realizar la siembra, los drenajes internos y externo; así como el adecuado equilibrio de nutrientes. De acuerdo a lo planteado Albertazzi, Bulgarelli, y Chinchilla (2005) en el cual que no se había asociado de forma directa e irrefutable la enfermedad con un patógeno definido, esto hace que defienda la teoría que la PC es el producto de un desorden fisiológico vinculado con uno o más tipos de estrés.

A través de esta investigación se busca entender de qué manera las propiedades físicas y químicas del suelo, y su relación con el contenido nutricional de las hojas pueden influir en los rendimientos del cultivo y la predisposición de la palma a la enfermedad Pudrición del Cogollo (PC), y así poder actuar frente a la propagación de esta afección que tanto perjuicio le ha provocado al sector palmero. Esta investigación también ofrecerá información para comprender la problemática en otras regiones palmeras de Colombia, en donde la enfermedad se encuentre dispersada. Teniendo en cuenta que la Pudrición del Cogollo ya es considerada como una pandemia nacional. Esta investigación también busca elementos de juicio a los nuevos gremios palmeros para que estos actúen con responsabilidad y de forma preventiva en los nuevos cultivos de la palma.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De los países de sur América, Colombia es el cuarto productor mundial de aceite de palma (después de Indonesia, Malasia y Tailandia) y ocupa el primero puesto de

América, logrando en 2017 una productividad de 3,8 toneladas de aceite por hectárea (Dishington, Fedepalma, 55 años de gestión gremial, 2018).

La palma africana en un cultivo que está expuesto a factores de estrés de causa abiótico y biótico, siendo el ultimo una de las notables limitantes para su crecimiento, desarrollo y producción (Fouché, Plissonneau y Croll, 2018). Entre los factores bióticos, la pudrición de cogollo (PC) (Gómez, 2007), se una de las enfermedades más importante para el sector palmero colombiano, la cual está presente en las cuatro zonas del país como es la zona norte, oriental, sur-occidental y central. Según Martínez, Sarria, Torres y Varón (2010) entre 2006 y 2010 la pudrición del cogollo destruyó más de 35.000 ha en la Zona Sur-Occidental (Tumaco) y en la Zona Central (Puerto Wilches) perjudico más de 20.000 hectáreas.

La pudrición de cogollo se ha convertido en unas de las principales enfermedades que aqueja los rendimientos en este cultivo (Martínez, Sarria, Torres, Varón, Drenth y Guest, 2014b), principalmente por su fácil desimanación entre las palmas y porque afecta los tejidos tiernos en las zonas meristemática en el tercio superior del cogollo. Siendo que en este tejido se localiza las propiedades ideales para que se desarrolle el hongo *Phytophthora palmivora* (Martínez, 2008; Martínez, Sarria y Varón, 2010; Sarria *et al.*, 2008).

De acuerdo con De franqueville (2003) la pudrición de cogollo representa una seria amenaza para los productores de palma de aceite en diferentes regiones del mundo, como son los casos de ecuador en la década de 1970 (Franqueville, 2003; Dollet 1991). En Venezuela en la década de 1950 (Malaguti, 1953), en Perú y Brasil en la década de 1990 (Franqueville, 2003). A inicio de los años 60, se informó el primer caso de la Pudrición del cogollo en Urabá, en la zona noroccidental, muy cerca de Panamá, y para 1964 había desbastado una plantación con más de 2.000 ha (De Rojas y Ruiz, 1972).

Como menciona De Rojas y Ruiz, (1972) la pudrición de cogollos en Colombia fue reportada en el año1964, donde alcanzó la devastación de alrededor de 2000 ha de palma de aceite en Turbo, cerca de la frontera con Panamá. Entre 2006 y 2012, la pudrición de cogollo devastó cuantiosas plantaciones con un área total de 75000 ha entre Tumaco (Nariño) y Puerto Wilches (Santander) (Avendaño y Garzón, 2013).

El crecimiento de la PC debe estar regido por la interacción de tres factores como son los patógenos, plantas y el ambiente (Marchner, 1995; Huber, 1997). Por lo tanto, se considera que el suelo hace parte del factor ambiental y este puede intervenir en la distribución y severidad de esta enfermedad (Huber, 1997), en donde los componentes físicos y químicos del suelo pueden ser factores predisponentes a la incidencia de la pudrición de cogollo. Entre estas propiedades físicas que pueden incidir en el crecimiento de la enfermedad está la textura, la compacidad, la baja porosidad y baja conductividad eléctrica. Según Munévar (1998), estas propiedades pueden beneficiar el avance de la enfermedad debido a que muchos cultivos de palma se han establecido en suelos que presentan estas limitaciones.

Por otra parte, entre las reacciones químicas que han sido relacionada como estimulantes de brotes de la PC se encuentra la acidez del suelo, generada principalmente por la toxicidad de aluminio (Munévar y Acosta, 2001). Pero Munévar, (2004) señala también que los desequilibrios entre N y K, entre Ca y B y entre los elementos Ca, Mg y K provocan el crecimiento de la enfermedad y han mostrado cómo el manejo integral de la nutrición debe hacer parte de tácticas de manejo integrado de la Pudrición de Cogollo.

De acuerdo a estudio de suelo sobre sus propiedades físico - químicas las cuales pueden incidir sobre incrementar la PC, también se han realizado en suelos con tendencia a la acidez y bajo potencial nutricional, son pocos las investigaciones acerca de las alteraciones que pueden causar algunos factores abióticos en la predisposición de la palma aceitera a la incidencia de la enfermedad Pudrición del Cogollo en el Departamento del Magdalena municipio Zona Bananera, por lo cual se hace necesario investigar, la posible relación entre las propiedades físicas y química de los suelos, el contenido foliar de nutrientes con la incidencia de la enfermedad Pudrición del Cogollo y el rendimiento en el cultivo de la Palma Africana en seis finca en el Municipio de Zona Bananera Departamento del Magdalena.

1.2 GENERALIDADES

1.2.1 Origen, taxonomía y distribución de la especie. La palma africana o aceitera es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia *Arecaceae*, procedentes del golfo de guinea en África occidental de ahí procede su nombre científico *E. guineensis* (Siew, 2003). Entre las especies de relevancia económica de esta familia se encuentran: coco (*Cocos nucifera*), palma datilera (*Phoenix dactylifera*) y palma africana (*E. guineensis*) (Comer, Zomlefer, Barrett, Stevenson, Heyduk y Leebens Mack, 2016). El género *Elaeis* tiene otra especie conocida como la palma de aceite americana, *E. oleifera* (Kunth), y es propia de este continente (Meijaard, Garcia, Sheil, Carlson, Bignoli y Brooks, 2018).

1.2.2 Nombre botánico y Clasificación taxonómica. Botánicamente la palma africana se conoce con el nombre de *E. guineensis*. Nombre otorgado por Jacquin en 1763, con base en la palabra griega ελαια, de olivo, debido a sus frutos abundante en aceite y guineensis que hace referencia a la zona de Guinea de donde se estima originaria (CIRAD, 2009) (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Clasificación taxonómica de la palma africana.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Arecales
Familia	Arecaceae
Subfamilia	Coryphoideae
Género	<i>Elaeis</i>
Especie	<i>guineensis</i>

Fuente: Cronquist (1981).

1.2.3 Importancia económica del cultivo de la palma de aceite. La Palma de aceite tiene gran impacto económico a nivel mundial debido a su alto contenido de aceites en sus frutos, que se encuentra en el mesocarpio (aceite de Palma) y en la almendra (aceite de almendra) (Romero, Forero, y Hormanza, 2012), por encima de las producciones de aceite de soya, canola y girasol (Galindo y Romero, 2010; Stichnothe y Schuchardt, 2010). A nivel mundial el área total sembrada en Palma de aceite presentó un aumento pasando de 9.389 millones de hectáreas en el 2005 a 12.117 en el año 2009 (Comte, Colin, Whalen, Grünberger y Caliman, 2012). El país con mayor extensión en producción es Indonesia registrando 5.350 millones de hectáreas en el 2009 seguido de malasia con el mejor rendimiento de aceite de palma sin procesar (crudo) consiguiendo 4,39 t ha⁻¹, seguido por costa rica con 4,15 t (Barrera, 2011; Fedepalma, 2010). Colombia presenta un área sembrada de 573.058 hectáreas posicionándola en el cuarto puesto a nivel global en producción de aceite de palma a nivel mundial con una producción de 7.334.866 toneladas de racimo de fruta fresca y 1,6 millones de toneladas de aceite de palma crudo cultivadas (Navarro, 2021).

La palma de aceite es en la actualmente el cultivo de mayor incremento en Colombia con presencia en 21 departamentos y 152 municipios del territorio, (Mesa, 2018), y es muy importancia para la palmicultura colombiana, debido a que crea más 185 mil puestos de trabajo de los cuales producen el ingreso del mismo número de familias. Además, la industria de la palma de aceite para el 2017, se creó el 6,6 % del producto interno bruto (PIB) de la producción agrícola nacional (Fedepalma, 2018, 2020). La gran parte de la producción de aceite del país deriva de los municipios productores de la región Caribe, la cual representó cerca del 32% de la producción total para el año 2013 (González *et al.*, 2015). En la actualidad en Colombia la distribución de biodiésel aumenta con el consumo de aceite de palma obedeciendo a producción diaria obedece a 1485 ton/día (UPME, 2015)

De acuerdo con Guzmán y Betancourt (2007), con el dinamismo en el crecimiento del cultivo de la palma de aceite, se espera que para el año 2020 el consumo mundial de aceite de palma africana sea de 37,9 millones de toneladas, para el país se espera que para el año 2020 llegar a las 996.296 hectáreas con una producción de 3.383.892 toneladas de fruta fresca, razón por la cual un factor primordial es encaminarse a un manejo adecuado de la nutrición del cultivo, qué es esencial para alcanzar la máxima producción por unidad de superficie. Según Fedepalma (2010), pese a los grandes rendimientos promedios de aceite de palma por hectárea cuando se obtuvo 4,1 toneladas por hectárea, en el 2004 se ha notado un descenso en el rendimiento por hectárea pasando de 3,5 t ha⁻¹ de RFF en el 2008 a 3,4 t ha⁻¹ de RFF en el 2009. Esta disminución en la producción, puede ser debido a los problemas fitosanitarios que bienes afectando al cultivo de la palma de aceite como es la enfermedad pudrición de cogollo la cual disminuye el área foliar y por tanto la capacidad fotosintética y de llenado del fruto, lo que se reducen drásticamente los rendimientos nacional de aceite de palma (Sarría *et al.*, 2015).

Esta disminución en el rendimiento del número de racimos de fruta fresca es atribuida a factores como la dispersión de enfermedades, específicamente la alta incidencia de PC (Rincón, Garzón y Rodríguez, 2012), las diferentes edades de los cultivos, el ingreso de nuevos productores que no han manejado de manera eficiente los cultivos y las condiciones climáticas desfavorable (Barrera, 2011; Fedepalma, 2010).

1.2.4 Pudrición del cogollo (PC) de *E. guineensis*. La pudrición de cogollo es una enfermedad de origen biótico causada por el patógeno *Phytophthora palmivora* butl., responsable de comenzar el proceso infectivo (Martínez, 2008; Martínez *et al.*, 2008; Sarria *et al.*, 2008b). Este patógeno pertenece al reino *Straminipila* (Cromista) y posiblemente tiene su inicio en el trópico americano la pudrición del cogollo ha sido la enfermedad más exterminadora de la palma de aceite en América Latina (Martínez y Torres, 2007; Sarria, 2008).

Esta enfermedad ha generado graves amenazas en la industria palmera en América durante más de medio siglo, representando un impedimento serio para la producción de la palma de aceite en Colombia y en los países vecinos como Brasil Costa Rica, Ecuador, Nicaragua, Panamá, Perú y Surinam (Drenth, Torres y Martínez, 2013). De acuerdo con Coffey (2010) *P. palmivora* se distribuye en las regiones tropicales y de clima templado que perciben un alto nivel de precipitación pluvial, y se expone que se inició en el sureste asiático, donde se presenta gran diversidad genética.

1.2.5 Síntomas de la PC. Los primeros síntomas se manifiestan por la aparición de un amarillamiento y clorosis de las hojas nuevas, luego se observan pudriciones húmedas con consistencia acuosa o secas bajos los folíolos de las hojas de las flechas que se extienden por el contacto de los folíolos unos con otros (Franqueville, 2001). La pudrición en el tejido meristemáticos se observa como una licuefacción de tejidos, y emite un olor fétido (Ancupa Agrocalidad, 2013). De acuerdo con Rivas, Moreno, Casignia, Herrera y Leiva (2017), los síntomas frecuentes inician con un amarillamiento de las hojas más nuevas al contorno del penacho de flechas; a su vez los folíolos de las hojas nuevas aun no abiertas completamente, revelan las mismas manifestaciones seguida de una necrosis que inicia desde el ápice hacia la base de los mismos en la base de las hojas no abiertas se originan manchas necróticas que provocan pudriciones húmedas o secas en las hojas aun no abiertas, la pudrición deciente por la flecha produciendo la ruptura en su tercio inferior, y a medida que progresa puede llegar al meristemo apical causando la muerte de la palma.

La infección se presenta en los tejidos tiernos de las flechas (hoja recién emitida por la palma sin expandir o abrirse), y en zonas de crecimiento y maduración, también puede aparecer en el tercio superior de la yema, donde se expande a las flechas aledañas, estos tejidos ofrecen las condiciones óptimas para que *P. palmivora* invada los tejidos de la hoja ocasionando la esporulación, lo que da origen a infecciones repetitivas que resultan en la colonización de la yema (Moreno, Camperos, Ávila y Romero, 2013).

En estado temprano la pudrición inicial causada por *P. palmivora* es seca y firme en estado prematuro, aunque rápidamente el tejido enfermo es invadido por otros microorganismos como bacterias volviéndose suave y acuosa; este contagio bacteriano produce el ablandamiento de los tejidos, así como la salida de olores pestilentes, en esta situación se torna difícil poder aislar *P. palmivora* (Drenth y Guest, 2004).

Según Moreno *et al.* (2013), una vez invadidos los tejidos de la yema, éstos se vuelven susceptibles a la entrada de microorganismos ventajistas y el tejido resultante de la descomposición acercan a insectos tales como *R. palmarum*, que incitan el proceso de putrefacción conduciendo a la improductividad de la palma hasta llevarla a la muerte.

Los primeros síntomas visibles externos son evidentes cuando las flechas salen y en los bordes de ellas se presentan pequeñas heridas típicas por la desintegración del tejido entre las nervaduras. Cuando las condiciones ambientales son óptimas para el desarrollo de la enfermedad, hay un aumento en la cantidad y tamaño de las lesiones, que en casos serios perjudica toda la flecha. Las lesiones se tornan esqueléticas, y luego el folíolo exhibe las sombras de las nervaduras secundarias que son muy propias. Las hojas más tiernas aledaña a las flechas también se deshidratan y se necrosan (Martínez *et al.*, 2010).

De acuerdo con lo planteado por Ronquillo (2012), *P. palmivora* es uno de los patógenos más comunes en el ecosistema circundante de la raíz de la palma, y es el agente causal de la pudrición de cogollo en palma de africana. Así mismo, *P. palmivora* es un *Oomiceto* hemibiotrofo cosmopolita que contagia a más de 100 especies vegetales tropicales y subtropicales entre dicotiledóneas y monocotiledóneas, entre las especies vegetales de mayor importancia que perjudican se encuentran coco (*Cocos nucifera*), cacao (*Theobroma cacao*), papaya (*Carica papaya*) y palma de aceite (*E. guineensis*) (Ali, Shao, Lary, Kronmiller, Shen, Strem, y Bailey, 2017; Derevnina *et al.*, 2016).

1.2.6 Determinación y evaluación de la severidad de la enfermedad pudrición de cogollo en palma. La severidad describe en cual grado los tejidos de la planta se encuentran deteriorados por la enfermedad y es una medida visual intrínseca, esto hace que esté sometida a variaciones y equivocaciones ópticas del evaluador (Díaz, 2006). Los síntomas externos son visibles cuando las flechas salen y en los costados de ellas se muestra pequeñas lesiones caracterizadas por la descomposición del tejido entre las nervaduras, posteriormente las lesiones deterioran la lámina de la hoja, y luego el folíolo muestra las sombras de las nervaduras secundarias, que son muy características (Martínez *et al.*, 2010). También se puede mirar el deterioro en el ápice de la hoja, donde los folíolos del ápice se secan y estos caerán en los posteriores tres o cuatro días; de manera que la hoja a la que le falta la punta, es una manifestación para un diagnóstico temprano de PC (Martínez, 2008; Santos, 2010).

Cuando la enfermedad ataca a las hojas tiernas, estas se sueltan con facilidad y después de 2 o 4 meses la mayor parte de las hojas de la planta han caído. Las hojas más viejas son sostenidas por el sistema vascular en la parte más antigua del tronco y se mantienen verdes durante meses. Con el tiempo todas las hojas se caen, dejando sólo los troncos desnudos (Elliott y Uchida, 2004).

Los frutos de 2 a 5 meses de edad, pueden ser infectados, y los síntomas principian como un daño húmedo que normalmente aparecen cerca del perianto, estas se vuelven de color negro o café oscuro con borde amarillo y forma irregular, que dentro el fruto tiene apariencia moteada. Se extiende a la cáscara y puede llegar el endospermo, donde los frutos jóvenes son muy sensibles, no maduran y se caen (Coffey, 2010; Pérez, Peñaranda y Herazo 2010). De acuerdo con Martínez y Torres (2008), la escala de severidad de la pudrición de cogollo de la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) se diseñó para evaluar el avance de la enfermedad PC en vivero y plantaciones jóvenes, la cual consiste en cuantificar el área dañada de la flecha más joven y calificándola con cinco grados de sintomatologías, como se ve aprecia en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Relación cualitativa para los grados de severidad de la pudrición de cogollo de *E. guineensis*.

GRADO	% del área que conforma la flecha	DESCRIPCIÓN
0	0	No hay lesiones en la flecha, esta muestra vigor y sanidad.
1	0,1-20	Lesiones pequeñas que son tejidos que por el secamiento producido por la infección se desintegran por los movimientos de las hojas quedando solamente las nervaduras.
2	20,1- 40	Necrosis o muerte de tejido debido al proceso de pudrición que está teniendo lugar en la zona meristemáticos del ápice del tallo.
3	40,1-60	Avance de la enfermedad y se evidencia un gran daño en las hojas con grandes lesiones necróticas.
4	60.1-80	Continúa el necrosamiento y el daño casi en la totalidad de la hoja quebrándolas y secándola en su totalidad.
5	80,1-100	La hoja está dañada totalmente. Como resultado de la enfermedad se puede llegar al estado de cráter, donde todo el meristemo está afectado los tejidos nuevos desaparecen

1.2.7 Características de los suelos del departamento del Magdalena (Zona Bananera). El Instituto colombiano agropecuario ICA y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, con el fin de facilitar los estudios de adecuación de cultivos en las diferentes regiones del país. De esta forma se agruparán las hectáreas que cuentan con características ideales para albergar cultivos, y así determinar en dónde están los mejores suelos para la agricultura (Cortés, Olmos, Suarez y Villanada, 1985). con estos principios se determinaron, las principales sub regiones en la costa atlántica, donde se haya las plantaciones de palma africana. Entre las sub regiones se encuentra la Zona Bananera, que se caracteriza por presentar planicies aluviales del rio Ariguani y la serranía del Perijá, presenta suelo de clima cálido y medio seco (Cortés, Guevara, Cortes y Palacino, 1982).

1.2.8 Características edáficas. Los suelos del municipio de la Zona Bananera del departamento del Magdalena están formados por estratos sedimentarios del período terciario (3-65 millones de años) de la era Cenozoica, diferenciado por la aparición de areniscas y arcillas esquistosas amarillas, pardas, gris verdoso y azulado de las épocas del Oligoceno y Mioceno. También se hallan calizas calcáreas, areniscas calcáreas, gravilla, capas de carbón y calizas margosas del Plioceno (Aguirre, Piraneque y Menjivar, 2012). Esta formación tiene un espesor significativo y califica su fauna miocénica, restos vegetales y capas lignitosas firmemente bituminosas, el municipio de la Zona Bananera priorizó los suelos de clase I a III para el cultivo del banano, y palma africana los cuales se hallan localizados en valles, planos ondulados y planicies aluviales con pendientes que van de 0-10% y que son susceptibles de inundación, así mismo, los suelos pertenecen a Dystric Haplustepts, Typic Dystrustepts, y Typic Endoaquepts, son dominados mineralógicamente por caolinita (50%), cuarzo (5-15%), feldspatos (5-15%), interestratificados (trazas), micas (5-30%), montmorillonita (30-50%) y vermiculita (5-30%) (Instituto Colombiano Agustín Codazzi, 2009).

Según las zonas de vida de Holdridge, con una altura de 20 m.s.n.m, humedad relativa promedio de 82%; evaporación de 1.500 mm año (IDEAM 2007) y se presenta un promedio de precipitación anual de 1112,7 mm con variaciones entre 693,3 y 1532 mm, la temperatura presenta valor promedio de 28,1 °C con intervalo de confianza entre 27,3 y 29 °C y la humedad relativa está entre el 78 y 83%(Revueltas, Mercado y Aguirre 2020).

1.2.9 Propiedades químicas de los suelos. Como dice Funach (2002), las condiciones químicas facilitan entender el estado nutricional, aclarar su patogénesis, taxonomía y comprender su importancia química por medio de la evaluación de los nutrientes y complejos orgánicos e inorgánicos y sus modificaciones, es por esta razón que se considera primordial en la utilización que se le va a dar al suelo. Según Hernández (2013), las propiedades químicas están sometidas principalmente al método cuantitativo, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), del pH, salinidad, relación C/N, materia orgánica y nutrición mineral, la cual está constituido por nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y micro elementos (sodio, boro, manganeso, zinc, cobre, sulfatos, cloruros y bicarbonatos).

1.2.10 Propiedades físicas del suelo. Los atributos físicos son determinantes para las condiciones del suelo, debido a estas características pueden ser limitantes de factores como la penetración de las raíces, el intercambio gaseoso, la capacidad de drenaje, el almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes (Rucks, Kaplan, de León y Hill 2004). Como plantea Duchaufour (1978) las condiciones físicas del suelo están unidas a dos características principales que son: la textura y la estructura, de estos dos agentes depende, en gran parte el comportamiento del aire y del agua en el suelo. De acuerdo con García, Sánchez, Vidal, Betancourt, y Rosa (2010), la calidad física de los suelos determina la producción de los cultivos, considerando que el crecimiento de las raíces se determina con cuatro factores primordiales: disponibilidad de agua, resistencia mecánica, oxígeno y energía (García *et al.*, 2010). Estos factores intervienen directamente sobre el desarrollo de las plantas e indirectamente sobre las características químicas y biológicas del suelo; por lo que, es fundamental considerar las propiedades físicas como la estabilidad de agregados, la densidad, la resistencia a la penetración y espacio poroso, como guía para evaluar la calidad del suelo (Silva y Fernandez, 2014).

1.2.11 Efecto de las condiciones físicas y químicas del suelo, en la incidencia de pudrición de cogollo. Las características físicas del suelo como el contenido de humedad, la textura, densidad aparente, y los tipos de arcillas, son propiedades que pueden incrementar la incidencia de la PC (Munevar *et al.*, 2001). Muchos cultivos de palma de aceite en el país se han establecido en suelos que no presentan las condiciones edáficas óptimas para su normal desarrollo y producción, presentando limitaciones en las condiciones físicas del suelo (Munévar, 1998), y son estos suelos con limitaciones físicas donde se observa la enfermedad PC (Acosta *et al.*, 1996; Gómez *et al.*, 1995).

Como condiciones que pueden incidir en el normal desarrollo y volumen exploratorio del sistema radicular de la palma, se pueden mencionar la compactación, textura y la disminución de la conductividad hidráulica (Cenipalma, 1995; Gómez *et al.*, 1995). De acuerdo con Munévar (1997) las propiedades físicas del suelo que están en mayor grado implicadas con la PC son aquellas que restringen la aireación del suelo, como son el mal drenaje y la compactación, esto hace considerar la verificación del potencial de óxido reducción de los suelos en áreas donde se presenta la PC.

De acuerdo con Agrios (2005), los nutrimentos son fundamentales para el crecimiento, desarrollo de las plantas y microorganismos y son factores primordiales en la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades, y todos los nutrimentos esenciales pueden influir en la severidad de las enfermedades (Huber y Graham, 1999). Así mismo, estudios han señalado la importancia del adecuado manejo de nutrimentos para manejar los problemas fitosanitarios y conseguir altos rendimientos (Marschener, 1995; Huber y Graham, 1999). Según Cristancho *et al.* (2007), las investigaciones desarrolladas con respecto a los agentes predisponentes, han encontrado relación entre las características químicas del suelo y tasas de crecimiento de la PC, como son: la

saturación de aluminio, saturación de bases, la relación entre bases y la acumulación de nitritos.

1.2.12 El análisis foliar en palma africana. Los análisis foliares son un medio de evaluación del estado nutricional de la Palma de aceite que caracteriza un papel clave en la aplicación de los fertilizantes en los cultivos a escala comercial (Munévar, Romero, Cristancho y Arias, 2005). De acuerdo con Osorio (2012), son un medio para evaluar el estado nutricional de la palma de aceite, el cual es fundamental para el diagnóstico nutricional, por medio de la medición de la concentración de los distintos elementos en sus hojas. El análisis de tejido foliar es un mecanismo útil cuyo resultado proporciona un nivel puntual de la densidad de los elementos (Marschner, 1995), ayudando a reconocer previamente cualquier falta o exceso de los elementos, de modo que requiere medios adecuados para la explicación de los datos debido a la naturaleza dinámica de la constitución del tejido (Munévar y Franco, 2002), el cual es fuertemente influenciado por el desarrollo de la planta y la edad de la hoja, interacciones que marcan la toma y translocación de los nutrientes (Ruiz, Bello y Cajuste, 2002).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la relación entre las características físicas y químicas de los suelos, el contenido nutricional de las hojas, la Incidencia de la Pudrición del Cogollo con el rendimiento en diferentes cultivares de Palma Africana (*Elaeis guineensis* jacq.).

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades físicas de los suelos y su relación con la incidencia de PC en el cultivo de palma africana en la finca Padelma en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.
- Determinar las condiciones químicas del suelo, su relación con el contenido foliar en palma africana en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.
- Estimar el contenido foliar de nutrientes en el cultivo de palma africana y su correlación con la incidencia de PC y el rendimiento en seis fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

LITERATURA CITADA

- Acosta, Á., Gómez, P. y Vargas, J. (1996). Factores físicos de los suelos y su influencia en la predisposición a la Pudrición de cogollo de la palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 17(2), 71-79.
- Agrios, N. (2005). *Plant Pathology*, 5th edition, Elsevier-Academic Press, 635 p.
- Albertazzi, H., Bulgarelli J., Chinchilla, C. (2005). Onset of Spear Root Symptoms in Oil Palm and Prior (and contemporary) Events. *ASD Oil Palm Papers*, 21-41.
- Ali, S., Shao, J., Lary, D., Kronmiller, B., Shen, D., Strem, M. y Coulibaly, K. (2017). *Phytophthora megakarya* and *Phytophthora palmivora*, closely related causal agents of cacao black pod rot, underwent increases in genome sizes and gene numbers by different mechanisms. *Genome biology and evolution*, 9(3), 536-557.
- Ancupa, (2013). Guía de campo sobre pudrición de Cogollo. 3ra ed.
- Avendaño, J. y Garzon, G. (2013). Experiencias del manejo de la pudrición del cogollo (PC) en *Elaeis guineensis* y el híbrido OxG en Astorga S.A. *Palmas* 34:345-352.
- Barrera, S. (2011). Estructura genética de poblaciones naturales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) procedentes de Angola. Tesis de Maestría. Universidad Nacional e Colombia. Facultad de Agronomía. Sede Bogotá
- Bernal, A., Forero, F. y Almanza, M. (2015). Contenido de azufre, aluminio, hierro y manganeso foliar en especies vegetales cultivadas en suelo sulfatado ácido. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(2), 279-289.
- Centro de Investigación en Palma de Aceite Cenipalma. (1995). Factores físicos del suelo y su relación con el desarrollo de focos de Pudrición del cogollo. *Ceniavances* No. 15. Santafé de Bogotá (Colombia).
- CIRAD, (2009). "All you need to know about oil palm". Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. Disponible en: <http://www.cirad.fr/en/publications-resources/science-for-all/the-issues/oil-palm/what-you-need-to-know/botany>. Consultado: 22-05-2014.
- Coffey, D. (2010). Especies de *Phytophthora* que atacan las palmas: su naturaleza, supervivencia y control. *PALMAS* 31: 376-382.
- Comer, R., Zomlefer, W., Barrett, C., Stevenson, D., Heyduk, K. y Leebens, J. (2016). Nuclear phylogenomics of the palm subfamily Arecoideae (*Arecaceae*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 97: 32–42.
- Córdova, A., Obrador, O., Salgado, G. y Castelán, E. (2017). Fertilización química para el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN CHIAPAS, MEXICO. *AGROProductividad*, 10(12), 56-64.
- Castellanos, J. (2018). Junta Directiva de Fedepalma (período 2018-2019) y Comité Directivo de los Fondos Parafiscales Palmeros (período 2018-2020). *Boletín El Palmicultor*, (556 Junio), 38-39.
- Comte, I., Colin, F., Whalen, J., Grünberger, O. y Caliman, J. (2012). Agricultural practices in oil palm plantations and their impact on hydrological changes, nutrient fluxes and water quality in indonesia: a review. In *Advances in Agronomy*, 116: 71-124). Academic Press.

- Corley, R. y Tinker, P. (2009). El origen y desarrollo de la industria de la palma de aceite (No. L-0719). Fedepalma.
- Cortes, L., Guevara, C., Cortes, B., Palacino, S. (1982). Mapa de suelos de Colombia. Escala 1:500000. Subdirección Agrologica, IGAC, Bogotá. 86p.
- Cortes, A., Olmos, E., Palacino, A., Suárez, J. y Villaneda, E. (1985). Zonificación agroecológica de Colombia (Memoria explicativa) (No. DC-0050). IGAC; ICA.
- Cristancho, J., Castilla, C., Rojas, M., Munevar, F. y Ch, J. (2007). Relación entre la saturación de Al, Mg, K y la tasa de crecimiento de la pudrición de cogollo de la palma de aceite en la Zona Oriental colombiana. *Revista palmas*, 28(2), 25-35.
- Cristancho, J., Alfonso, Ó. y Molina, D. (2012). Revisión de literatura sobre el papel del suelo y la nutrición de plantas en la Pudrición del cogollo de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 33(2), 9-22.
- Cronquist, A. y Takhtadzhian, A. (1981). An integrated system of classification of flowering plants. Columbia university press.
- DANE, (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). (2016). Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2015. http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2015/boletin_ena_2015.pdf.
- DANE, (2012). Comunicado de prensa del DANE sobre el Producto Interno Bruto - Cuatro Trimestre y Total Anual 2011. Bogotá.
- De Franqueville, H. (2001). La pudrición del cogollo de la palma aceitera en América Latina Revisión preliminar de los hechos y logros alcanzados (No. D-1372). BuroTrop Cirad-Cp Departamento de Cultivos Perennes.
- De Franqueville, H. (2003). Pudrición del cogollo de la palma aceitera en América Latina. *Agricultura experimental*, 39 (3), 225.
- De Rojas, P. y Ruiz, E. (1972). Investigaciones sobre la enfermedad pudrición De cogollo- pudrición de la flecha de la palma africana en la plantación “la arenosa” de Coldsas S.A. turbo, 105.
- Derevnina, L., Petre, B., Kellner, R., Dagdas., Sarowar, M., Giannakopoulou, A. y Kamoun, S. (2016). Emerging oomycete threats to plants and animals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1709),20150459.
- Díaz, D. (2006). Incidencia actual de pudrición del cogollo en la zona oriental. En: Memorias del Curso taller sobre “Manejo de factores predisponentes para el control de la pudrición de cogollo en cultivos de palma de aceite. Villavicencio, agosto 16 18 de 2006.
- Dishington, J. (2018). Fedepalma, 55 años de gestión gremial para desarrollar y consolidar la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. *Boletín El Palmicultor*, (552 Febrer), 5-7.
- Drenth, A. y Guest, D. (2004). Diversidad y gestión de *Phytophthora* en el sudeste asiático. Centro Australiano de Investigación Agrícola Internacional (ACIAR).
- Drenth, A., Torres, G. y López, G. (2013). *Phytophthora palmivora*, la causa de la Pudrición del cogollo en la palma de aceite. *Revista Palmas*, 34, 87-94.
- Duchaufour, P. Edafología. (1984). 1. Edafogénesis y clasificación. Barcelona, Masson.

- Elliott, M., Broschat, T., Uchida, J. y Simone, G. (2004). Diseases and disorders of ornamental palms. In American Phytopathological Society, St. Paul.
- Estupiñán, J. y Guayana, J. (2009). Análisis de los aspectos cualitativos que afectan la cadena de abastecimiento agroindustrial de la palma de aceite.
- Fairhurst, T. y Hardter, R. (2012). Palma de aceite: Manejo para Rendimientos Altos y Sostenibles. Quito. Primera Edición. Editores IPNI, 404 p.
- Fedepalma, (2018). Balance económico del sector palmero colombiano en 2017 - Boletín Económico. Fedepalma.
- Fedepalma, (2018). Anuario Estadístico 2018.
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, (2017). Anuario Estadístico. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia. Bogotá. 21-35 p.
- Fouché, S., Plissonneau, C. y Croll, D. (2018). The birth and death of effectors in rapidly evolving filamentous pathogen genomes. *Current opinion in microbiology*, 46, 34-42.
- Funach, A. (2002). Capacitación en obtención de nuevos productos. Mocoa, Colombia
- Galindo, C. y Romero, H. (2010). Microbiología del suelo cultivado con palma de aceite en Colombia: Elemento clave para la competitividad y sostenibilidad del cultivo. *Revista Palmas*, 31(2), 49-59.
- García, I., Sánchez, M., Vidal, D., Betancourt, Y. y Rosa J. (2010). Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(2), 51-56.
- Gómez, J. (2007). Memorias VII reunión técnica nacional de palma de aceite.
- Gómez, P., Acosta, Á., Guevara, L. y Nieto, L. (1995). Pudrición de cogollo en Colombia: importancia, investigación y posibilidades de manejo. *Revista Palmas*, 16(especial), 198-206.
- González, A., Girón, E., Ruiz, J. y Rincón, F. (2015). Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. Fedepalma-Unidad de Planeación Sectorial y Desarrollo Sostenible.
- Guzmán, M. y 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. *Revista Palmas*, 28(especial), 449-456.
- Hernandez, J. (2013). Edafología y fertilidad, Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente. Colombia: Universidad Nacional abierta y a distancia.
- Huber, D. (1997). Manejo de la nutrición para el combate de patógenos de plantas. *Agronomía costarricense*, 21(1), 99-102.
- IGAC, (2009). Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento del Magdalena. Bogotá. 498 p.
- Malaguti, G. (1953). Pudrición del cogollo" de la palmera de aceite africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Venezuela. *Agronomía Tropical (Maracay)*, 3, 13-32.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 2nd (eds) Academic Press. New York, 15-22.
- Martínez, G., Arango, M., Torres, G., Sarria, G., Vélez, D., Rodríguez, J. y Guest, D. (2013). Avances en la investigación sobre las dos enfermedades más

- importantes en la palma de aceite en Colombia: la Pudrición del cogollo y la Marchitez letal. *Palmas*, 34, 39–47.
- Martínez, G. (2008). Avances en la solución de la Pudrición del cogollo de la Palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 29(2), 53-64.
- Martínez, G., Sarria, G., Torres, G., Aya, H., Ariza, J., Rodríguez, J., Sanz, J. (2008b) *Phytophthora* sp., es el responsable de las lesiones iniciales de la Pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia. VIII Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite. Compensar. 22-24 de septiembre. Bogotá.
- Martínez, G., Sarria, G., Torres, G., Aya, H., Ariza, J. y Rodríguez, J. (2008). *Phytophthora* sp. Es el responsable de las lesiones iniciales de la Pudrición del cogollo (PC) de la Palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 29(3), 31-41.
- Martínez, G., Sarria, G., Torres, G., Varón, F., Drenth, A. y Guest, D. (2014b). Nuevos hallazgos sobre la Pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia: biología, detección y estrategias de manejo. *Palmas*, 35(1), 11–17.
- Martínez, G., Sarria, G., Torres, G., Varón, F., Romero, H. y Sáenz, J. (2010). Avances en la investigación de *Phytophthora palmivora*, el agente causal de la pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 31(1), 55-63.
- Martínez, G., Sarria, G. y Varón, F. (2010). *Phytophthora palmivora* es el agente causal de la pudrición del cogollo de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 31(especial,), 334-344.
- Martínez, G. y Torres, G. (2007). Presencia de la Pudrición del cogollo de la Palma de aceite (PC) en plantas de vivero. *Revista Palmas, Colombia*. 28 (4): 13-20.
- Martínez, G., Torres, G. (2008). Escala de severidad de la Palma de aceite. Folleto divulgativo. Cenipalma, Colombia. 12 p.
- Meijaard, E., Garcia-Ulloa, Sheil, J., Carlson, S., Juffe, B. y Brooks. (2018). Oil palm and biodiversity: A situation analysis by the IUCN Oil Palm Task.
- Moreno, A., Camperos, R., Diazgranados, R. y Romero, H. (2013). Biochemical and physiological responses of oil palm to bud rot caused by *Phytophthora palmivora*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 70, 246-251.
- Munévar, M. (1997). Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. *Palmas (Colombia)* v.19 no Especial, p.218-228.
- Munévar, F. (1998). Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 19(especial), 218-228.
- Munévar, F. (2004). Relación entre la nutrición y las enfermedades de las plantas. *Revista Palmas*, 25(especial,), 171-178.
- Munévar, F. y Acosta, A. (2002). Recomendaciones de manejo del cultivo de palma de aceite para minimizar el impacto de la Pudrición del cogollo. *Ceniavances (Colombia)* -. No. 97 (agosto 2002), p. 1-4.
- Munévar, F., Acosta, A. y Gómez, P. (2000). Factores edáficos asociados con la Pudrición del cogollo. *Palmas* 21, Especial Tomo II, 258
- Munévar, F., Romero, A., Cristancho, J. y 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. *Revista Palmas*, Vol 26. No 3. 23-33.

- Munévar, M. y Acosta, G. (2001). factores edáficos asociados con la Pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 22 (2): 9-19.
- Munévar, M. y Franco, P. (2002). Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite. *Boletín técnico*, (12).
- Martínez, J., Fernández, T., y Aguirre, S. (2020). Potential Infiltration Determination in Areas of Influence of the Zona Bananera Aquifer in Northern Colombia. *Facultad de Ingeniería*, 29(54), 27.
- Mesa, J. (2018). Fedepalma, 55 años de gestión gremial para desarrollar y consolidar la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. *Boletín El Palmicultor*, (552), 5-7.
- Navarro, L. (2021). El sector palmero mantuvo el empleo en 2020 y continuó avanzando en su sostenibilidad. *Boletín El Palmicultor*, 587(Enero), 4-5.
- Osorio, N. (2012). El análisis foliar: una poderosa herramienta para diagnosticar el estado nutricional de los cultivos, pasturas y plantaciones. *Manejo integral del suelo y nutrición vegetal*, 1(3).
- Onudi, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. (2014). *Manual de minicadenas productivas*. Bogotá, DC: Oficina Regional en Colombia. 150 p.
- Ospina, B. y Martha, L. (1995) Centro de Investigación en Palma de Aceite Cenipalma.
- Forero, P. (2010). Biocombustibles en Suramérica: Referentes normativos y legislación actual. *Prolegómenos. Derechos y Valores*, 13(26), 215-232.
- Pérez, M., Peñaranda, L. y Herazo, M. (2010). Impacto, manejo y control de enfermedades causadas por *Phytophthora palmivora* en diferentes cultivos. Universidad De Pamplona. Facultad deficiencias básicas.
- Pichón, V. (2010). Efecto de la pudrición del cogollo (PC) sobre la productividad y la competitividad de las plantas de beneficio de la Zona Central. *Revista Palmas*, 31(4), 28-35.
- Revelo, M. (2002). *Palmicultura moderna, Orientación para productores y empresarios*, Sociedad Las Palmas LTDA, edición Galrobayo. Bogotá, CO, 1, 10.
- Rincón, Á., Garzón, E. y Cristancho, J. (2012). Contenidos de nutrimentos en diferentes estructuras de palmas híbridas O x G bajo condiciones comerciales de viveros. *Revista Palmas*. 33 (1), 11-21.
- Rival, A. y Levang, P. (2015). The Oil Palm (*Elaeis guineensis*): Research Challenges Beyond Controversies. *Palms*, 59(1).
- Rivas, F., Moreno, F., Rivera, G., Herrera, L. y Leiva, M. (2017). Incidencia, progresión e intensidad de la Pudrición del Cogollo de *Elaeis guineensis* Jacq. en San Lorenzo, Ecuador. *Centro Agrícola*, 44(1), 28-33.
- Romero, H., Forero, D. y Hormanza, P. (2012). Estadios fenológicos de crecimiento de palma de aceite africana (*Elaeis guineensis*). *Revista Palmas*, 33(1), 23-34.
- Ramírez, M. y Benítez, E. (2018). Pudrición del cogollo (*Phytophthora palmivora*): la terrible enfermedad que ataca la palma de aceite.
- Ronquillo, M. (2012). Etiología de la pudrición del cogollo de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el Ecuador (Master's thesis, Universidad de Puerto Rico/2012).

- Rucks, F., Kaplan, A., de León, J. y Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo Universidad de la República Facultad de Agronomía Montevideo–Uruguay 68 Pág.
- Ruíz, B. y Cajuste, L. (2002). Controlling fertilizer applications through plant analysis. *Communications in soil science and plant analysis*, 33(15-18), 2793-2802.
- Santos, Á. (2010). Análisis de las últimas investigaciones sobre pudrición del cogollo en palma de aceite (*Elaeis guineensis* jacq) /Analysis of the last researchs concerning bud rotting in oil palm (*Elaeis guineensis* jacq). Facultad de Agronomía.
- Sarria, G., Torres, G., Aya, H., Ariza, J., Rodríguez, J., Vélez, D., Varón, F., Martínez, G. (2008). Microorganismos asociados a la Pudrición del cogollo (PC) de la Palma de aceite y su inoculación en palmas de vivero. *Revista Palmas, Colombia*. 29 3.
- Siew, Ng., von Uexkull, H. y Hardter, Rolf. (2003). Botanical aspects of the oil palm relevant to crop management. In *Oil Palm: Management of large and sustainable yields*.
- Silva, Á. y Martínez, G. (2009). Plan nacional de manejo de la Pudrición del cogollo Fedepalma-Cenipalma. *Revista Palmas*, 30(3), 97-121.
- Silva, R. y Fernandez, C. (2014). Soil uses during the sugarcane fallow period: influence on soil chemical and physical properties and on sugarcane productivity. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(2), 575-584.
- Stichnothe, H. y Schuchardt, F. (2010). Comparison of different treatment options for palm oil production waste on a life cycle basis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(9), 907-915.
- Sarria, G., Torres, G., Aya, H., Ariza, J., Rodríguez, J., Vélez, D. y Martínez, G. (2008a). *Phytophthora* sp., es el responsable de las lesiones iniciales de la Pudrición del cogollo en la palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 29 (edición especial), 31-41.
- Sarria, G. A., Martínez, G., Varón, F., Drenth, A., & Guest, D. I. (2016). Histopathological studies of the process of *Phytophthora palmivora* infection in oil palm. *European Journal of Plant Pathology*, 145(1), 39-51.
- Turner, P. (2003). The role of nutrition in disease control. In: *Oil palm: Management for large and sustainable yields*, edited by: Fairhurst, T. and Härdter, R. IPNI and IPI. 181-190.
- UPME, “Biocombustibles en Colombia,” Ministerio de Minas y Energía, ed., Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, 2015, p. 22.
- Vásquez, L. (2020). Predicción del comportamiento de los precios de cesiones y compensaciones para el mercado interno del FEP palmero.
- Zuleta, E., Bonet, J., Díaz, L. y Bastidas, M. (2007). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis*) con etanol. *energética*, (38), 47-53.

CAPITULO II

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS Y SU RELACIÓN CON LA PUDRICIÓN DEL COGOLLO EN EL CULTIVO DE PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN EL MUNICIPIO DE ZONA BANANERA DEL MAGDALENA

RESUMEN

Áreas extensas en cultivo de palma africana, ha provocado que la labranza del suelo aumente, y causa el detrimento de su capa arable, contribuyendo a degradar en forma progresiva de la superficie del suelo y facilitando la erosión, que influye directamente a una compactación provocada por el paso de la maquinaria, estos suelos con

condiciones físicas limitantes son particularmente frecuentes en las zonas donde se presenta la enfermedad PC. El objetivo de la investigación fue caracterizar las propiedades físicas de los suelos y analizar si existe alguna relación con la pudrición del cogollo en el cultivo de palma africana en la finca Padelma en la Zona Bananera del Magdalena. Para evaluar las características físicas de los suelos, se construyeron ochos pozos de observación de 50* 50*50 cm de profundidad, para cada estado de la enfermedad y el control o testigo. En cada pozo de observación para el diagnóstico en campo se realizó la descripción del primer y segundo horizonte del suelo. En cada horizonte fue evaluado el color, la estructura, el espesor de cada horizonte, presencia de macroorganismos, número de raíces, estado de óxido- reducción, presencia de carbonatos libres y de materia orgánica según la reacción con soluciones diluidas de HCl y H₂O₂ al 10%. Además, en los horizontes se efectuó la prueba de compactación cualitativa por medio la resistencia a la penetración del cuchillo y la densidad aparente por el método del cilindro biselado. Por otra parte, fue evaluada la resistencia a la penetración por el método de penetrómetros manual de cono de Eijkelkamp. Esta variable fue evaluada en dos formas: la primera se realizó en tres sitios al borde de la zona de plateo a tres profundidades de 10, 20 y 30 cm respectivamente. Para la segunda evaluación se realizaron tres transeptos en triangulo desde el fuste hasta el borde de la zona de plateo, evaluando cada 50 cm hasta los 3,5 m la resistencia a la penetración a tres profundidades de 10, 20 y 30 cm de profundidad. Los datos fueron tabulados en programa Microsoft Excel, versión 2016. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) y un análisis de comparación de medias de Tukey con significancia de 0,05. Así mismos se realizó un análisis de regresión para la resistencia a la penetración en función de la distancia en la zona de plateo, mediante el programa estadístico SAS versión 9.1. Los resultados encontrados indican que entre los grados de incidencia de pudrición del cogollo (PC) el testigo, las texturas de que predomina fueron las francas, arcillas y franco arcillosa y franco limosa. La estructura está asociada a bloques angulares a subangulares, además, los suelos presentaron aproximadamente entre un 59,3 y 71,8% de gleyzación y entre 37,5 y 59,3 % de suelos compactados entre los pozos de observación evaluados. En la densidad aparente en los diferentes grados de severidad no se encontró diferencias entre los niveles de densidad aparente, con densidades que oscilaron entre 1,79 y 1,82 g cm⁻³. En relación a la prueba de la resistencia a la penetración se encontraron niveles críticos altos en las diferentes profundidades, con valores que oscilaron entre 1,57 y 5,0 Mpa.

Palabras Claves: mecanización, propiedades físicas, pudrición del cogollo, compactación textura, densidad aparente, resistencia a la penetración y gleyzación.

ABSTRACT

In extensive areas cultivated with the cultivation of African palm, it has caused the tillage of the soil to increase, and causes the detriment of its arable layer, contributing to the progressive degradation of the soil surface and facilitating erosion, which directly influences compaction. caused by the passage of machinery, these soils with limiting physical conditions are particularly frequent in areas where the Pc The objective of the

research was to characterize the physical properties of the soils and analyze if there is any relationship with the rot of the bud in the cultivation of African palm in the Padelma farm in the banana zone of the Magdalena. To evaluate the physical characteristics of the soils, eight observation wells of 50 * 50 * 50 cm depth, for each state degree of the disease and the control or witnee. In each observation well for field diagnosis. The description of the first and second soil horizons was made. In each horizon, the color, structure, thickness of each horizon, presence of macro-organisms, roots, state of oxide-reduction, presence of free carbonates and organic matter were evaluated according to the reaction with dilute solutions of HCl and H₂O₂ 10%. In addition, the qualitative compaction test was performed on the horizons by means of resistance to knife penetration and apparent density by the beveled cylinder method. On the other hand, the penetration resistance was evaluated by the manual Eijkelkamp cone penetrometer method. This variable was evaluated in two ways: the first was carried out at three sites on the edge of the silver-plating area at three depths of 10, 20 and 30 cm respectively. For the second evaluation, three triangular transects were made from the shaft to the edge of the silver area, evaluating the penetration resistance at three depths of 10, 20 and 30 cm every 50 cm up to 3.5 m. The data were tabulated in Microsoft Excel program, version 2016. The statistical analysis of the data was performed using an analysis of variance (ANOVA) and a Tukey mean comparison analysis with significance of 0.05. Likewise, a regression analysis was carried out for the resistance to penetration as a function of the distance in the plating area, using the statistical program SAS version 9.1. The results found indicate that among the degrees of incidence of bud rot (PC) the control, the predominant textures were loam, clay and clay loam and silty loam. The structure is associated with angular to subangular blocks, in addition, the soils presented approximately between 59.3 and 71.8% of gleyzación and between 37.5 and 59.3% of compacted soils between the observation wells evaluated. In the apparent density in the different degrees of severity, no differences were found between the levels of apparent density, with densities that ranged between 1.79 and 1.82 g cm⁻³. In relation to the penetration resistance test, high critical levels were found at different depths, with values ranging between 1.57 and 5.0 Mpa.

Keywords: mechanization, physical properties, bud rot, compaction

2.1 INTRODUCCIÓN

En Colombia el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) es el segundo producto más importante después del café, postulado de sexto en la generación de valor en el sector agrícola. (Mesa, 2018; SISPA, 2019). Actualmente en Colombia, la agroindustria del aceite de palma se ha venido fortaleciendo como el cuarto producto agrícola de exportación después del café, las flores y el banano así mismo, el área sembrada con palma aceitera en 2018 (DANE, 2018) y alcanzó 540.685 ha (Mosquera *et al.*, 2019). Aportando a las comunidades de su alrededor unos 170.000 empleos, en

forma directa e indirecta con las plantaciones, extractoras, campos de investigación y otros oficios, ofreciendo una mejor calidad de vida a grupos de personas ubicadas en zonas rurales donde opera la agroindustria (Mesa, 2018; SISPA, 2019). De acuerdo con Mesa, (2019) este cultivo oleaginoso lidera la producción mundial de aceites y grasas vegetales, siendo Colombia el cuarto país con mayor producción de aceite de palma en el mundo y el primero en América.

Por otra parte, la palma de aceite viene sufriendo afectaciones en las producciones como consecuencia de la pudrición del cogollo (PC), la cual ha sido causante de la desaparición de plantaciones completas en América Latina (Martínez, 2010). Por su alta incidencia y severidad, esta enfermedad se ha convertido en un problema fitosanitario de gran impacto económico para el sector palmero del país (Gómez, 1996). La PC en Colombia afectado más de 100.000 mil hectáreas de palma de aceite, 70.000 ha solo en Tumaco, Nariño, y Magdalena Medio, y las remanentes en otras zonas como Urabá y los Llanos Orientales, Hoy se han identificado casos en el departamento del Magdalena (Navarro, 2017).

Las manifestaciones de la enfermedad se caracterizan por la pudrición de todos los tejidos nuevos, prevaleciendo las hojas que se conformaron antes de la infestación (Martínez, 2010). Adicional a lo anterior se relacionan otros síntomas como pudrición de raíces, corona y tronco, manchas de hojas, pudrición de pecíolos, caída de nueces y frutos, pudrición apical, del cogollo y corazón seguida de la muerte de la planta (Drenthe y Sendall, 2001; Elliott et al., 2004; Garofalo y McMillan, 1999)

Debido a la adaptabilidad de la palma a diferentes regímenes climáticos de lluvias, verano y sequía, se ha cultivado en muchas zonas no aptas para su buen desarrollo, es así como en Colombia la mayoría de los cultivos de palma de aceite, están establecidos sobre suelos de condiciones físicas limitadas, tales como el contenido de arcilla, la densidad aparente, baja conductividad hidráulica y su relación con la compactación del suelo (Cenipalma, 1995), y la saturación de humedad en el primer horizonte del perfil (Cenipalma, 1995; Blanco, 1988; Munevar *et al.*, 2000). En este sentido es necesario anotar, que es precisamente en estas zonas donde se desarrolla con más frecuencia la enfermedad pudrición de cogollo (Acosta, Gómez y Vargas, 1996; Gómez *et al.*, 1995).

De acuerdo con Clark, Whalley y Barraclough (2003), los principales efectos que ejercen las características limitantes del suelo son, la disminución del crecimiento radicular debido a que estas no son capaces de penetrar y desplazar el suelo. Por su parte, los altos contenido de humedad que ejercen las arcillas, sumado a la limitada difusión de oxígeno en el suelo, disminuyen la absorción de agua y transporte de nutrimentos a la parte aérea de las plantas afectando la nutrición del cultivo (Acosta *et al.*, 1996; Villon, 2007). De acuerdo con Pla (2010) y Bravo *et al.* (2008) la textura del suelo representa una variable muy importante ya que está relacionada con otros parámetros físicos como la densidad aparente, la retención de humedad, la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad de nutrientes, la porosidad, y la actividad biológica. Según García. (2004) densidad aparente de 1,55; 1,65; 1,80 y 1,85 g cm⁻³ en suelo seco, que pueden causar impedimentos severos en el crecimiento radical y el rendimiento. Gutiérrez

(2017) indica que los suelos que presenta incidencia de PC son los suelos con densidad aparente mayor a $1,61 \text{ g cm}^{-3}$. Keisuke *et al.* (2017). Según Forsythe *et al.* (2005) determinaron como valor crítico de resistencia a la penetración, un valor de 2,75 MP, que afecta el rendimiento en el cultivo de maíz. Acosta y Munevar (2003) en Colombia, encontraron que la incidencia de PC fue mayor en los suelos más compactados, con valores de resistencia a la penetración de 1,58 MPa.

En relación a lo anterior Pesehski (1995), sostiene que la condición de carencia de oxígeno en el perfil del suelo tiene otras consecuencias sobre los procesos fisiológicos en la planta como son, la fotosíntesis, respiración, distribución de carbohidratos y transporte de reguladores de crecimiento. Cualquiera de los resultados que pueda ocasionar la desoxigenación de los suelos, podría estar relacionado con la predisposición de la palma a ser afectada por la pudrición de cogollo. En este orden de ideas es fundamental la implementación de programas que aporten mejoras al manejo agronómico de este cultivo, iniciando por la preparación de los suelos acorde con las características físicas y químicas con prácticas orientadas al mejoramiento de las condiciones edáficas y generales las cuales disminuirán la tasa de crecimiento de la enfermedad. Entre estas prácticas las modificaciones en drenajes y cincelado del suelo los cuales mejoran el movimiento del agua, la aireación del suelo y la incorporación de programas de nutrición del cultivo para no permitir los desbalances nutricionales. Análisis fisicoquímicos de suelos antes y durante el desarrollo de la siembra, solo llevar al lugar definitivo únicamente plantas vigorosas y en óptimo estado de sanidad, realizar planes de Mantenimiento de las áreas de drenajes y canales, riego regulado (Franquville, 2001; Gómez, 2005; Martínez, 2007; Nieto, 1996; van de Lande, 1993; van Slobbe y Rocha de Souza, 1991).

Para lograr una producción agrícola competitiva y sostenible es necesario tener en cuenta todos los factores que afectan de forma importante la productividad y el desarrollo de muchos cultivos. Esto se debe fundamentalmente a las características físicas tienen un papel fundamental en el arreglo, tamaño y el arreglo de las partículas y agregados, los cuales definen la proporción de macro, meso y microporos responsables de la aireación, infiltración de agua, retención de humedad, las cuales influyen sobre otras propiedades como son, la química, biológica y la absorción nutricional (Malagón, 1976). Así mismo, en la agroindustria en la costa caribe no se ha realizado la suficiente investigación para relacionar los diferentes índices de severidad de PC con las propiedades físicas. Por lo tanto, es necesario caracterizar las propiedades físicas de los suelos y analizar si existe alguna relación con la pudrición del cogollo en el cultivo de palma africana en la finca Padelma en la Zona Bananera del Magdalena.

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 Localización del proyecto. La investigación se realizó en la finca Padelma ubicada en el Municipio de Zona Bananera del departamento del Magdalena, que se encuentra al norte de Colombia, en el litoral atlántico. Esta zona se encuentra en las coordenadas geográficas: 10°46'00" de latitud Norte y 74°8'00" de longitud Oeste catalogada como Bosque seco Tropical (Bs.-T) y Bosque muy seco Tropical (Bms-T), según las zonas de vida de Holdridge, con una altura de 20 m.s.n.m, humedad relativa promedio de 82%; evaporación de 1.500 mm año (IDEAM 2007) y se presenta un promedio de precipitación anual de 1112,7 mm con variaciones entre 693,3 y 1532 mm, la temperatura presenta valor promedio de 28,1 °C con intervalo de confianza entre 27,3 y 29 °C y la humedad relativa está entre el 78 y 83% (Revueltas, Mercado y Aguirre 2020).

2.2.2 Establecimiento de la investigación. Para evaluar las características físicas de los suelos, fueron construidos ocho pozos de observación de 50* 50*50 cm de largo, ancho y profundidad, para cada grado de la enfermedad y el control o testigo. En cada pozo de observación para el diagnóstico en campo se realizó la descripción morfológica del primer y segundo horizonte del suelo. En cada horizonte fue evaluado el color según la carta de Munsell, la estructura, el espesor de cada horizonte, estado de óxido-reducción, presencia de carbonatos libres y de materia orgánica según la reacción con soluciones diluidas de HCl y H₂O₂ al 10%. Se determinó por la inspección visual analítica la presencia del nivel freático, presencia de macroorganismos, profundidad efectiva de raíces. De igual forma fue evaluada la textura en campo por el método al tacto. Además, en los horizontes se realizó la prueba de compactación cualitativa por medio la resistencia a la penetración del cuchillo y la densidad aparente en suelos seco por el método del cilindro biselado. Esta descripción morfológica de los suelos responde a los criterios establecido por la FAO (1977) y Soil Survey staff (1992).

Por otra parte, fue evaluada la resistencia a la penetración a la humedad de campo por el método de penetrómetros manual de cono de Eijkelkamp. Esta variable fue evaluada en dos formas: la primera se realizó en tres sitios al borde de la zona de plateo a tres profundidades de 10, 20 y 30 cm respectivamente. Para la segunda evaluación se realizaron tres transeptos en triangulo desde el fuste hasta el borde de la zona de plateo, evaluando cada 50 cm hasta los 3,5 m la resistencia a la penetración a tres profundidades de 10, 20 y 30 cm.

2.2.3 Población y muestra. Para el desarrollo de este experimento, se escogieron dos bloques, donde se presentaban diferente escala de incidencia, sana (control), inicial, intermedio y avanzado con ataque de la enfermedad pudrición de cogollo (PC), por cada bloque se escogieron cuatro lotes, que presentaran cada uno de los grados de incidencia. En cada índice de severidad se muestrearon ocho pozos de observación al lado de cada unidad experimental constituida por una planta de palma africana, para un total de 64 muestras aleatorias (4 tratamientos* 2 bloques* 8 pozos de observación). Donde se evaluaron las características que presentaban los horizontes de cada grado de incidencia de PC, con la escala de severidad de la pudrición del cogollo en palmas (Martínez y Torres, 2007).

2.2.4 Diseño experimental. Los datos del estudio como densidad aparente y resistencia a la penetración fueron analizados bajo un diseño experimental de muestreo aleatorio simple estratificado con cuatro tratamientos (grado de afectación inicial, intermedia y avanzada) y un control (Sana). Los datos fueron tabulados en programa Microsoft Excel, versión 2016. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) y un análisis de comparación de medias de Tukey con significancia de 0,05. Así mismos se realizó un análisis de regresión para la resistencia a la penetración en función de la distancia en la zona de plateo, mediante el programa estadístico SAS versión 9.1.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1 Descripción de los perfiles modales. Los puntos muestreados en la finca Padelma, distribuidos en la investigación como lotes I y II, están situados en un paisaje de planicie, donde predomina el tipo relieve plano de inundación. Los suelos se han desarrollado a partir de aluviones finos, medios y gruesos. Son profundos y tienen buen drenaje natural, con régimen de temperatura edáfica isohipertérmico y régimen de humedad Ústico. La vegetación natural ha sido sustituida por el cultivo Palma de aceite (I.G.A.C, 2009).

Según las zonas de vida de Holdridge, La región está catalogada como bosque seco tropical (Bs-t) con una altura de 20 m.s.n.m, humedad relativa promedio de 82%; evaporación de 1.500 mm año (IDEAM 2007) y se presenta un promedio de precipitación anual de 1112,7 mm con variaciones entre 693,3 y 1532 mm, la temperatura presenta valor promedio de 28,1 °C con intervalo de confianza entre 27,3 y 29 °C y la humedad relativa está entre el 78% y 83% (Revueltas, Mercado y Aguirre 2020).

2.3.1.1 Nivel de incidencia cero (0). En el perfil modal de los pozos de observación en los lotes I y II, para el nivel de incidencia testigo, se encontró que estos suelos presentan un epipedón mólico sobre un endopedón cámbico con una ocurrencia de los horizontes Ap de 0-25 cm, en el lote I y Ap de 0-23 cm en el Lote II. El epipedón normalmente está modificado por actividades humanas de manera que se reconoce como un horizonte antrópico, donde el color más frecuente fue el marrón grisáceo muy oscuro (10YR3/2) con moteada oliva (5YR4/6) en aproximadamente un 60% en el lote I y gris muy oscuro (10YR3/1) con moteado marrón amarillento oscuro 10YR3/4 en aproximadamente 70% para el lote II. Generalmente, estos colores oscuros en el horizonte pueden ser producto del tiempo de inundación y de la acumulación de material vegetal y animal que al descomponerse aportan diferentes compuestos orgánicos en los horizontes superiores (Tabla 2.1).

La estructura en este horizonte es blocosa sub angular de tamaños medios y finos fuertemente desarrollada; la consistencia en húmedo es friable y en mojado fue plástica y pegajosa en los lotes. Por su parte la textura franco arcillosa es la más común en este horizonte.

El segundo horizonte modal se definió como Bg de 25- x cm y Bg 23 – x cm, para cada lote respectivamente. A esta profundidad hay un buen desarrollo de la estructura con predominio de bloques sub angulares y angulares, de tamaños variables de medios y finos, con grado de desarrollo fuerte.

Tabla 2.1. Descripción del pozo de observación modal del lote 1 e incidencia 0.

Departamento de Magdalena, municipio Zona Bananera

<p>Horizonte Ap: espesor de 0 a 25 cm; color en húmedo marrón grisáceo muy oscuro (10YR3/2) y moteada oliva (5YR4/6) en un 30%. Textura al tacto-franco Arcilloso; estructura en bloques angulares a sub angulares, medios a finos; grado fuerte; consistencia en húmedo poco friable, en mojado pegajosa y plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces gruesas moderadas; reacción con H₂O₂ visible y poco audible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.</p>	
<p>Horizonte Bg: de 25 a x cm; color en húmedo (10YR3/1) gris muy oscuro y moteado rojo amarillento (5YR 5/6) en un 50%. Textura al tacto-Franco arcillosa. Estructura blocosa angular a sub angular, media, moderada; consistencia en húmedo friable, en mojado pegajosa y plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces escasas; reacción con H₂O₂ poco audible y poco visible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.</p>	

Así mismo, en estos cateos realizados en los distintos pozos de observación, predomina la fracción granulométrica arcilla, con texturas al tacto frecuentes como la franca arcillosa, franco arcillo limosas; arcillo limosas, arcillosas, arenoso franco y arenosas, en el segundo horizonte del perfil modal de suelo.

De igual manera en el segundo horizonte el color en húmedo fue gris muy oscuro (10YR3/1), con moteados rojos amarillentos (5YR 5/6) en un 30%. En estas condiciones fue evidenciado que se presentó una gleyzación fuerte, causado por la presencia de un drenaje interno pobre, combinado con niveles freáticos altos, típico de regiones aluviales, donde abundan los planos de inundación con empozamiento o saturación del suelo, y adicionalmente mal funcionamiento del sistema de drenaje, causados por mal diseño o falta de mantenimiento. La mayoría de los horizontes presentan consistencias en húmedo firmes, en mojado pegajosa y plástica, aunque se presentan, consistencias friables en algunos sectores donde hay altos porcentajes de arena y buena porosidad (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Descripción del pozo de observación modal del lote 2 e incidencia 0.

Departamento de Magdalena, municipio Zona Bananera

Horizonte Ap: de 0 a 23 cm. Color en húmedo gris muy oscuro (10YR3/1) y moteado marrón amarillento oscuro 10YR3/4 50% en un 50%. Textura al tacto-franco Arcilloso; estructura en bloques angulares a sub angulares, medios a finos; grado fuerte; consistencia en húmedo poco friable, en mojado pegajosa y plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces gruesas escasas; reacción con H₂O₂ visible y poco audible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.



Horizonte Bg: de 23 a x cm. Color en húmedo (10YR3/2) pardo grisáceo muy oscuro y moteados pardos amarillentos oscuros (10YR 4/4) en un 50%. Textura al tacto-franco arcillosa. Estructura blocosa angular a sub angular, media, moderada; consistencia en húmedo friable, en mojado pegajosa y plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces escasas; reacción con H₂O₂ poco audible y poco visible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.

Las reacciones al H₂O₂, en términos generales fueron moderadas a débiles en los dos lotes y fue disminuyendo a profundidad en cada pozo estudiado, además cabe destacar que no se presentó reacción al HCl en los pozos de observación. Por otra parte, se pudo observar escasa actividad de macroorganismos y escasa raíces finas. Estas características en contenidos orgánico que se encuentran conforme a la profundidad, está en coherencia con el limitado crecimiento radicular del cultivo de palma africana, que puede explicarse por la disminución del contenido de oxígeno y el continuo almacenamiento de agua en los poros del suelo.

Al respecto, Koppitz (2004) indica que, bajo condiciones de inundación, el aire en los poros del suelo es desplazado por el agua y el poco oxígeno existente es consumido rápidamente por la respiración de las raíces y la respiración microbial y los procesos de oxigenación, que afectan el metabolismo de las plantas (Kulichikin *et al.*, 2008).

En estas condiciones los colores que indican una alta gleyzación (71,8 % de los pozos muestreados) demuestran que el drenaje interno del suelo va de pobre a moderadamente drenado, que probablemente se puedan estar presentando por dos niveles freáticos, uno verdadero durante la temporada de lluvias y otro falso en época

seca, producido por el riego que se hace desde los canales de riego y la reducida pérdida de agua por lixiviación que es ocasionada por la compactación de los horizontes subsuperficiales (37,5% de los pozos muestreados).

Tabla 2.3. Principales características físicas encontradas en los pozos de observación para el grado de incidencia testigo, en los lotes I y II de la finca Padelma.

Observación	Htz	Prof (cm)	Textura	Densidad	Oxido -	Raíces	Color
Lote 1							
1	Ap	0 -15	FArA	Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/2 5YR4/6 (20%)
	Bdg	15 - X	FA	Muy Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/2 10YR5/8 (25%)
2	Ap	15 - X	FA	Adensado	Reducción	Escasas	2.5Y3/1 10YR4/6 (15%)
	Bdg	0 - 15	FArA	Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/1 10YR5/6 (35%)
3	Ap	0 - 25	FA	No	Oxidación	Abundante	2.5Y3/3
	Bw	25 - X	FL	No	Oxidación	Abundante	2.5Y3/3
4	Ap	0 - 24	FArA	No	Oxidación	Escasas	2.5Y4/3
	Bw	24 - X	FArL	No	Reducción	Escasas	2.5Y4/2
5	Ap	0-21	FAr	No	Reducción	Escasas	10YR2/1
	Bg	21 - X	FArL	No	Reducción	Escasas	10YR3/2 10YR4/4 (25%)
6	Ap	0 - 25	FAr	No	Reducción	Escasas	2.5Y3/1
	Bg	25 - X	FArL	No	Reducción	Escasas	2.5Y4/1 10YR5/8 (25%)
7	Ap	0 - 22	FA	Adensado	Reducción	Escasas	2.5Y 2.5/1
	Bwg	22 - X	FArA	Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/1 10YR3/3 (30%)
8	Ap	0 - 20	FA	No	Reducción	Escasas	2.5Y2.5/1
	Bdg	20 - X	FArA	No	Reducción	Escasas	10YR3/1
Lote 2							
1	Ap	0 -17	FArL	No	Oxidación	Escasas	7.5YR3/1
	Bw	17 - X	FA	No	Oxidación	Escasas	10YR4/4
2	Ap	0 - 26	FAr	Muy Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/1
	Bg	26 - X	FArL	Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/1 10YR3/4 ((40%))
3	Ap	0 -18	FArL	No	Oxidación	Escasas	10YR3/2
	Bw	18 - X	FA	No	Oxidación	Escasas	10YR3/4
4	Apg	0 - 21	FArL	Adensado	Reducción	Escasas	7.5YR 4/1 7.5YR3/3
	Bg	21 - X	FArL	Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/3 10YR5/6 50%
5	Apg	0 - 23	FAr	No	Reducción	Escasas	10YR3/1 10YR3/4 (50%)
	Bg	23 - X	FArL	No	Reducción	Escasas	10YR4/7 10YR4/4
6	Ap	0 - 16	FArA	No	Reducción	Escasas	10YR3/1
	Bg	16 - X	FA	No	Reducción	Escasas	10YR4/2 10YR4/4 (25%)
7	Apg	0 -19	FAr	Adensado	Reducción	Escasas	Glev 2 4/10B6 10YR4/3
	Bdg	19 - X	FAr	Adensado	Reducción	Escasas	Glev II 3/B
8	Ap	0 - 22	FArA	No	Oxidación	Escasas	10YR4/4
	Bg	22 - X	FArL	No	Reducción	Escasas	10YR3/2 10YR3/4 (25%)

Htz: Horizonte; Prof: profundidad. No: no adensado

Por lo tanto, la continua aplicación de agua, ocasiona que el aire se escape a la atmosfera y se produzca la reducción de minerales como el hierro y manganeso que origina una matriz gleizada (Tabla 2.3). Bacha (2002) y Kimura (2000) exponen que la reducción del hierro y manganeso y el incremento que los acompaña en su solubilidad es, quizás, el cambio químico más importante que tiene lugar en los suelos inundados, y esto se debe a los procesos bioquímicos que ocurren en estos suelos.

2.3.1.2 Nivel de incidencia bajo (I). La textura de los dos pozos de observación fue franco arenoso y franco arcillo limosa, con estructura en bloques subangulares de medios a finos en los horizontes superficiales y en bloques angulares a subangulares de medianos a grandes en los horizontes subsuperficiales de mayor profundidad. Además, la consistencia en húmedo fue poco friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica.

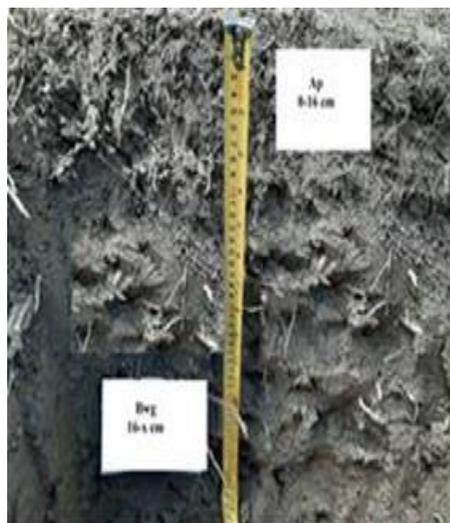
Los horizontes de los pozos de observación muestran colores grises muy oscuro (10YR3/1) en el primer horizonte Ap (0 - 16 cm) para el lote 1 (Tabla 2.4), y Ap (0 - 22 cm), color marrón grisáceo muy oscuro (10YR3/2) para el lote 2. En el horizonte Bg (16 - X cm), presentó color negro (10YR2/1), con moteados de color marrón amarillento (10YR5/4) en un 25% para este horizonte en el lote 1, y Bdg (22 - x cm) con color rojo amarillento (5YR 5/8) y moteado gris muy oscuro (10YR3/2) en un 25% para el horizonte en el lote 2 (Tabla 2.4).

En el lote 1, se puede evidenciar baja presencia de raíces finas y medias en todos los pozos de observación, además no se evidenció presencia de macrofauna edáfica. La aplicación de peróxido indico poca actividad de materiales orgánicos y la aplicación de HCl indicó que no hay presencia de carbonatos. Cabe indicar que bajo estas condiciones se presentan los primeros focos de la enfermedad con un nivel de incidencia bajo (Tabla 2.5).

Tabla 2.4. Descripción del pozo de observación modal del lote 1 e incidencia 1.

Departamento de Magdalena, municipio Zona Bananera

Horizonte Ap: espesor de 0 a 16 cm; color en húmedo marrón grisáceo oscuro (10YR3/1) Textura al tacto-franco Arcilloso; estructura en bloques sub angulares, medios a finos; grado fuerte; consistencia en húmedo poco friable, en mojado pegajosa y plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces finas escasas; reacción con H₂O₂ visible y poco audible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.



Horizonte Bg: (16 - x cm). Color en húmedo (10YR2/1) gris muy oscuro y moteado rojo amarillento (5YR 5/4) en un 25%. Textura al tacto-franco arcillo arenosa. Estructura blocosa angular a sub angular, media, fuerte; consistencia en húmedo poco friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces escasas; reacción con H₂O₂ poco audible y poco visible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.

Tabla 2.5. Descripción del pozo de observación modal del lote 2 e incidencia 1.

Departamento de Magdalena, municipio Zona Bananera	
<p>Horizonte Ap: de 0 a 22 cm. Color en húmedo gris muy oscuro (10YR3/2) Textura al tacto-franco arcilloso; estructura en bloques angulares a sub angulares, medios a finos; grado fuerte; consistencia en húmedo poco friable, en mojado pegajosa y plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces raras escasas; reacción con H₂O₂ visible y poco audible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.</p>	

Horizonte Bdg: de 22 a x cm. Color en húmedo rojo amarillento 5YR 5/8 y moteado gris muy oscuro 10YR3/2 25% Textura al tacto-franco arcillo arenosa. Estructura blocosa angular a sub angular, media, moderada; consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; poros cantidad regular, finos y medianos actividad de macroorganismos escasa; raíces escasas; reacción con H₂O₂ poco audible y poco visible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.

Estos matices oscuros suelen indicar un mayor contenido de materia orgánica, sin embargo, en este lote el color oscuro del suelo puede además estar asociado al incremento de la humedad en el perfil de suelos y a la manifestación de propiedades gléyicas (68,7 % de las observaciones). Estas características se deben, en los dos lotes, a condiciones hidromórficas de origen natural y artificial, con carácter temporal, que provocan condiciones alternantes de oxidación-reducción (Tabla 2.6). Así mismo, la alta compactación (59,3% de las observaciones) que existe en los horizontes, reduce la salida de agua vía lixiviación, ocasionando la retención de humedad que conlleva a reducción del hierro y el manganeso (Bacha,2002; Kimura, 2000).

Tabla 2.6 Principales características físicas encontradas en los pozos de observación para el grado de incidencia I en los lotes 1 y 2 de la finca Padelma.

Observación	Htz	Prof (cm)	Textura	Densidad	Oxido	Raíces	Color
Lote 1							
1	Ap	0 - 21		No	Oxidación	Escasas	2.5Y4/3
	Bdg	21 - X	FAr	Muy adensado	Reducción	Escasas	2.5Y3/1
2	Ap	0 - 20		Adensado	Reducción	Escasas	7.5YR3/2
	Bdg	20 - X	FArL	Adensado	Reducción	Escasas	7.5YR4/3
3	Ap	0 - 23		No	Oxidación	Abundantes	2.5Y4/2
	Bw	23 - x	FArA	No	Oxidación	Abundantes	10YR5/6
4	Ap	0 - 23		No	Oxidación	Escasas	10YR4/2
	Bw	23 - X	FAr	No	Oxidación	Escasas	10YR4/4
5	Ap	0 -16		No	Reducción	Escasas	10YR3/1
	Bg	16 - X	FArA	No	Reducción	Escasas	10YR2/1 10YR5/4 (25%)
6	Ap	0 - 22		No	Reducción	Escasas	2.5Y3/1
	Bd	22 - X	FA	Adensado	Reducción	Escasas	2.5YR3/3
7	Ap	0 -18		Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/2
	Bg	18 - X	FA	Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/1 10YR4/4 (25%)
8	Ap	0 - 21		Adensado	Reducción	Escasas	2.5Y2,5/1
	Bg	21 - X	FA	Adensado	Reducción	Escasas	2.5Y3/3 10YR4/6 (50%)
Lote 2							
1	Ap	0 -20		Adensado	Reducción	Escasas	5Y4/2
	Bd	20 - X	FArA	Adensado	Reducción	Escasas	2.5Y3/2
2	Ap	0 -16		Muy adensado	Reducción	Escasas	5Y4/2
	Bdg	16 - X	FArA	Adensado	Reducción	Escasas	2.5Y5/1
3	Ap	0 - 21		Adensado	Reducción	Escasas	5Y4/2
	Bd	21 - X	FArA	Muy Adensado	Oxidación	Escasas	2.5Y5/1
4	Ap	0 -14		Adensado	Oxidación	Escasas	10YR4/3
	Bd	14 - X	FAr	Muy Adensado	Oxidación	Escasas	10YR3/4
5	Ap	0 -18		Adensado	Reducción	Escasas	10YR4/3
	Bd	18-X	FArA	Muy adensado	Reducción	Escasas	10YR3/4
6	Ap	0 - 17		No	Oxidación	Escasas	2.5Y3/3
	Bg	17 - X	FArL	Adensado	reducción	Escasas	2.5Y3/2
7	Ap	0 - 20		No	Oxidación	Escasas	2.5Y5/3
	Bw	20 - X	FArA	No	Reducción	Escasas s	2.5Y3/2
8	Ap	0 - 22		No	Reducción	Escasas	10YR3/2
	Bdg	22 - X	FArA	No	Reducción	Escasas	5YR 5/8 10YR3/2 (25%)

2.3.1.3 Nivel de incidencia media (II). En los horizontes analizados del lote I y II en el nivel de incidencia medio; la textura que predomina es la franca arcillosa y franco limosa en los horizontes Ap (0 – 25 cm) y en Bw (25 - X cm de profundidad). Por otra parte, a nivel general la estructura se presenta en bloques angulares a sub angulares de tamaños finos a medianos y en algunas excepciones bloques grandes y de grado fuerte y la consistencia en el lote 1 es muy plástica y pegajosa (Tabla 2.7). En relación al contenido de materia orgánica, se encontró escasas reacción con H₂O₂ y no hubo reacción al HCl; por lo tanto, no hay presencia de carbonatos.

Tabla 2.7. Descripción del pozo de observación modal del lote 1 e incidencia II.

Departamento de Magdalena, municipio Zona Bananera	
<p>Horizonte Ap: espesor de 0 a 23 cm; color en húmedo marrón grisáceo oscuro (10YR3/1). Textura al tacto-franco arcilloso; estructura en bloques angulares a sub angulares, medios a finos; grado fuerte; consistencia en húmedo poco friable, en mojado pegajosa y plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces finas escasas; reacción con H₂O₂ visible y poco audible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.</p>	
<p>Horizonte Bdg: de 23 a x cm; color en húmedo (10YR1/1) gris muy oscuro y moteados marrones amarillentos oscuros (10YR 4/4) en un 50%. Textura al tacto, franco arcillo limoso. Estructura blocosa angular, media, fuerte; consistencia en húmedo poco friable, en mojado pegajosa y plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces escasas; reacción con H₂O₂ poco audible y poco visible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.</p>	

El horizonte Bd del Lote II (26 -X cm) tiene mayor contenido de arcillas y limo, lo que puedes estar ocasionado el grado de compactación encontrado (Tabla 2.8). Así mismo, estas características de endurecimiento entre los horizontes, puede generar diferencias notables entre los lotes. Siendo comprobado en campo, donde se encontró que en este nivel de incidencia de PC en el suelo del lote II, presentó niveles altos de resistencia a la penetración y horizontes superficiales y sub superficiales endurecidos, probablemente cementados por sílice (SiO₂), presumiblemente en forma de ópalo y formas microcristalinas de sílice. La consistencia en el lote 2 es muy variable, de plástica a ligeramente pegajosa por los contenidos de limo que se presentan en estos horizontes. En relación al contenido de materia orgánica, se encontró escasas reacción con H₂O₂ y no hubo reacción al HCl. Por lo tanto, no hay presencia de carbonatos.

Tabla 2.8. Descripción del pozo de observación modal del lote 2 e incidencia II.

Departamento de Magdalena, municipio Zona Bananera

<p>Horizonte Ap: 0-25 cm Color en húmedo gris muy oscuro (10YR3/1) y moteado marrón amarillento oscuro 10YR3/4 50% en un 50%. Textura al tacto-franco arcilloso; estructura en bloques angulares a sub angulares, medios a finos; grado fuerte; consistencia en húmedo poco friable, en mojado pegajosa y plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces gruesas escasas; reacción con H₂O₂ visible y poco audible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.</p>	
<p>Horizonte Bdg: 25 a x cm Color en húmedo (10YR3/2) pardo grisáceo muy oscuro y moteados pardos amarillentos oscuros (10YR 4/4) en un 50%. Textura al tacto-franco arcillo arenosa. Estructura blocosa angular a sub angular, media, moderada; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces escasas; reacción con H₂O₂ poco audible y poco visible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.</p>	

Es importante mencionar que el drenaje interno del suelo es imperfecto bajo estas condiciones y se observan problemas de óxido reducción en los horizontes. Predominando el proceso de reducción en el lote 1, y en el lote 2, el proceso de oxidación. En general se encontró que en un 59,3 % de las observaciones realizadas los suelos presentan matriz gleizada (Bacha, 2002) y Kimura (2000), y se presentó compactación en un 50%. En estas condiciones fue evidente que las plantas han desarrollado muy pocas raíces finas, lo que dificulta una absorción adecuada de los nutrientes del suelo (Tabla 2.9).

Tabla 2.9. Principales características físicas encontradas en los pozos de observación para el grado de incidencia I en los lotes I y II de la finca Padelma.

Observación	Htz	Prof (cm)	Textura	Densidad	Oxido	Raíces	Color
Lote 1							
1	Ap	0 - 22		No	Reducción	Escasas	10YR4/2
	Bg	22 - X	Ar	No	Reducción	Escasas	10YR3/2
2	Ap	0 - 23		No	Oxidación	Escasas	10YR4/1
	Bw	23 - X	FArL	Adensado	Oxidación	Escasas	2.5Y4/3
3	Ap	0 - 23		No	Reducción	Escasas	10YR3/1
	Bdg	23 - X	FArL	No	Reducción	No hay	10YRY3/1
4	Ap	0-20		No	Reducción	Escasas	10YR4/1
	Bw	20 - X	FArL	No	Reducción	Escasas	10YR4/1
5	Ap	0 - 24		No	Reducción	Escasas	10YR3/1
	Bg	24 - X	FrAr	Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/2 10YR4/3 (25%)
6	Ap	0 - 19		No	Reducción	Escasas	10YR3/1
	Bg	19 - X	FrArL	No	Reducción	No hay	10YR3/2
7	Ap	0 - 21		No	Reducción	Escasas	2.5Y3/1
	Bg	21 - X	FrArL	No	Reducción	Escasas	2.5Y4/1 10YR5/8 (25%)
8	Ap	0 - 22		No	Reducción	Escasas	2.5Y4/1
	Bw	22 - X	FrArL	No	Oxidación	No hay	10YR5/8 2.5Y4/1
Lote 2							
1	Ap	0 - 22		Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/2
	Bd	22 - x	FrArL	Muy adensado	Oxidación	Escasas	10YR3/4
2	Ap	0 - 19		Adensado	Reducción	Escasas	10YR4/2
	Bdg	19 - X	FrA	Muy adensado	Oxidación	Escasas	10YR5/8
3	Ap	0 - 20		No	Reducción	Escasas	10YR3/1
	Bg	20 - X	FrA	No	Oxidación	Escasas	7.5YR4/6
4	Ap	0 - 23		Adensado	Reducción	Escasas	2.5Y5/2
	Bdg	23 - X	FAr	Muy adensado	Reducción	Escasas	10YR4/1
5	Ap	0 - 22		Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/2
	Bw	22 - X	FArL	Adensado	Oxidación	Escasas	10YR4/6
6	Ap	0 - 21		Adensado	Oxidación	Escasas	10YR3/4
	Bd	21 - X	FrA	Muy adensado	Oxidación	Escasas	10YR3/6
7	Ap	0 - 26		Adensado	Oxidación	Escasas	10YR3/1
	Bw	26 - X	FrA	Adensado	Oxidación	Escasas	10YR4/3
8	Ap	0 - 25		Adensado	Oxidación	Escasas	2.5Y4/2
	Bd	25 - X	FrAr	Muy adensado	Oxidación	Escasas	10YR3/4

Htz: Horizonte; Prof: profundidad. No: no adensado

2.3.1.4 Nivel de incidencia alta (III). Se pudo determinar que en el lote 1, el horizonte superficial Ap (0 - 23 cm), y para el lote 2 con horizonte Ap (0 -16 cm) predominan las texturas franco limosas, franco arcillosas y franco arcillo limosas), mientras que para la profundidad interior en el horizonte Bd (23 - X cm) predominan las texturas franco arcillo limosa, arcillosa y franco arcilloso (Tabla 2.10).

De acuerdo con Pla (2010) y Bravo *et al.* (2008) la textura del suelo representa una variable muy importante ya que está relacionada con otros parámetros físicos, químicos y biológicos como por ejemplo la densidad aparente, la retención de humedad, la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad de nutrientes, la porosidad, y la actividad biológica. Por otra parte, a nivel general la estructura se presenta en bloques angulares a sub angulares de tamaños medianos a grande y en algunas excepciones bloques grandes y de grado fuerte y la consistencia en el lote 1 fue plástica y pegajosa (Tabla 2.10).

Tabla 2.10. Descripción del pozo de observación modal del lote I e incidencia III.

Departamento de Magdalena, municipio Zona Bananera	
<p>Horizonte Ap: espesor de 0 a 21 cm; color en húmedo oliva gris (5Y4/2). Textura al tacto franco arcilloso; estructura en bloques angulares grandes a medios, grado fuerte; consistencia en húmedo poco friable, en mojado pegajosa y plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces finas escasas; reacción moderada con H₂O₂ visible y poco audible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.</p>	
<p>Horizonte Bd: de 21 a x cm; color en húmedo (2.5Y5/1) gris. Textura al tacto-franco arcillosa. Estructura blocosa angular, grandes a medianos, moderada; consistencia en húmedo poco friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces escasas; reacción con H₂O₂ poco audible y poco visible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.</p>	

En relación a la actividad de microorganismos, se encontró poca actividad de macrofauna y escasa cantidad de raíces y al realizar la prueba con H₂O₂ se evidenció una reacción moderada, y no hubo reacción al HCl en los dos horizontes del lote 1. En relación al lote 2, las texturas predominantes fueron la franca arcillosa arenosa y franca arcillosa, con estructura en bloques angulares a sub angulares de tamaños finos a medianos y en algunas excepciones bloques grandes y de grado fuerte y la consistencia en el lote 2 fue pegajosa y plástica en general (Tabla 2.11). En relación a la actividad de microorganismos, se encontró poca actividad de macrofauna y escasa cantidad de raíces

y al realizar la prueba con H₂O₂ se evidenció una reacción moderada, y no hubo reacción al HCl en los dos horizontes del lote 2.

Tabla 2.11. Descripción del pozo de observación modal del lote 2 e incidencia III.

Departamento de Magdalena, municipio Zona Bananera	
<p>Horizonte Ap: Color en húmedo marrón (10YR4/3). Textura al tacto-franco arcilloso; estructura en bloques angulares a sub angulares, medios a finos; grado fuerte; consistencia en húmedo poco friable, en mojado pegajosa y plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces gruesas escasas; reacción con H₂O₂ visible y poco audible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.</p>	
<p>Horizonte Bd: Color en húmedo (10YR3/4) Marrón Amarillento oscuro. Textura al tacto-Franco arcillo arenosa. Estructura blocosa angular, media, fuerte; consistencia en húmedo poco friable, en mojado pegajosa y ligeramente plástica; poros cantidad regular, finos; actividad de macroorganismos escasa; raíces escasas; reacción con H₂O₂ poco audible y poco visible; sin reacción al HCl; límite entre horizontes difuso.</p>	

Para el máximo nivel de incidencia de PC, fue evidente que las características físicas predominante fueron las texturas finas y la alta compactación en el lote 1 y 2 (Tabla 2.12). Así mismo, se constató en campo que existe o predomina también el estado de reducción (68,7 %) en la mayoría de los pozos de observación evaluados y un adensamiento de 59,3% de las observaciones realizadas.

De acuerdo con la FAO, (2016) un alto porcentaje de arcilla dispersa en agua de los poros del suelo se cierran y se forma una capa superficial sellada, lo cual afecta a la infiltración y aumentando hasta un 90% los estados de oxido reducción en los suelos. además, refleja la facilidad en el adensamiento del suelo llegando a porcentaje elevados.

Tabla 2.12. Principales características físicas encontradas en los pozos de observación para el grado de incidencia I en los lotes I y II de la finca Padelma

Pozo	Hte	Prof (cm)	Textura	Densidad	Oxido reducción	Raíces	Color
Lote 1							
1	Ap	0 - 21		No	Oxidación	Escasas	2.5Y4/3
	Bdg	21 - X	FAr	Muy adensado	Reducción	Escasas	2.5Y3/1
2	Ap	0 - 20		Adensado	Reducción	Escasas	7.5YR3/2
	Bdg	20 - X	FArL	Adensado	Reducción	Escasas	7.5YR4/3
3	Ap	0-23		No	Oxidación	Abundantes	2.5Y4/2
	Bw	23 - X	FArA	No	Oxidación	Abundantes	10YR5/6
4	Ap	0 - 23		No	Oxidación	Escasas	10YR4/2
	Bw	23 - X	FAr	Adensado	Oxidación	Escasas	10YR4/4
5	Ap	0 - 16		No	Reducción	Escasas	10YR3/1
	Bg	16 - X	FArA	Adensado	Reducción	Escasas	10YR2/1
							10YR5/4
6	Ap	0 - 22		No	Reducción	Escasas	2.5Y3/1
	Bd	22 - X	FA	Adensado	Reducción	Escasas	2.5YR3/3
7	Ap	0 - 18		No	Reducción	Escasas	10YR3/2
	Bg	18 - X	FA	Adensado	Reducción	Escasas	10YR3/1
							10YR4/4
8	Ap	0 - 21		No	Reducción	Escasas	2.5Y2,5/1
	Bg	21- X	FA	Adensado	Reducción	Escasas	2.5Y3/3
							10YR4/6
Lote 2							
1	Ap	0 - 20		No	Reducción	Escasas	5Y4/2
	Bd	20 - X	FArA	Adensado	Reducción	Escasas	2.5Y3/2
2	Ap	0 -16		No	Reducción	Escasas	5Y4/2
	Bdg	16 - X	FArA	Adensado	Reducción	Escasas	2.5Y5/1
3	Ap	0 - 21		Adensado	Reducción	Escasas	5Y4/2
	Bd	21 - X	FArA	Muy adensado	Oxidación	Escasas	2.5Y5/1
4	Ap	0 - 14		adensado	Oxidación	Escasas	10YR4/3
	Bd	14 - X	FAr	Muy adensado	Oxidación	Escasas	10YR3/4
5	Ap	0 -18		adensado	Reducción	Escasas	10YR4/3
	Bd	18 - X	FArA	Muy adensado	Reducción	Escasas	10YR3/4
6	Ap	0 - 17		No	Oxidación	Escasas	2.5Y3/3
	Bg	17 - X	FArL	adensado	Reducción	Escasas	2.5Y3/2
7	Ap	0 - 20		No	Oxidación	Escasas	2.5Y5/3
	Bw	20 - X	FArA	Adensado	Reducción	Escasas	2.5Y3/2
8	Ap	0 - 22		No	Reducción	Escasas	10YR3/2
	Bdg	22 - X	FArA	Adensado	Reducción	Escasas	5YR 5/8

Htz: Horizonte; Prof: profundidad. No: no adensado

2.3.2 Evaluación de la densidad aparente en los diferentes grados de severidad en la finca Padelma. Los resultados obtenidos en esta investigación, indican que entre los diferentes grados de severidad no se encontró diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) con respecto a la densidad aparente (Tabla 2.13), además no se encontró diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) entre lotes (Tabla 2.14). Por lo tanto, para la discusión de los resultados sobre el efecto de la densidad aparente se harán figuras de tendencia y pruebas de media.

Tabla 2.13. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de la respuesta de la densidad aparente en diferentes grados de severidad en dos lotes sembrado con palma africana en la finca Padelma

Fuente	GL	Densidad aparente
Severidad	3	0.00882292 ns
Lote	1	0.01000000 ns
Severidad*Lote	3	0.00541667 ns

GL: grados de libertad.

Tabla 2.14. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de la respuesta de la densidad aparente en diferentes grados de severidad en cada lote sembrado con palma africana en la finca Padelma.

Fuente	GL	Densidad aparente para el lote 1	Densidad aparente para el lote 2
Severidad	3	0.00892813 ns	0.00531146 ns
Error	28	0.00701741	0.01176563
Coef Var		4.757.124	6.073.531

GL: grados de libertad.

Al realizar la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$), no se encontró diferencias estadísticas en la densidad aparente a los diferentes grados de severidades y (Figura 1ab). Sin embargo, para el lote 1 los valores más alto con 1,79 y 1,78 g cm⁻³ fueron encontrados en los grados de severidad dos y tres. En el lote 2 las densidades más altas se encontraron en el testigo y el grado de severidad tres con 1,78 y 1,82 g cm⁻³. Por otra parte, al realizar la prueba de media de Tukey se determinó que no hubo diferencias estadísticas para la densidad entre los lotes, presentando los lotes 1 y 2 una densidad de 1,76 y 1,78 g cm⁻³ (Figura 2.1).

Con estos resultados encontrados en densidad aparente, se puede indicar que el incremento en los grados de severidad, no tienen una relación directa con la densidad del suelo en esta localidad, pero puede tener relación con otras propiedades que inciden en su desarrollo. De acuerdo (Munévar *et al.*, 2001) algunas propiedades físicas del suelo ayudan la incidencia de la PC, y entre las características físicas se encuentran el contenido de humedad, densidad aparente, textura y tipo de arcilla. Así mismo, densidades aparentes en los lugares donde la incidencia de la enfermedad fue mayor

se presentaron valores aproximados a $1,56 \text{ g cm}^{-3}$, mientras en los sitios donde la incidencia fue menor se encontraron valores de $1,42 \text{ g cm}^{-3}$, con valores mayores a $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ de densidad aparente, encontrados en los diferentes grados de severidad y el testigo. Características que indican que existe una alta compactación del suelo, que genera un mayor contenido de humedad superficial. De acuerdo con Gutiérrez (2017) en los suelos con nivel de incidencia baja de PC presentan densidad aparente menor a $1,59 \text{ g cm}^{-3}$, para nivel de incidencia media densidad de $1,61 \text{ g cm}^{-3}$ y aquellos con nivel de incidencia alta a muy alta, valores mayores a $1,64 \text{ g cm}^{-3}$. Así mismo, indica que el incremento en la densidad aparente con la profundidad del suelo, está asociada con un incremento en el nivel de incidencia de la enfermedad.

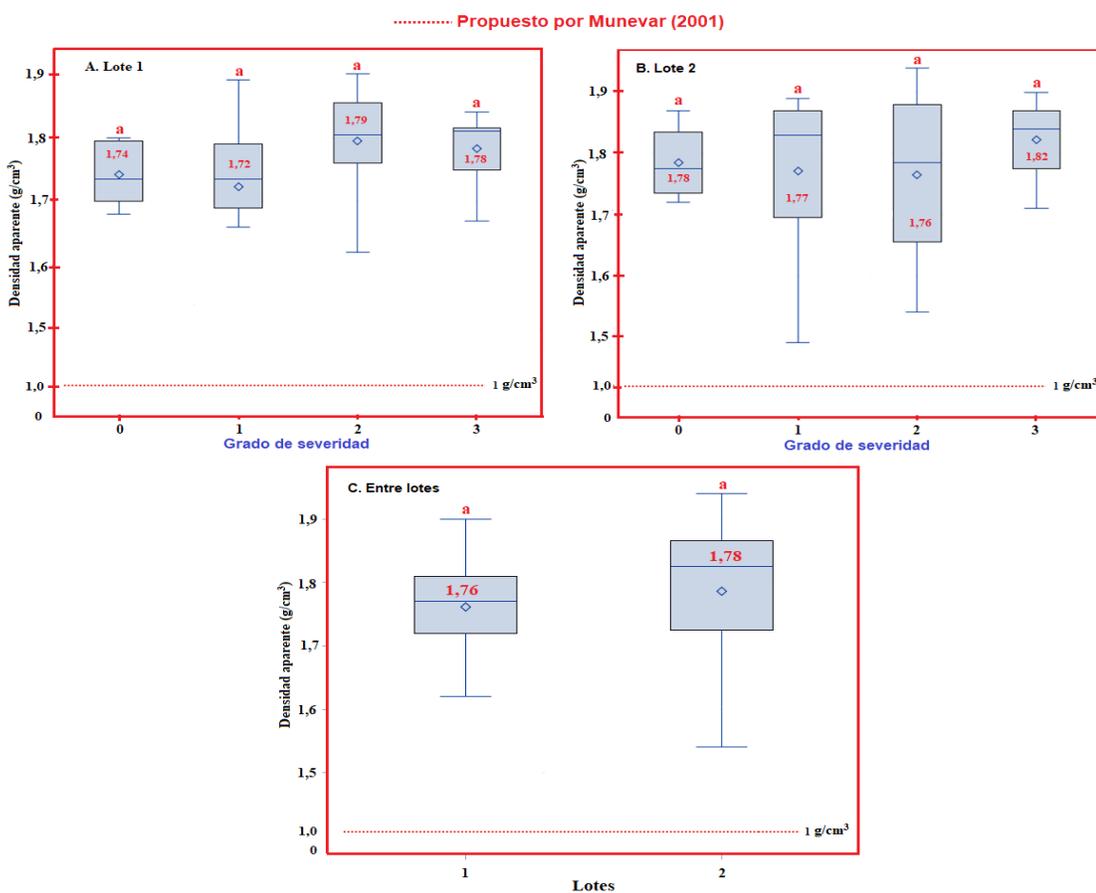


Figura 2.1. Densidad aparente en diferentes grados de severidad en dos lotes establecidos con palma africana en la finca Padelma.

Según Burbano y Primavesi (2001) los suelos que presentan los mayores valores de DA, son aquellos que tienden a tener menores contenidos de MO y a medida que se aumenta los contenidos de MO, bajan los valores de la DA y esto se debe a la agregación del suelo, lo cual facilita el flujo de aire, retiene la humedad, disminuye la resistencia a la penetración. Ponce (2003) planteó que la disminución del contenido de MO afecta la estructura y, por ende, la densidad del suelo. De acuerdo con Torres *et al.* (2006) y Medina *et al.* (2011) el continuo manejo de los suelos de forma intensiva repercute sobre la actividad biológica y un bajo contenido de materia orgánica que causa una baja porosidad, infiltración, conductividad hidráulica y reducido crecimiento de las raíces de este cultivo. Resultados similares fueron encontrados por Cabrera *et al.* (2001) quienes encontraron una disminución de la MO a medida que aumentó la profundidad entre 0 y 20 cm, y esto ocasiono la reducción en el grado de agregación, el coeficiente de filtración y el volumen de aireación. Zhang *et al.* (2006) y Duiker (2007), informaron que la compactación no solo redujo la porosidad total, sino que también modificó el tamaño de los poros y su distribución en el suelo. Además, Taboada y Micucci (2009) encontraron que la compactación provoca el aumento de la densidad, en suelos de textura fina la DA varía entre 1 y 1,2 g cm⁻³, mientras que en suelos arenosos aumenta y puede variar entre 1,2 y 1,6 g cm⁻³. Según Veihmeyer y Hendrickson (1948) el valor crítico de densidad aparente de los suelos para diferentes cultivos varía entre 1,47 y 1,90 g cm⁻³. lo cuales coinciden con los resultados con valore que oscilan entre 1,72 y 1,82 g cm⁻³.

Según Rojas (2013) afirma que el deterioro de las propiedades físicas compactado no es un suelo sano siempre hay mala agregación, impermeable para el aire y el agua, la planta siempre será mal nutrida ocasionando susceptibilidad a la planta al ataque patógeno. Según Håkansson y Reeder(1994) exponen que la persistencia de la compactación se considera particularmente grave y se le asocian una serie de efectos adversos tales como la reducción en el rendimiento de los cultivos y la productividad del suelo y la mayor vulnerabilidad de los cultivos a las enfermedades (Batey, 2009).

2.3.3 Resistencia a la penetración en profundidad en el lote 1. Los resultados obtenidos en esta investigación, indican que entre los diferentes grados de severidad se encontró diferencias estadísticas($p \leq 0,01$) con respecto a la resistencia a la penetración para las profundidades de 10, 20 y 30 centímetros (Tabla 2.15).

Al realizar la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$), se encontró diferencias estadísticas en la resistencia a la penetración a los diferentes grados de severidades a las diferentes profundidades (Figura 2.2). En relación a la profundidad de 10 centímetros, se encontró que la menor resistencia a la penetración con 1,57 Mpa la presentó el testigo, o sea sin presencia de Pudrición del cogollo (PC). A esta profundidad la máxima resistencia a la penetración se encontró en los grados de severidades 1 y 3 con 3,81 Mpa (Figura 2 abc).

Estos datos indican que a esta profundidad la resistencia a la penetración de 3,5 Mpa que muestra el penetrómetro es limitante al desarrollo radicular, y se encuentran por arriba de los límites establecidos por Keisuke *et al.* (2017). De acuerdo con Zou *et al.*

(2001) y Atwell (1993), la elongación radical decrece exponencialmente con el aumento de la resistencia del suelo y para una resistencia de 1,3 hasta 2 MPa la elongación máxima se redujo a la mitad.

Tabla 2.15. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de la respuesta de la resistencia a la penetración en diferentes grados de severidad a diferentes profundidades en suelos establecidos con palma africana en la finca Padelma.

Fuente	GL	profundidad 10 cm	profundidad 20 cm	profundidad 30 cm
Severidad	3	810695595 **	875394643 **	808231429 **
Error	24	0.06516905	0.05356071	0.05600952
Coef Var		8.631.692	7.428.743	8.085.130

GL: grados de libertad.

En la profundidad de 20 cm se encontró que la menor resistencia a la penetración con 2,01 Mpa la presentó el testigo sin PC. A esta profundidad la máxima resistencia a la penetración se encontró en los grados de severidades 1 y 3 con 4,0 y 4,14 Mpa. Estos resultados también se encuentran por arriba de los expuestos por Keisuke *et al.* (2017). Finalmente, para la profundidad de 30 cm la mínima resistencia se encontró en el grado de severidad 2 y los máximos valores en el grado 1 y 3 con 3,54 y 4,11 Mpa. Valores que son mayores a los expuestos como críticos para el crecimiento de raíces por parte de Keisuke *et al.* (2017). Según Forsythe *et al.* (2005) determinaron como valor crítico de resistencia a la penetración, un valor de 2,75 MPa, que afecta el rendimiento en el cultivo de maíz.

Sin duda alguna el incremento en los grados de severidad puede estar influenciado por el alto adensamiento, que se manifiesta en la alta resistencia a la penetración. De acuerdo con Rojas Peña y Ruiz (1975) aducen como posibles causas de predisposición a la PC esta la compactación o la presencia de capas endurecidas (adensadas). Pero los resultados de esta investigación no indican una tendencia definida en la aparición de la pudrición del cogollo. Esto se demuestra por la alta heterogeneidad en los valores que oscilan entre 1,57 y 4,14 Mpa, que se encuentran en los suelos a las diferentes profundidades que presentan los diferentes grados de severidad. Sin embargo, Acosta y Munevar (2003) en Colombia, encontraron que la incidencia de PC fue mayor en los suelos más compactados, con valores de resistencia a la penetración de 1,58 MPa.

No obstante, esta característica de resistencia a la penetración puede influir en otras características físicas, químicas y biológica del suelo, lo que puede ocasionar algún desorden fisiológico o fitoquímico que predisponga las plantas al ataque de diferentes patógenos como a *Phytophthora* sp., el cual indican que es el causante de esta enfermedad (Martínez *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2010). Según Chinchilla y Escobar (2004), el desorden de la PC puede ser el producto acumulado de alteraciones fisiológicas. Entre los factores que generan estrés se incluyen principalmente aquéllos

provenientes por la acción de organismos vivos y de alguna actividad antropogénica, los cambios en las condiciones ambientales, tales como temperaturas, la salinidad, la escasez o el exceso de agua, la carencia de nutrientes. Estos aspectos afectan en mayor o menor escala la vida de las plantas dejando expuesta al ataque de organismos patógenos (Cushman, 2001; Chynnusamy *et al.*, 2005).

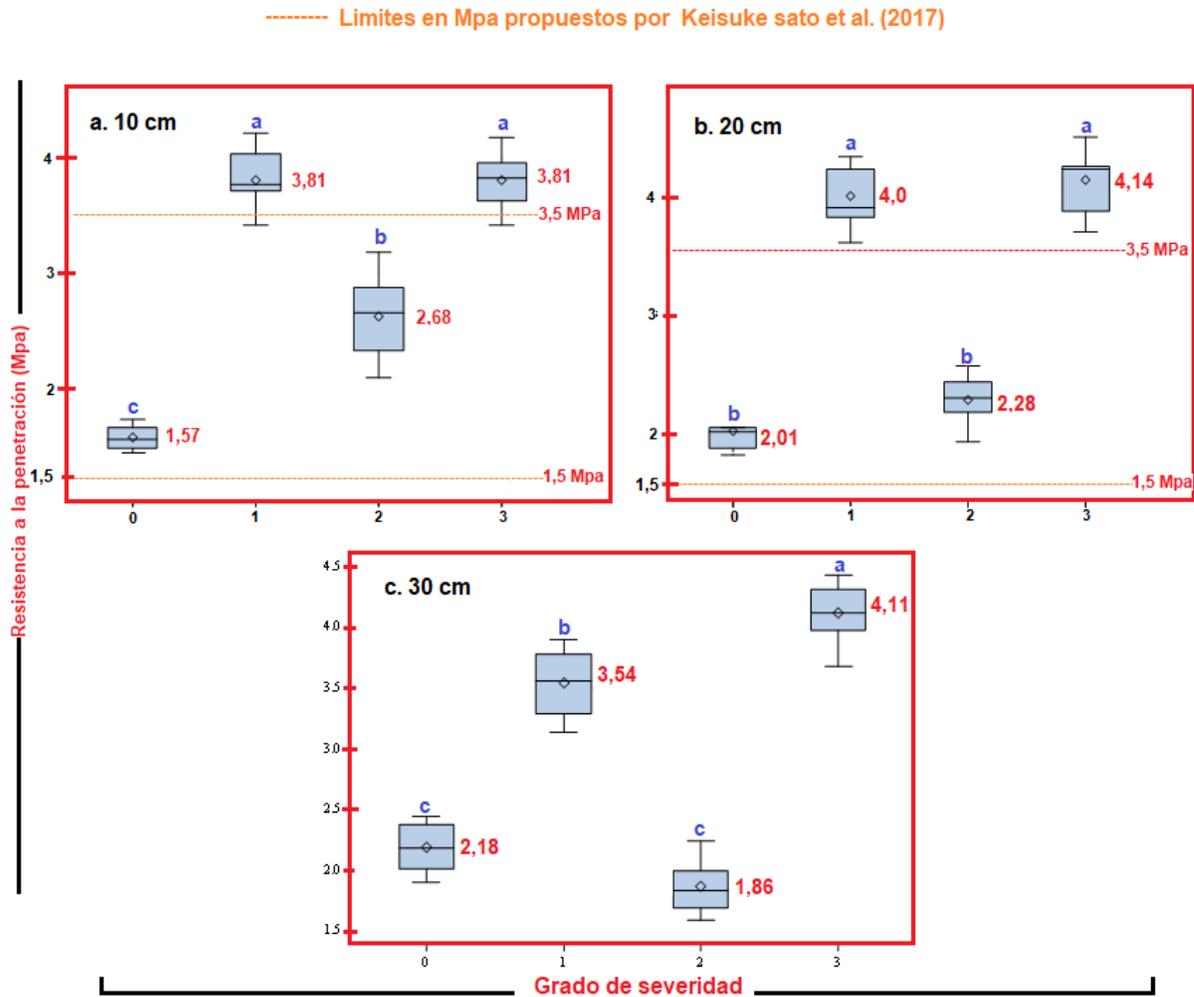


Figura 2.2. Resistencia a la penetración en diferentes grados de severidad en dos lotes establecidos con palma africana en la finca Padelma.

2.3.4 Resistencia a la penetración en profundidad en el lote 2 Los resultados obtenidos en esta investigación, indican que entre los diferentes grados de severidad se encontró diferencias estadísticas ($p \leq 0,01$) con respecto a la resistencia a la penetración para las profundidades de 10, 20 y 30 centímetros de profundidad (Tabla 2.16).

Tabla 2.16. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de la respuesta de la resistencia a la penetración en diferentes grados de severidad a diferentes profundidades en suelos establecidos con palma africana en la finca Padelma.

Fuente	GL	profundidad 10 cm	profundidad 20 cm	profundidad 30 cm
Severidad	3	805139524**	807826667**	751604167**
Error	24	0.02362024	0.04533333	0.08081548
Coef Var		3.859.449	5.257.192	7.242.160

GL: grados de libertad.

Al realizar la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$), se encontró diferencias estadísticas en la resistencia a la penetración a los diferentes grados de severidades (Figura 2.3). En relación a la profundidad de 10 centímetros, se encontró que la menor resistencia a la penetración con 3,03 Mpa la presentó el testigo sin PC. A esta profundidad la máxima resistencia a la penetración se encontró en los grados de severidades 1 y 2 con 4,81 y 5,0 Mpa (Figura 2.3 abc). Estos datos indican que a esta profundidad la resistencia a la penetración es limitante al desarrollo radicular, y son mayores a 3,5 Mpa, que son expuestos como críticos por Keisuke *et al.* (2017).

Con relación a la profundidad de 20 cm se encontró que la menor resistencia a la penetración con 2,96 Mpa la presentó la severidad grado 3. A esta profundidad la máxima resistencia a la penetración se encontró en los grados de severidades 1 y 2 con 4,94 y 5,0 Mpa. Estos resultados también se encuentran por arriba de los a 3,5 Mpa expuestos por Keisuke *et al.* (2017). Finalmente, para la profundidad de 30 cm la mínima resistencia se encontró en el grado de severidad 3 con 2,79 Mpa y los máximos valores en el grado 1 y 2 con 4,58 y 5,0 Mpa. Valores que son mayores a los expuestos como críticos de 3,5 Mpa, para el crecimiento de raíces por parte de Keisuke *et al.* (2017). Valores de 4,36 MPa, de muestran una alta compactación del suelo lo que inhibe el crecimiento de las raíces de cualquier cultivo (Nacci y Pla, 1991). Según Gutiérrez (2017) en estudios realizados por diferentes investigadores coinciden en establecer la frontera de desarrollo de las raíces entre los 3,0 y 3,5 MPa.

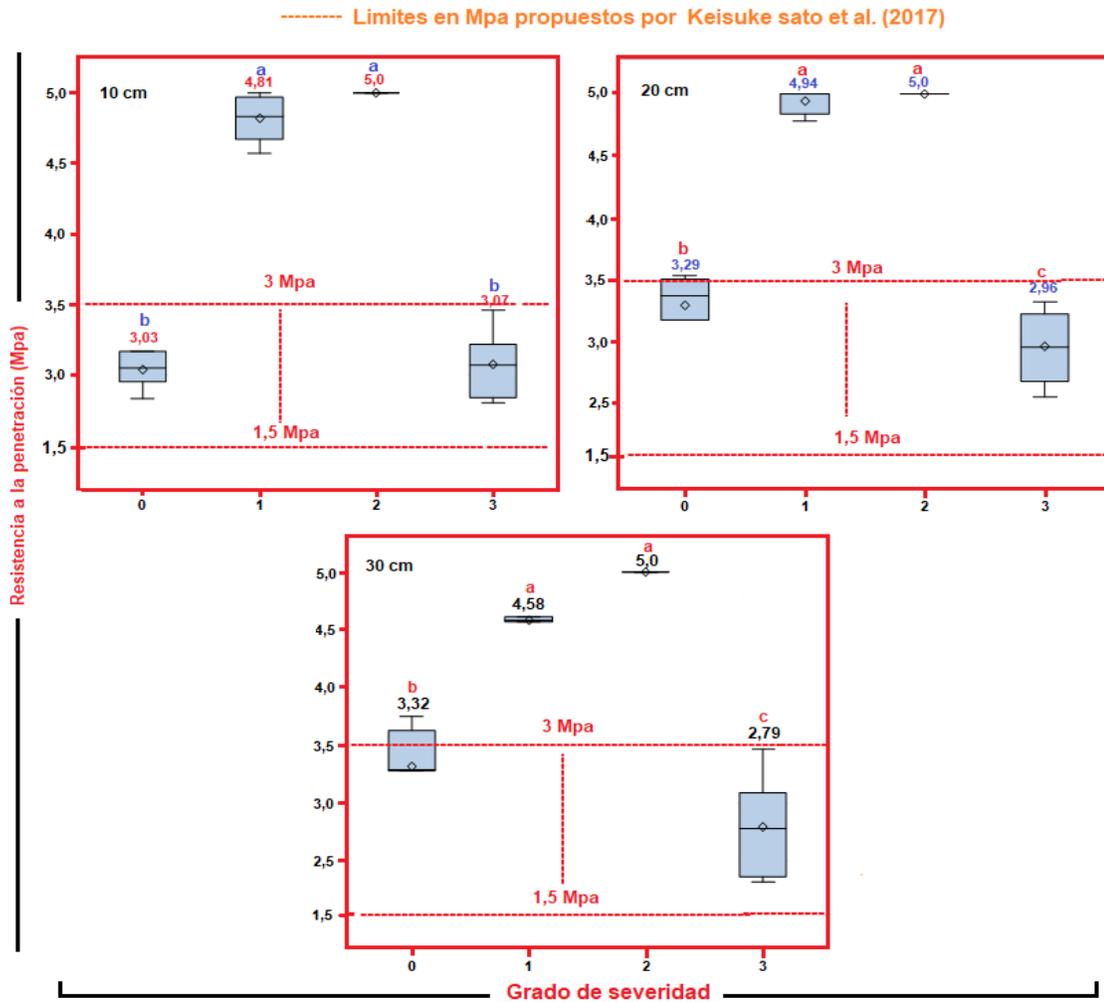


Figura 2.3. Resistencia a penetración en diferentes grados de severidad en dos lotes establecidos con palma africana en la finca Padelma

Para este lote se presentan resultados muy similares al lote 1, donde el incremento en los grados de severidad puede estar influenciado por el alto adensamiento, pero estos resultados no indican una tendencia definida en la aparición de la pudrición del cogollo en este estudio. Esto se demuestra que existe una alta heterogeneidad y una secuencia diferencial en los valores en Mpa, lo que no están directamente relacionados con los grados de severidad. En esta variable los valores que oscilan entre 2,79 y 5,0 Mpa a las diferentes profundidades.

2.3.5 Resistencia a la penetración a diferentes profundidades en la zona de plateo en los diferentes grados de severidad. En la Figura 2.4 a y b, se observa que en la severidad testigo hubo una respuesta lineal significativa a la resistencia a la penetración en la profundidad de 10 cm en el lote uno y el lote dos la profundidad de 20 cm. Para la severidad con grado 1 en el lote uno no hubo respuesta significativa en los coeficientes de los modelos lineales que describen la tendencia a la resistencia a la penetración, mientras que para el lote dos solo hubo respuesta lineal significativa para a la profundidad de 20 cm (Figura 2.4 c y d). Por otra parte, para la severidad con grado 2, se encontró respuesta lineal significativa para las tres profundidades en el lote 1, y en el lote 2 no hubo respuesta (Figura 2.4 e y f). Finalmente, para la severidad grado tres en el lote 1 no hubo respuesta significativa de los coeficientes en los modelos lineales que describen la tendencia a la resistencia a la penetración y para el lote 2 se encontró respuesta a las profundidades de 20 y 30 cm (Figura 4 g y h) la tendencia a la resistencia a la penetración y para el lote 2 se encontró respuesta a las profundidades de 20 y 30 cm (Figura 2.4 g y h).

En relación a los grados de severidad y el testigo, se observa en la figura 4 a y b de los lotes 1 y 2 se presentó en promedio la menor resistencia a la penetración con 1,92 y 3,21 Mpa. Además, se encontró que hubo una ligera tendencia a incrementarse la resistencia a la penetración a medida que las lecturas se alejaban del juste del árbol.

Estos resultados pueden estar relacionado con el tráfico de maquinaria, que de acuerdo con Eynard *et al.* (2004) el uso de maquinaria agrícola afecta la distribución del tamaño de los poros, así como su continuidad, debido a que el tráfico de maquinaria reduce la macroporosidad y la prolongación continuidad de los poros. Así mismo, la continua aplicación de herbicidas en esta zona, evita que exista una reposición de materiales orgánicas que disminuyan la alta compactación en esta zona.

Al analizar los diferentes grados de severidad para los lotes 1 y 2, en promedio de los muestreos a la resistencia a la penetración en la zona de plateo, se encontraron valores máximos de 4,99 y 4,78 para la severidad 2 en el lote 2 y la severidad 1 en el lote 2 (figura f, d). Los menores valores de resistencia a la penetración fueron verificados para la severidad 2 lote 1 con 2,26 Mpa y la severidad 3 lote 2 con 2,94 MPa. Varios autores como.

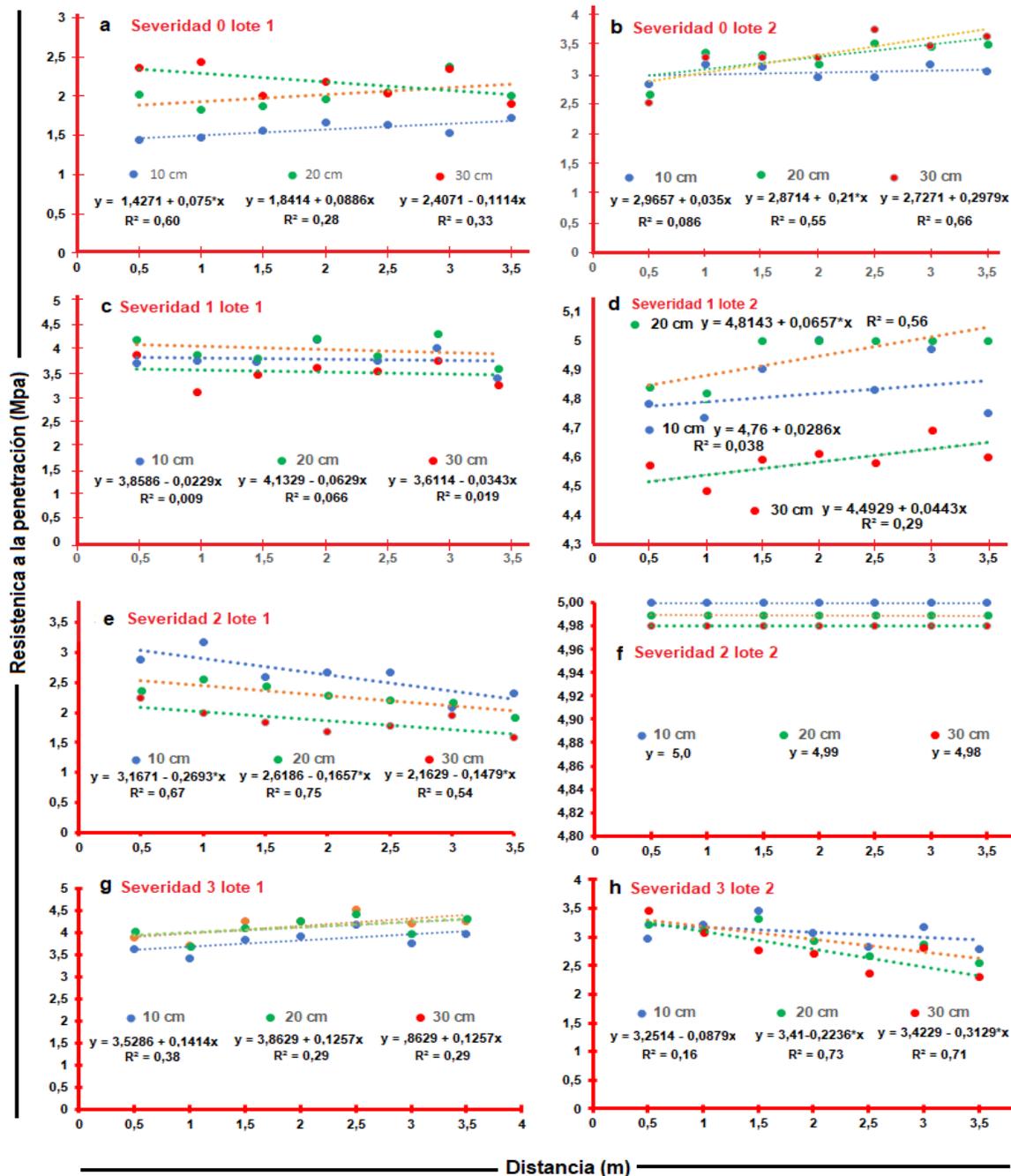


Figura 2.4. Resistencia a la penetración a diferentes longitudes y profundidad de muestreo y su relación con los diferentes grados de severidad en dos lotes establecidos con palma africana en la finca Padelma.

De acuerdo con Aguilar *et al.*, (2011) valores por encima de 2 MPa, son nivel crítico para el desarrollo de cualquier vegetal. Lal (1994) y Tormena *et al.* (1999) valores críticos \geq 2 MPa fueron limitantes para el desarrollo de las raíces absorbentes, asociado a una alta densidad aparente. Además, Hossne (2004), encontró que después de los 2,3 MPa de resistencia del suelo, el crecimiento radical es detenido con gran rapidez y con 2,5 MPa el crecimiento se paralizó por completo. Según Albertazzi *et al.* (2005) encontraron que al existir alta compactación se presenta el deterioro del sistema radical, inicialmente en calidad y luego en cantidad, lo cual antecede a la manifestación externa de los síntomas de flecha seca o PC.

Así mismo y con respecto a la tendencia en la resistencia a la penetración en los muestreos realizados en cada transecto dentro de la zona de plateo, fue evidente que no hubo tendencia generalizada, porque para algunos grados de severidad hay incremento a medida que se aleja del fuste del árbol (4,91 Mpa), mientras que para otros grados de severidad la resistencia a la penetración es mayor en los muestreos que se realizaron a 50 cm del fuste (4,22 Mpa). Esto indica que puede existir manejo agronómico diferenciado, con cambios que pueden ser alterados por las labores de cultivo, las texturas del suelo puedan ser diferentes. Además, los cambios en el contenido de la materia orgánica de los suelos modifican las propiedades físicas como la estructura y la Da, así como la infiltración (Montiel, 2000). Por consiguiente, todas estas características pueden influir en la aparición de la PC, y principalmente asociada al deterioro de las propiedades físicas dentro de la zona de plateo (Munévar *et al.*, 2001). De acuerdo con Acosta y Munévar (2003) los mayores índices de incidencia de PC se presentan en sitios con suelos compactados, con valores de resistencia a la penetración mayores a 1,07 MPa. Por otra parte, Acosta *et al.* (1996) indican que puede haber diferencias en el comportamiento de la PC en función de la textura del suelo. Además, Munévar (1998) expone que las características físicas del suelo que están en mayor grado asociadas con la PC, son aquellas que limitan la aireación del suelo, esto es, el mal drenaje y la compactación.

El impedimento mecánico debido a la compactación y a la presencia de capas endurecidas (adensadas), es causante de la disminución de los rendimientos y de insostenibilidad en suelos, debido a los efectos negativos que causan en el crecimiento de las raíces, por lo tanto, afecta la absorción de los elementos químicos nutricionales desde dos puntos de vista, la primera sería por el deterioro de las propiedades físicas, como son la porosidad, la infiltración, conductividad hidráulica y el intercambio gaseoso (Brady y Weil, 2008). Estas propiedades como la porosidad, están estrechamente relacionados con las propiedades hidráulicas del suelo que tienen que ver con la transmisión de fluidos que es la responsable de la entrada de agua y es el principal vehículo de transporte de los nutrientes que son aportados por los minerales primarios, por la fase intercambiable del suelo y lo que son suministrados mediante los planes de fertilización (Dorner y Horn, 2006). Al respecto, Letey (1985) señala que el desarrollo de las raíces puede ser afectado por cuatro factores fundamentales: resistencia mecánica, disponibilidad de agua, oxígeno y nutrientes. precisando que las propiedades

asociadas son la resistencia a la penetración, el potencial de agua, la aireación y la temperatura, respectivamente.

Químicamente la compactación ocasiona una disminución del intercambio gaseoso necesarios para el uso del agua y la disponibilidad de los nutrientes en solución del suelo, también ocasionando pérdidas por arrastre del agua en tiempo de invierno, al igual que se pierdan los nutrientes como el nitrógeno vía volatilización por las altas temperaturas (Singh *et al.*, 2010; Larcher, 2003) Así mismos, algunos nutrientes se movilizan dentro de la matriz del suelo por los macro y mesoporos donde se realizan respectivamente los procesos de interceptación, flujo de masa y difusión, para esto se necesita de un óptimo contenido de humedad para llegar hasta la rizosfera de las raíces (Amézquita, 1994; Orozco, 1991)

2.4 CONCLUSIONES

- Se encontró que el grado de incidencia cero (testigo) predominaron las texturas arcillosas y francas, con estructuras bloques angulares, consistencias pegajosas y plásticas. Además, predominó con 71,8% el estado de gleyzación y un porcentaje de compactación del 59,3 %.
- Para grado de incidencia I, predominaron las texturas franco arenosa y franco arcillo limosa, bloques subangulares, consistencias ligeramente pegajosas y ligeramente plásticas. Además, predominó con 68,7% el estado de gleyzación y un porcentaje de compactación del suelo del 37,5 %.
- Se encontró que el grado de incidencia II predominaron las texturas franco arcillosa y franco limoso, con estructura en bloques angulares a subangulares, consistencias pegajosas y ligeramente plásticas. Además, predominó con 59,3% el estado de gleyzación y un porcentaje de compactación del suelo del 50 %.
- Se encontró que para el grado de incidencia III, predominaron las texturas franco limosas, franco arcillosas y franco arcillo limosas, estructura en bloques angulares a sub angulares, consistencias pegajosas y plásticas. Además, predominó con 68,7% el estado de gleyzación y un porcentaje de compactación del suelo del 59,30%.
- Para los diferentes grados de severidad no se presente diferencias entre los niveles de densidad aparente, pero el valor máximo de densidades fue 1,79 y 1,78 g cm⁻³ hallándose en los grados de severidad dos y tres en el lote 1 y en el lote 2 las densidades con mayores valores se manifestaron en grado de severidad testigo y el tres con 1,78 y 1,82 g cm⁻³.
- La resistencia a la penetración en el lote uno se encontró en niveles críticos que afectan el desarrollo de raíces, encontrando que entre los 10 y 20 cm de profundidad el menor valor de resistencia lo presentó el testigo con 1,57 y 2,01 Mpa y el máximo valor en la severidad grados 1 y 3 con 3,81 y 4,14 Mpa. Para 30 cm la mínima resistencia se encontró en el grado de severidad 2 y los máximos valores en el grado 1 y 3 con 3,54 y 4,11 Mpa.
- En el lote dos la resistencia a la penetración se encontró en niveles críticos altos para el desarrollo de raíces, encontrando que, entre los 10 y 20 cm de profundidad, la menor resistencia la presentó el testigo con 3,03 y 2,96 Mpa y la máxima en la severidad grados 1 y 2 con 4,81 y 5,0 Mpa. Para la profundidad de 30 cm la mínima resistencia se encontró en el grado de severidad 3 con 2,79 Mpa y los máximos valores en el grado 1 y 2 con 4,58 y 5,0 Mpa.

2.5 LITERATURA CITADA

- Asae, (1981). Modifying the root environment to reduce crop stress. Edited by Arkin, G. F., and Taylor, H. M. Monograph number 4. American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Road, P.O. Box 410, St. Joseph, Michigan 49085. 407 p.
- Acosta, Á., Gómez, P. y Vargas, J. (1996). Factores físicos de los suelos y su influencia en la predisposición a la Pudrición de cogollo de la palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 17(2), 71-79.
- Amézquita, C. (1997). Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos (No. Doc. 24403) CO-BAC, Bogotá).
- Acosta, A. y Munévar, F. (2003). Bud rot in oil palm plantations: link to soil physical properties and nutrient status. *Better Crops International*, 17(2), 22.
- Albertazzi, H., Bulgarelli, J. y Chinchilla, C. (2005). Eventos previos y contemporáneos a la aparición de los síntomas de la pudrición del cogollo en palma aceitera. *ASD Oil Palm Papers*, 28, 21-41.
- Aguilar, N., Olvera., A. y Galindo, G. (2013). Evaluación de aptitud de tierras al cultivo de caña de azúcar en la Huasteca potosina, México, por técnicas geomáticas. *Revista de Geografía Norte Grande*, (55), 141-156.
- Arias, N., Beltrán, J., Guerrero, J. y Sánchez, A. (2014). Tecnologías para el manejo de la Pudrición del cogollo (PC) de la palma de aceite validadas en las zonas palmeras de Colombia. *Revista Palmas*, 35(2), 39-52.
- Atwell, B. (1993). Response of roots to mechanical impedance. *Environmental and Experimental Botany*, 33(1), 27-40.
- Bacha, R. (2002). Principios Básicos para a Adubação do Arroz Irrigado. En: Epagri (Eds.) *Arroz Irrigado Sistema Pré-Germinado*. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. Florianópolis Brasil. 71-99p.
- Brady, W. y Weil. (2008). The nature and properties of soils (Vol. 13, pp. 662-710). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Batey, T. (2009). Soil compaction and soil management—a review. *Soil use and management*, 25(4), 335-345.
- Benítez, É., García, C. (2014). The history of research on oil palm bud rot (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Colombia. *Agronomía Colombiana*, 32(3), 390-398.
- Bravo, C., Lozano, Z., Hernández-Hernández, R., Cánchica, H., González, I. (2008). Siembra directa como alternativa agroecológica para la transición hacia la sostenibilidad de las sabanas. *Acta Biológica*. 28 (1):7-26.
- Burbano, O. (2001). Lo biorgánico en el manejo productivo del suelo. García O., A.; Valenzuela B., IG (Eds.). *Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento*. Palmira, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 109-128.
- Cabrera, M., Fernández, N. y Abreu, E. (2001). Relación de los índices estructurales tradicionales con los criterios energéticos de evaluación del estado físico del suelo. *Revista de Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 10 (2):57-61.
- Cushman, J. (2001). Osmoregulation in plants: implications for agriculture. *American Zoologist*, 41(4), 758-769.

- Chinnusamy, V., Jagendorf, A. y Zhu, J. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop science*, 45(2), 437-448.
- Chinchilla, C., Escobar, R. (2004). The red ring and other diseases of the oil palm in Central and South America. In: Proc. of the International Conference on pests and diseases of importance to the oil palm industry. Kuala Lumpur, May. 2004. 37-52.
- Clark, L., Whalley, W. y Barraclough, P. (2003). How do roots penetrate strong soil? In *Roots: The Dynamic Interface Between Plants and the Earth* (pp. 93-104). Springer, Dordrecht.
- Cristancho, J., Alfonso, Ó. y Molina, D. (2012). Revisión de literatura sobre el papel del suelo y la nutrición de plantas en la Pudrición del cogollo de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 33(2), 9-22.
- Drenth, A. y Sendall, B. (2001). Practical guide to detection and identification of Phytophthora. CRC for Tropical Plant Protection. Australian Center for International Agricultural Research (ACIAR), Brisbane, Australia.
- Dörner, y Horn. (2006). Anisotropy of pore functions in structured Stagnic Luvisols in the Weichselian moraine region in N Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(2), 213-220.
- Duiker, S. (2007). Effects of Soil Compaction. *European Journal of Lipid Science and Technology* 109: 289–295.
- Elliott, M., Broschat, T., Uchida, J. y Simone, G. (2004). Compendium of ornamental palm diseases and disorders. American Phytopathological Society (APS Press).
- Espinoza, I., Zenteno, M., Chávez, J., Moreiral, V., Solarte, K., y Intriago, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas agrarios*, 23(2), 177-187.
- Eynard, A., Schumacher, T., Lind., M. y Malo, D. (2004). Porosity and Pore-Size Distribution in Cultivated Us tolls and Usterts. Division S-6- Soil & Water Management & Conservation. *Soil Science Society of America Journal*. 68:1927-1934.
- Forsythe, W., Sancho, F., Villatoro, M. (2005). Efecto de la compactación de los suelos sobre el rendimiento de maíz en tres localidades de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 29(3):175-185.
- Franqueville, H. (2001). La pudrición del cogollo de la palma aceitera en América Latina Revisión preliminar de los hechos y logros alcanzados (No. D-1372). BuroTrop Cirad-Cp Departamento de Cultivos Perennes.
- FAO, (2016). Propiedades físicas del suelo. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/levantamientode-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>. [15 junio 2017]
- FAO, (1977). Guía para la descripción de perfiles de suelos.
- Gómez, P. (1995). Estado actual de la investigación sobre pudrición de cogollo. *Revista Palmas*, 16(1), 9-23.
- Gómez, P. (1996). Evolución de la investigación del Complejo Pudrición de Cogollo en el Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma. *Revista Palmas*, 17(2), 53-56.

- Gutiérrez, P. (2017). Efecto del cultivo de palma de aceite sobre las propiedades físicas del suelo y su relación con la producción y la pudrición de cogollo. *Lámpsakos*, 1(17), 20-28.
- Garofalo, J. y McMillan, R. (1999). *Phytophthora* bud-rot of palms in South Florida. In proceedings-florida state horticultural society (vol. 112, pp. 110-111).
- Håkansson, I. y Reeder, R. (1994). Subsoil compaction by vehicles with high axle load—extent, persistence and crop response. *Soil and Tillage Research*, 29(2-3), 277-304.
- Hartley, C. (1988). *The Oil Palm*. 3rd. ed. Longman Scientific & Technical, England. 761.
- Hossne, A. (2004). Evaluación terramecánica del crecimiento radical en un suelo ultisol de sabana del Estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola* 4(1):42-52.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2009). Subdirección de Agrología Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Magdalena.
- Keisuke, M., Veras de Lima, H., Leone da Cruz, R., Rodrigues, S. y Pires da Silva, Á. (2017). Least limiting water range for oil palm production in Amazon region, Brazil *Scientia Agricola*. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2015-0408>
- Kimura, M. (2000). Anaerobic Microbiology in Waterlogged Rice Fields. En: Bollag, J.M. & Stotzky, G. (Eds.) *Soil Biochemistry* Vol. 10. Marcel Dekker, Inc. New York, Basel. pp. 35-138.
- Koppitz, H. (2004). Effects of flooding on the amino acid and carbohydrate patterns of *Phragmites australis*. *Limnologica*, 34(1-2), 37-47.
- Kulichikhin, K., Chirkova, T. y Fagerstedt, K. (2008). Intracellular pH in rice and wheat root tips under hypoxic and anoxic conditions. *Plant signaling & behavior*, 3(4), 240-242.
- Lal, R. (1994). *Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics*. USDA Soil Conservation Service Technical Ohio. Ohio, USA. 78 p. Monograph N°. 21.
- Leal, V. (2020). Evaluación a respuesta de palmas de aceite que presentan enfermedad de pudrición del cogollo (pc) al ser tratadas con quelato de zinc para su control, aplicando tres (3) dosis diferentes, en el Municipio de Sabana de torres Santander.
- Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology*. Springer-Verlag, Berlin. 513 p.
- Letey, J. (1985). Relationship between soil physical properties and crop production. In *Advances in soil science* (pp. 277-294). Springer, New York, NY.
- Hamza, M. y Anderson, W. (2005). *Soil Compaction in Cropping System. A review of the Nature, Causes and Possible Solutions*. *Soil and Tillage Research*. Volume 28, Issue 2:121-145.
- Martínez, G., Sarria, G., Torres, G., Aya, H., Ariza, J. y Rodríguez, J. (2008). *Phytophthora* sp. es el responsable de las lesiones iniciales de la Pudrición del cogollo (PC) de la Palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 29(3), 31-41.

- Martínez, G. (2010). Pudrición del cogollo, Marchitez sorpresiva, Anillo rojo y Marchitez letal en la palma de aceite en América. *Revista Palmas*, 31(1), 43-53.
- Martínez, G., Sarria, G., Torres, G., Varón, F., Romero, H. y Sáenz, J. (2010). Avances en la investigación de *Phytophthora palmivora*, el agente causal de la pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 31(1), 55-63.
- Martínez, G., y Torres, G. (2007). Presencia de la Pudrición de Cogollo de la palma de aceite (PC) en plantas de vivero. *Revista Palmas*, 28(4), 13-20.
- Medina, S., López, M. y Vilorio, J. (2011). Evaluación de la biofertilización en el cultivo maíz en suelo del estado Guárico. In *Memorias XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*. SVSC-INIA. Calabozo, estado Guárico.
- Mesa, D. (2018). Productividad y Asociatividad, fórmulas del sector palmero para alcanzar la competitividad. [En línea] Cenipalma disponible en internet.
- Mesa, D. (2009). Situación y Perspectivas de la Agroindustria de la Palma de Aceite (No. D-1738). Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma [Colombia].
- Montiel, N. (2000). Bases del enfoque ecosistémicos para la restauración ambiental. Instituto Nacional de Ecología, UNAM, Morelia, Michoacán México.
- Munévar, F. (1998). Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. *Palmas (Colombia)* v.19 no Especial. 218-228 p.
- Munévar, F., Acosta, Á. y Gómez, P. (2001). Factores edáficos asociados con la Pudrición de Cogollo de la palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 22(2), 9-19.
- Malagón, D. (1976). Propiedades físicas de los suelos. IGAC. Vol. XII. No 7. 622p. Bogotá, Colombia.
- Martínez, J., Fernández, T. y Aguirre, S. (2020). Potential Infiltration Determination in Areas of Influence of the Zona Bananera Aquifer in Northern Colombia. *Facultad de Ingeniería*, 29(54), 27.
- Navarro, L. (2017). Cenipalma alerta por Pudrición del cogollo en Magdalena y recomienda eficiente manejo del recurso hídrico. *Boletín El Palmicultor*, (545 Julio), 14-15.
- Nacci, S. y Pla, I. (1992). Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Tropical*, 42(1-2), 115-132.
- Olivin, J. (1965). Une methode de observation du systeme radicaire du palmier á huile. *Oleagineux (Francia)*. 20 (12): 731 - 733.
- Orozco. (1991). Caracterización física y dinámica del agua bajo tres sistema de labranza en un Andisol de la antigua serie Tibaitatá. Tesis M.Sc. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá.
- Pla, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. *Propiedades Mecánicas. Suelos Ecuatoriales*, 40 (2):75-93.
- Ponce, D. y Ortega, F. (2003). Las reservas de carbono orgánico de los suelos minerales de Cuba. Aporte metodológico al cálculo y generalización espacial.

- Primavesi, A. y Molina, J. (1984). Manejo ecológico del suelo: la agricultura en regiones tropicales (No. 631.450981 P7). Librería "El Ateneo" Editorial.
- Rojas, M. (2013). Efectos de la disminución de la aireación del suelo en los rendimientos del cultivo de banano (*musa acuminata*) mediante Sistemas de Información Geográfica (Bachelor's thesis, Quito, 2013).
- Sands, R. y Mulligan, D. (1990). Water and nutrient dynamics and tree growth. *For. Ecol. Manage.* 30, 91-111.
- Séguy, L., Bouzinac, S., Maronezzi, A., Taffarel, V. y Taffarel, J. (1999). Plantio direto do arroz de sequeiro de alta tecnologia na zona tropical úmida do centro-norte do Mato Grosso. *Informações Agronômicas, Piracicaba*, (86), 1-28.
- Singh, A., Krause, P., Panda, S. y Flugel, W. (2010). Rising water table: A threat to sustainable agriculture in an irrigated semi-arid region of Haryana, India. *Water Resources Research*, 46(10), 1443-1451.
- Salamanca, A., Sadeghian, S. y Amezcua, E. (2005). Densidad aparente en dos suelos de la zona cafetera y efecto sobre el crecimiento del cafeto.
- Sispa, (2019). Información Estadística del Sector Palmero.
- Soil Survey Staff 1992. Keys to Soil Taxonomy. SMSS technical monograph P19, Blacksburg, Virginia.
- Taboada, M. y Micucci, S. (2009). Respuesta de las propiedades físicas de tres suelos de la Pampa Deprimida al pastoreo rotativo. *Ciencia del suelo*, 27(2).
- Torres, D., Rodríguez, N., Yendis, H., Florentino, A. y Zamora, F. (2006). Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, Estado Falcon, Venezuela. *Bioagro*, 18(2), 123-128.
- Tailliez, B. (1971). The root system of the oil palm on the San Alberto Plantation in Colombia. *Oleagineux (Francia)* v. 26 no.7. p.435-447.
- Tormena, C., da Silva, A. y Libardi, P. (1999). Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. *Soil and Tillage Research*, 52(3-4), 223-232.
- Veihmeyer, F. y Hendrickson, A. (1948). Soil density and root penetration. *Soil science*, 65(6), 487-494.
- Zhang, X., Cruse, R., Sui, Y. y Jhao, Z. (2006). Soil compaction induced by small tractor traffic in Northeast China. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 613-619.
- Zou, C., Penfold, C., Sands, R., Misra, R. y Hudson, I. (2001). Effects of soil air-filled porosity, soil matric potential and soil strength on primary root growth of radiata pine seedlings. *Plant and Soil*, 236(1), 105-115.

CAPITULO III

CONDICIONES QUÍMICAS DEL SUELO, SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO FOLIAR EN PALMA AFRICANA EN DIFERENTES FINCAS EN EL MUNICIPIO DE ZONA BANANERA DEL MAGDALENA

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar las condiciones químicas del suelo y su relación con el contenido foliar en palma africana en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena. La investigación se realizó en seis fincas ubicada en el Municipio de Zona Bananera, localizadas en la parte norte del Departamento del Magdalena. Para evaluar las características químicas de los suelos en cada finca, fueron colectadas 38 muestras de suelos de 0 a 20 cm de profundidad. Una vez colectado un kg de suelo fue enviado al laboratorio de Cenipalma para su evaluación química según normas (IGAC 2006). Además, para determinar el contenido nutricional del área foliar, fueron recolectadas las muestras foliares en la hoja número 17 en 38 palmas adultas mayores de cuatro años después de la siembra. El estudio se realizó bajo un diseño experimental de muestreo aleatorio simple en seis fincas con 38 repeticiones por finca (6×38). El análisis estadístico de los datos fue realizado mediante un diseño de varianza (ANOVA), la comparación de medias de Tukey con significancia de 0,05. Así mismos, fue realizado una correlación entre las variables químicas y foliares mediante el programa estadístico SAS versión 9.1. Los resultados encontrados indican que el pH fluctuó entre 5,2 y 6 considerándose como suelos ácidos. El contenido de materia orgánica en el suelo de los predios se encontró en porcentajes que van desde 2,1 hasta 1,0% catalogado como bajo a medios. Se determinó que el contenido de azufre estuvo en el rango de 78,3 a 10,5 mg kg⁻¹ y de fósforo en el suelo, en un rango de 40,5 y 21,8 mg kg⁻¹ ubicándose por encima de los parámetros críticos expuestos por Munévar y lares. El contenido de bases intercambiables en los suelos de estudiados se caracteriza por tener un alto contenido de calcio presentando unos valores que oscilan entre 10,4 a 5,0 cmolc kg⁻¹, para el contenido de Mg rango de 4,7 y 1,5 cmolc kg⁻¹. El contenido de potasio en los suelos estudiados presentaron valores entre 1,1 y 0,6 cmolc kg⁻¹. Los niveles de concentración de hierro en los suelos de los predios estudiados, mostraron valores que van de 382,5 a 199,1 mg kg⁻¹. Para el caso del Mn su contenido se encontró entre los valores de 57,4 y 14,5 mg kg⁻¹, para el Cu el rango de 5,1 a 2,4 mg kg⁻¹. Para el Zn sus valores estuvieron en los rangos entre 3,9 y 3,3 mg kg⁻¹ y para el boro se determinó que el contenido estuvo en el rango de 11 y 0,8 mg kg⁻¹. En relación a los contenidos foliares las principales correlaciones se encontraron entre el P foliar con el S y K del suelo. El K foliar igualmente se correlacionó negativamente con el pH, MO, P, Ca y Mg. En relación al calcio foliar, este fue correlacionado positivamente con pH, P, Ca y Mg. Existe una correlación positiva entre el contenido manganeso, zinc y boro foliara y el contenido con el hierro y el cobre del suelo y el contenido de cobre foliar con el contenido de cobre en el suelo.

Palabras Claves: cultivos agro industrializables, palma africana, aceite, suelos, características químicas, absorción de nutrientes contenido foliar.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the chemical conditions of the soil and its relationship with the leaf content in African palm in different farms in the municipality of Zona Bananera del Magdalena. The investigation was carried out in six farms located in the Municipality of Zona Bananera, located in the northern part of the Department of Magdalena. To evaluate the chemical characteristics of the soils in each farm, 38 soil samples from 0 to 20 cm deep were collected. Once one kg of soil had been collected, it was sent to the Cenipalma laboratory for its chemical evaluation according to standards (IGAC 2006). In addition, to determine the nutritional content of the leaf area, leaf samples were collected on leaf number 17 in 38 adult palms older than four years after sowing. The study was carried out under a simple random sampling experimental design in six farms with 38 replications per farm (6 * 38). The statistical analysis of the data was carried out using a variance design (ANOVA). Tukey's mean comparison with significance of 0.05. Likewise, a correlation between the chemical and foliar variables was carried out using the statistical program SAS version 9.1. The results found indicate that the pH fluctuated between 5.2 and 6, considering acid soils. The organic matter content in the soil of the properties was found in percentages ranging from 2.1 to 1.0%, classified as low to medium. It was determined that the sulfur content was in the range of 78.3 to 10.5 mg kg⁻¹ and of phosphorus in the soil, in a range of 40.5 and 21.8 mg kg⁻¹, being located above the critical parameters exposed by Munévar and lares. The content of interchangeable bases in the studied soils is characterized by having a high calcium content, presenting values that range between 10.4 to 5.0 cmolc kg⁻¹, for the Mg content range of 4.7 and 1, 5 cmolc kg⁻¹. The potassium content in the studied soils presented values between 1.1 and 0.6 cmolc kg⁻¹. The iron concentration levels in the soils of the studied properties showed values ranging from 382.5 to 199.1 mg kg⁻¹. In the case of Mn, its content was found between the values of 57.4 and 14.5 mg kg⁻¹, for Cu the range of 5.1 to 2.4 mg kg⁻¹. For Zn, its values were in the ranges between 3.9 and 3.3 mg kg⁻¹ and for boron it was determined that the content was in the range of 11 and 0.8 mg kg⁻¹. In relation to the foliar contents the main correlations were found between the foliar P with the S and K of the soil. Leaf K was also negatively correlated with pH, MO, P, Ca and Mg. In relation to foliar calcium, this was positively correlated with pH, P, Ca and Mg. There is a positive correlation between the foliar manganese, zinc and boron content and the iron and copper content of the soil and the foliar copper content with the copper content in the soil.

Keywords: industrializable crops, African palm, oil, soils, chemical characteristics, nutrient absorption foliar content.

3.1 INTRODUCCIÓN

En el crecimiento y desarrollo de las plantas, los nutrientes son fundamentales y estos provienen de los materiales parentales que dan origen a los suelos y del aporte de minerales primarios (Fageria *et al.*, 2002; Loué, 1988). Por su parte Martín y Durán (2009) señalan que los elementos esenciales para las plantas son 17 que provienen del suelo, agua y la atmosfera las cuales, según la cantidad asimilada por la planta, se catalogan en macronutrientes y micronutriente. En tal sentido, Naranjo (2018) asegura que una fertilización balanceada le permite a la planta mayor resistencia fisiológica ante patógenos.

Las investigaciones realizadas con respecto a factores predisponentes, han encontrado relación entre propiedades químicas del suelo y la tasa de desarrollo de la pudrición de cogollo (PC) (Silva y Martínez, 2009; Cristancho *et al.* 2012). Esto hace que el balance nutricional puede ser definitivo en la rapidez de los procesos de infección y la recuperación de las palmas afectadas (Cristancho *et al.*, 2007). Además, existe la certeza sobre la relación directa entre la nutrición de la palma y la incidencia de la enfermedad pudrición de cogollo Turner (2003). Lo cual indica que la incidencia y la severidad de la enfermedad está, vinculada profundamente con los desbalances nutricionales en bases (K, Ca, Mg) y B, así como la relación entre todos los macro y micronutrientes (Munévar, 2001).

Según Cardona Y Bolaños (2019) las deficiencias nutricionales que pueden retrasar el inicio de la producción y una disminución en los rendimientos del cultivo, si éste no es capaz de sustraer del suelo todos los nutrimentos que demanda la actividad normal de la planta. Por lo tanto, plantas que adquieren una nutrición mineral equilibrada serán más tolerantes a las enfermedades; es decir, tienen mayor facilidad para defenderse de nuevas infecciones y limitar las ya existentes, haciendo que el manejo nutricional a través de la fertilización sea un control cultural importante en las enfermedades de las plantas y un componente integral de la producción agrícola (Huber, 1989; Fageria *et al.*, 1997).

Cabe resaltar que el cultivo de palma africana se caracteriza por su alto consumo de nutrimentos para satisfacer su desarrollo vegetativo y su alto potencial de producción de fruta y aceite (Bernal, 2002). Esto hace que la fertilidad del suelo puede constituir una de las restricciones más importante para la producción en el cultivo de la palma africana (Mutert, 1999), por lo tanto, la baja fertilidad que existen en los suelos donde se establecieron los cultivos de palma puede ser la causa de la enfermedad PC. Escalante *et al.* (2006) manifiesta que los fertilizantes forman parte fundamental en el manejo agronómico del cultivo, ya que es una forma de suministrar a la planta los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo, en situaciones en la cuales el suelo no pueda proporcionarlo en su totalidad

Muchos de los elementos minerales requeridos por la planta pueden incrementar o disminuir la severidad de algunas enfermedades, los efectos más reportados por sus

limitaciones en las plantas son el N, P y K, debido a la escasa disponibilidad en muchos suelos, y a la gran cantidad requerida por las plantas (Huber, 1980; 1981). Además, existe la certeza sobre la relación directa entre la nutrición de la palma y su incidencia (Turner, 2003). Lo cual indica que la enfermedad está, vinculada con los desequilibrios nutricionales en bases (K, Ca, Mg) y B, así como la relación entre los macronutrientes y micronutrientes (Munévar, 2001). Según Huber (1980) y Datnoff *et al.* (2007) la severidad de las enfermedades en la mayoría de los cultivos puede ser reducida con un manejo apropiado de la nutrición, mejorando la disponibilidad de los nutrimentos, la eficiencia de absorción y la utilización por la planta. De acuerdo Kumar *et al.* (2017) para que las plantas mantengan homeostasis de nutrientes, absorción de nutrientes y respuesta a cambios en el suelo y dentro de la planta deben ser regulados.

En la zona bananera del Magdalena se presentan plantaciones de palma africana ubicadas con diferentes condiciones físico - química en los suelos, estas condiciones son de baja fertilidad y zonas marginales con condiciones diferentes de suelos en donde se establece otros cultivos de palma africana (Owen, 1992). Es así, que es necesario evaluar las propiedades químicas de los suelos y su relación con el contenido nutricional foliar en palma africana en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 Localización del proyecto. Se realizó en seis fincas ubicada en el Municipio de Zona Bananera, localizadas en la parte norte del Departamento del Magdalena y delimitando al Norte con el municipio de Ciénaga al Sur, con el municipio de Aracataca por el oriente, las estribaciones de la sierra nevada y al Occidente con la ciénaga grande de Santa Marta. Esta zona se encuentra en las coordenadas geográficas: 10°46'00" de latitud Norte y 74°8'00" de longitud Oeste catalogada como Bosque seco Tropical (Bs.-T) y Bosque muy seco Tropical (Bms-T), según las zonas de vida de Holdridge, con una altura media de 20 m.s.n.m, temperatura media anual de 27 °C, humedad relativa promedio de 82%; evaporación de 1.500 mm año y precipitación media de 1.371,7 mm año (Bornacelly y Bolaño, 2003).

3.2.2 Localización de los puntos de muestras. Para la evaluación de las características químicas de los suelos en las fincas Padelma, inversora, comercializadora, palmari, Invarten y rosaleta fueron recolectadas 38 muestras de suelos de 0 a 20 cm de profundidad. Cada muestra de suelos a su vez estuvo constituida de cinco submuestras, que fueron mezcladas para obtener un kg de suelo, siendo estas muestras de suelos colectada en el borde del plato de las plantas a las cuales se le colecto la parte foliar. Una vez colectado un kg de suelo, este fue rotulado con la información necesaria para poder ser enviada al laboratorio de Cenipalma.

3.2.3 Determinación del contenido nutrición del suelo. En el laboratorio las muestras de suelos fueron caracterizadas químicamente según las normas propuestas por el Icontec, evaluando los siguientes parámetros químicos: pH (método potenciométrico), acidez intercambiable (método de Yuang), fósforo extraíble (método de Bray II), porcentaje de carbono orgánico (método de Walkey- Black), azufre extraíble (método del fosfato monocálcico monobásico), micronutrientes (Fe^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} y Zn^{2+} por el método del doble ácido y cuantificándolos por Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA), y bases intercambiables (Mg^{2+} , Ca^{2+} EAA y K^+ , Na^+ por EEA los cuales fueron extraídos por el método del acetato de amonio $1,0 \text{ molL}^{-1}$ a pH 7,0) (IGAC, 2006).

3.2.4 Determinación del contenido foliar. Para determinar el contenido nutricional del área foliar, fueron recolectadas 228 muestras foliares en la hoja número 17 en palmas adultas mayores de cuatro años después de la siembra. Estas muestras foliares fueron colectadas siguiendo la Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite (Martínez, 1998). Para el muestreo foliar, inicialmente fueron seleccionadas las palmas a muestrear y posteriormente a cada hoja seleccionada por unidad experimental, se procedió a colectar los cuatro folíolos que estén enfrentados y completamente sanos, que se encuentren ubicados en el tercio medio de la hoja. Estos folíolos fueron empacados en bolsas de papel que estaban previamente identificadas con su respectiva etiqueta o cinta de enmascarar hasta el final del proceso de preparación, secado y remisión al laboratorio, según la metodología utilizada en Cenipalma (Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite) (Martínez, 1998).

En el laboratorio para la determinación del contenido nutricional de la hoja, estas fueron secadas y molidas, y posteriormente fueron pesados aproximadamente 0,5 g para colocarlas a digestión por vía húmeda con (HNO₃: HClO₄ en relación 3:1 v/v) y 0,5 gramos para determinar el nitrógeno que fue extraído con ácido sulfúrico puro, según metodología propuesta por el IGAC (2006).

3.2.5 Diseño Experimental. EL estudio se realizó bajo un diseño experimental de muestreo aleatorio simple en seis fincas con 38 repeticiones por finca (6*38). El análisis estadístico de los datos fue realizado mediante un análisis de varianza (ANOVA), análisis de comparación de medias de Tukey con significancia de 0,05. Así mismos, fue realizado un análisis de correlación entre las variables químicas del suelo y foliares mediante el programa estadístico SAS versión 9.1.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Análisis de varianza para el pH y los contenidos de nutrientes en el suelo.

Se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,01$) para las variables pH, MO, S, P, Ca, K y Na, y no se encontró diferencias estadísticas para el Mg entre las seis fincas evaluadas (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de las variables físico-químicas de diferentes fincas establecidas con palma africana en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

Fuente	GL	pH	MO	S	P	Ca	Mg	K	Na
Finca	5	3,8855**	6,819**	25643,0526**	2239,922**	96,2727**	56,0902ns	0,7843**	0,6489**
Error	222	0,3093	0,2313	2.089,7395	308,6601	3,7642	101,6001	0,0246	0,0389
F		12,56**	29,48**	12,27**	7,25**	25,57	0,55	31,88**	16,68

GL: grados de libertad, F: Razón F

3.3.1.1 Reacción del suelo. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$) se encontró que la reacción del suelo (pH) presentó diferencias significativas entre las fincas (Figura 3.1a). El valor del pH del suelo fue mayor en las fincas comercializadora, Palmarí y Padelma, con una reacción ligeramente acida con un pH de 6. Por otra parte, los menores valores en reacción química se presentaron en las fincas Rosaleda e Invarten con 5,3 y 5,2; que son clasificados como moderadamente ácido (pH 5-6) encontrándose dentro rango adecuado para el desarrollo del cultivo de palma aceitera que va de 5 a 6,5; tal y como lo manifiesta Chávez (2003). Sin embargo, Ge *et al.* (2018) observaron que la aplicación continua de fertilizantes influyó en el pH del suelo, en la concentración de NPK disponible y el estado del contenido de carbono orgánico del suelo (COS) de una plantación de manzanos en la llanura del norte de China.

Además, se observa que la reacción del suelo en todas las fincas evaluadas se encuentra por arriba del nivel crítico propuesto por Munevar (2001) y Larez (2003). Por lo tanto, la pequeña cantidad de Al intercambiable, no es la principal causa de distorsión en la mitosis celular de los cultivos y por tanto fitotoxicidad. De acuerdo con Lal (2015), la evaluación de las propiedades químicas del suelo es un aspecto importante del manejo sustentable, para poder mantener un estado de fertilidad en los suelos y así evitar los procesos de degradación.

3.3.1.2 Materia orgánica. En la materia orgánica (MO) se evidenciaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) entre las fincas (Figura 3.1b), con contenido comprendidos entre medios a bajos, para zonas cálidas siendo Padelma la finca con los mayores valores (2,1%) con respecto a Invarten, Palmari, Inversora y comercializadora. Así mismo, estos resultados demuestran que, en todas las fincas evaluadas el contenido de materia

orgánica se encuentra por debajo del nivel crítico propuesto por Munévar (2001) y Larez (2003). El bajo contenido de materia orgánica en el suelo puede estar asociada al control de arvenses lo que evita el reciclaje de abono verde al suelo (Salazar *et al.*, 2018)

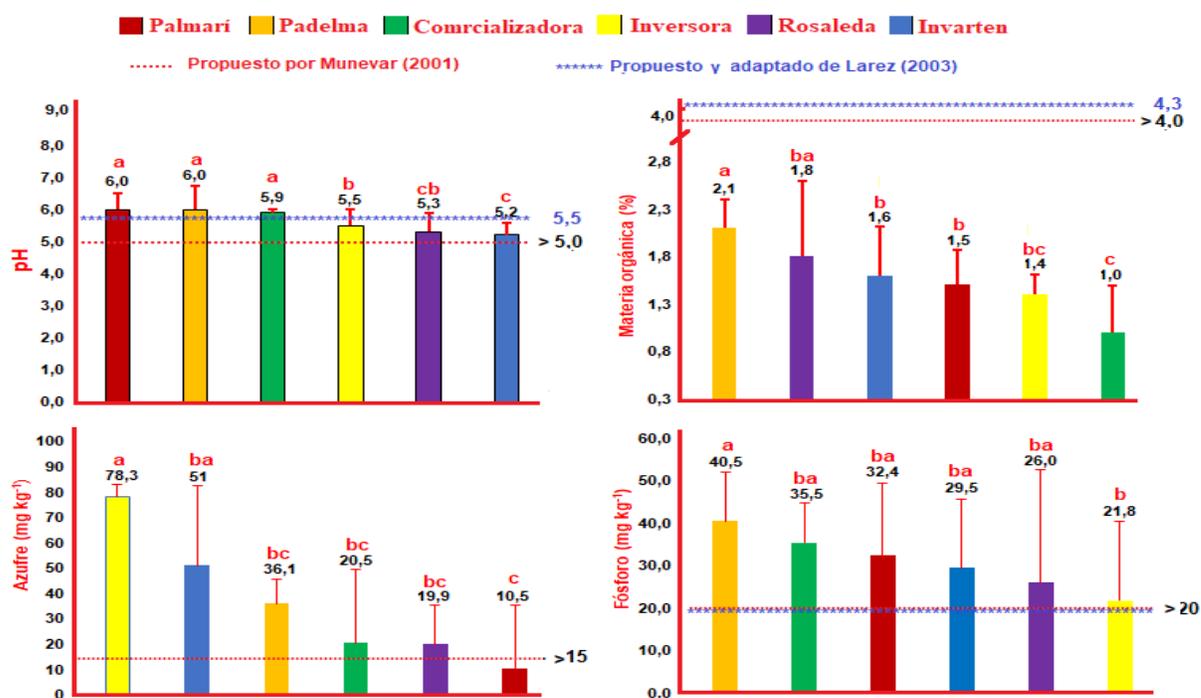


Figura 3.1.5 Reacción del suelo y contenidos de materia orgánica, azufre y fósforo en seis fincas establecidas con el cultivo de palma africana en el año 2019 en el municipio de Zona Bananera del Magdalena palmar, Padelma, comercializadora, inversora, rosaleda e Invarten.

en la zona de plateo y al uso anterior de los suelos, los cuales fueron establecidos con el cultivo de arroz por más de 20 años. Al respecto Navia, Arteaga y Castillo (2016), manifiesta que los monocultivos intensivos provocan un descenso progresivo en los porcentajes de materia orgánica debido a que existe una reducción en la incorporación de desechos de origen orgánico al suelo. Según Dignanm *et al.* (2018) menciona que el efecto de los diferentes usos y manejo del suelo provocan cambios significativos en las propiedades del suelo. De acuerdo con Arévalo *et al.* (2015) los cultivos de plantación influyen en las propiedades del suelo, la materia orgánica contribuye con la disponibilidad de nutrientes y promueven el ciclo de los nutrimentos en el sistema suelo-planta. Según Leyva Baldoquín y Reyes (2018) señala que la materia orgánica permite la restauración y conservación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, beneficiando la productividad en el tiempo.

3.3.1.3 Azufre. El contenido de azufre presentó diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) entre los sitios estudiados (Figura 3.1c). Los mayores contenidos de azufre se encontraron en la finca Inversora con $78,3 \text{ mg kg}^{-1}$ y comparado con las fincas Rosaleda, Comercializadora, Padelma y Palmarí (figura 3.1c) y con el menor valores la finca Palmarí con $10,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Además, se puede observar que el contenido de azufre disponible en todas las fincas evaluadas se encuentra por arriba del nivel crítico propuesto por Munevar (2001) y Larez (2003), a excepción de la finca Palmarí. Resultados que pueden estar asociados a los materiales parentales que originaron estos suelos y al manejo agronómico en su plan de nutrición por aplicaciones excesivas de azufre como fertilizantes. Según Takahashi *et al.* (2011) El azufre es un nutriente esencial para el crecimiento vegetal debido a su presencia en proteínas, glutatión, citoqueratinas, ferredoxinas, lípidos de la membrana del cloroplasto y ciertos coenzimas y vitaminas S también tiene un importante papel ecológico en la defensa contra patógenos (Falk *et al.*, 2008).

3.3.1.4 Fósforo. En relación al contenido de fósforo, se evidenció que solamente hubo diferencias estadísticas entre las fincas Padelma e Inversora ($p \leq 0,05$), presentando los mayores valores la finca Padelma con $40,5 \text{ mg kg}^{-1}$ y los menores contenidos en Inversora con $21,8 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 3.1c). Estos contenidos de fósforo en todas las fincas evaluadas se encuentran por arriba del nivel crítico propuesto por Munévar (2001) y Larez (2003). Los contenidos altos y medios, asociados a los materiales parentales como las apatitas, hidroxapatitas (Aguirre *et al.*, 2012), al manejo agronómico con aplicación de altas cantidades de fósforo aplicados como fertilizantes. De acuerdo con la FAO. (2013) para agilizar el crecimiento vegetal, los agricultores han utilizado de forma excesiva fertilizantes químicos que dañan el suelo acumulándose como sales como es el caso del ion fosforo. Sharma *et al.* (2017) han encontrado que, debidos a las altas aplicaciones de P como fertilizantes, se presentan altos niveles de P en suelos cultivados con palma aceitera en India.

3.3.1.5 Calcio. Para los contenidos de bases intercambiables y de acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$) se encontró que el contenido de calcio presentó diferencias significativas entre las fincas (Figura 3.2a). El mayor contenido de calcio se detectó en la finca Invarten con $10,4 \text{ cmolc kg}^{-1}$. En general estos valores son clasificados como medios a altos, lo que indica que existe una buena reserva nutricional de este elemento para el cultivo de palma africana. Esto corroborado al compararlos con el nivel crítico de $0,6 \text{ cmolc kg}^{-1}$ propuestos por Munévar (2001) y 1 cmolc kg^{-1} propuesto por Larez (2003).

3.3.1.6 Magnesio. En el contenido de magnesio (Mg) se evidenció que no existen diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) entre las fincas (Figura 3.2b), pero los contenidos

están comprendidos entre medios a altos, siendo Palmarí la finca con los mayores valores ($4,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) y comercializadora con el menor valor ($1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Además, se observa que el contenido de magnesio en todas las fincas evaluadas se encuentra por arriba del nivel crítico de $0,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ propuesto por Munévar (2001) y Larez (2003). Así mismo, estos contenidos pueden estar asociado a los materiales parentales y las texturas del suelo (Tschanz, Jimeno y Cruz, 1970). Además de la aplicación por medio de fertilizantes de síntesis, resultados similares han sido encontrado por Sanijib *et al.* (2020) quienes reportan altas concentración de Ca, Mg intercambiable y S disponible en plantaciones de palma aceitera, debido a la adición continua de estos nutrientes a través de fertilizantes.

3.3.1.7 Potasio. El contenido de potasio (K) presentó diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) entre los sitios estudiados (Figura 3.2c). El mayor contenido de potasio en los suelos se detectó en el predio Rosaleda con $1,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Además, se observa que el contenido de potasio en los suelos de los predios evaluadas se encuentra por encima de los niveles crítico de $0,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ propuesto por Munévar (2001) y $0,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ por Larez (2003). Resultados que son asociados a los materiales parentales que originaron estos suelos (Aguirre *et al.*, 2012) y al manejo agronómico, ya que es el elemento químico que más es aplicado como fertilizante. Goh y Hårdter (2003) ha demostrado que el K, es uno de los nutrientes que absorbe la palma de aceite de forma abundante y esto hace que el fraccionamiento del fertilizante tenga una influencia muy marcada en la eficiencia de su fertilización. Fairhurst (2003) encontraron que en los suelos utilizados en palma aceitera requieren mayor contenido de K y Mg por los desbalances encontrados en los contenidos de Ca.

3.3.1.8 Sodio. En relación al contenido de sodio, se encontró que solamente hubo diferencias estadísticas entre los contenidos de los suelos en las fincas evaluadas ($p \leq 0,05$). el mayor contenido de sodio lo presento el predio Invarten con un valor de con $0,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. (Figura 3.2c). Estos contenidos son interpretados como normales para los suelos y están asociados a los materiales parentales y al manejo agronómico.

Al analizar conjuntamente los contenidos nutricionales que presentan estos suelos en las diferentes fincas se puede indicar que el cultivo de palma africana no debería presentar manifestaciones de deficiencia nutricional, y poder tener la capacidad de crecer y de expresar todo su potencial productivo bajo las condiciones mencionadas, destacado esto por los niveles críticos propuestos por Munévar (2001) y Larez (2003), los cuales en una gran mayoría están por debajo de los contenidos hallados en este estudio. De acuerdo con Aga, Chane y Melesse (2018) los datos de análisis químicos de las propiedades del suelo en los estudios a largo plazo, son muy importantes para evaluar la sostenibilidad del uso del suelo en particular, debido a que estos datos no existen para muchos cultivos, incluidos cultivos de plantaciones como la palma de aceite cultivada en diferentes regiones del mundo.

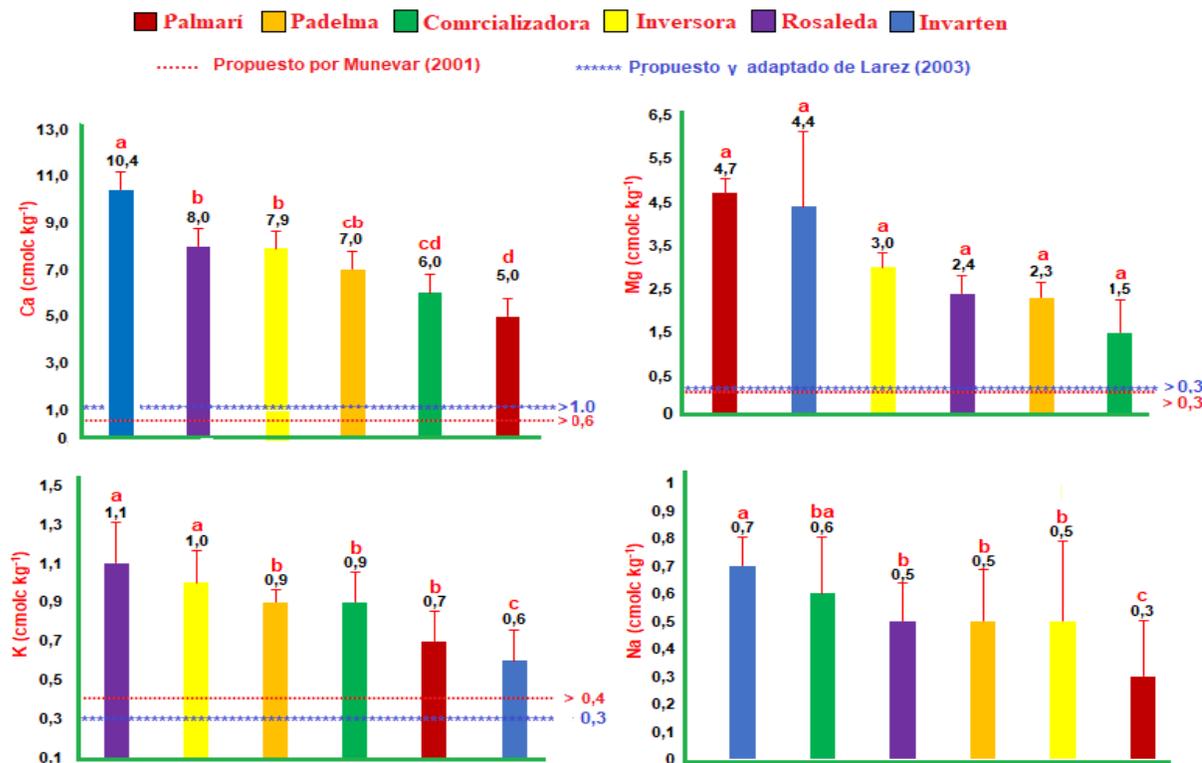


Figura 3.2. Contenido de bases intercambiables en los suelos de seis fincas establecidas con el cultivo de palma africana en el año 2019 en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

Por otra parte, no debería presentarse problemas de ataques de insectos, debido a los altos contenidos de Ca, Mg y K, ya que Muñoz (2002), señala que bajo condiciones de deficiencias de calcio se puede generar susceptibilidad en la palma, al ataque de insectos, patógenos y bajas productividades debido al inadecuado balance con el potasio y el magnesio, y Chinchilla (2004), sugiere que el potasio y sus relaciones con el magnesio y el calcio están vinculada íntimamente con la incidencia de la pudrición del cogollo (PC) y que el balance adecuado de potasio es esencial para mantener el transporte de asimilados de la fotosíntesis y para mantener el mecanismos de defensa de las plantas contra el ataque de patógenos y el estrés en general.

3.3.2 Análisis de varianza para el contenido de micronutrientes en el suelo. Los análisis de varianza mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,01$) para las variables hierro (Fe), Manganeseo (Mn), cobre (Cu) y boro (B), y no se encontró diferencias estadísticas para el zinc (Zn) entre las seis fincas evaluadas (Tabla 3.2). De acuerdo con Sanjib *et al.* (2020) la evaluación de los parámetros del suelo es necesaria para conocer el efecto de diferentes prácticas de gestión del suelo y su posterior mejora.

Tabla 3.2. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de los elementos menores de los suelos de diferentes fincas establecidas con palma africana en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

Fuente	GL	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Lote	5	240944,402**	10580,4263**	28,3946**	544,0646ns	482,8614**
Error	223	7.845,669	353,4473	1,6479	911,4983	4,1048
F		30,71**	29,93**	17,23**	0,59	117,7**

GL: grados de libertad, F: Razón F

3.3.2.1 Hierro. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$) se encontró que el contenido de Fe presentó diferencias significativas entre las fincas (Figura 3.3a). Este valor de Fe fue mayor en la finca Inversora con $382,5 \text{ mg kg}^{-1}$ y el menor valor se encontró en la finca Padelma con $199,1 \text{ mg kg}^{-1}$. Así mismo, se destaca que el contenido de hierro en todas las fincas evaluadas se encuentra por arriba del nivel crítico de 30 mg kg^{-1} propuesto por Munévar (2001). Por otra parte, estos valores son clasificados como altos, pero al mismo tiempo pueden causar problemas de fitotoxicidad por sus elevados contenidos. Resultados que están asociados a los altos contenidos de humedad que permanecen estos suelos y a los minerales primarios como el piroxeno que originaron estos suelos (Tschanz, Jimeno y Cruz, 1970). En estas condiciones es necesario implementar prácticas de manejo para reducir los altos contenidos de Fe, y de acuerdo con Chinchilla (2003) debe considerarse que, desde una perspectiva práctica, la mayoría de los problemas de desequilibrios entre manganeso y hierro pueden resolverse simplemente aireando el suelo. Por otra parte, y de acuerdo Huber (1991) la deficiencia o exceso de Fe y Mn afectan la habilidad de la planta para producir los compuestos usados en la lucha contra el ataque de patógenos.

3.3.2.2 Manganeso. Para el contenido de Mn se encontró que existen diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) entre las fincas estudiadas (Figura 3.3). Estos contenidos químicos están comprendidos entre altos a deficiente, siendo Padelma la finca con los mayores valores ($57,4 \text{ mg kg}^{-1}$) y comercializadora con el menor valor ($14,5 \text{ mg kg}^{-1}$). Además, se destaca que el contenido de manganeso en todas las fincas evaluadas se encuentra por arriba del nivel crítico de 10 mg kg^{-1} propuesto por Munévar (2001). Estos valores están asociados a los materiales parentales y las texturas del suelo (Tschanz, Jimeno y Cruz, 1970).

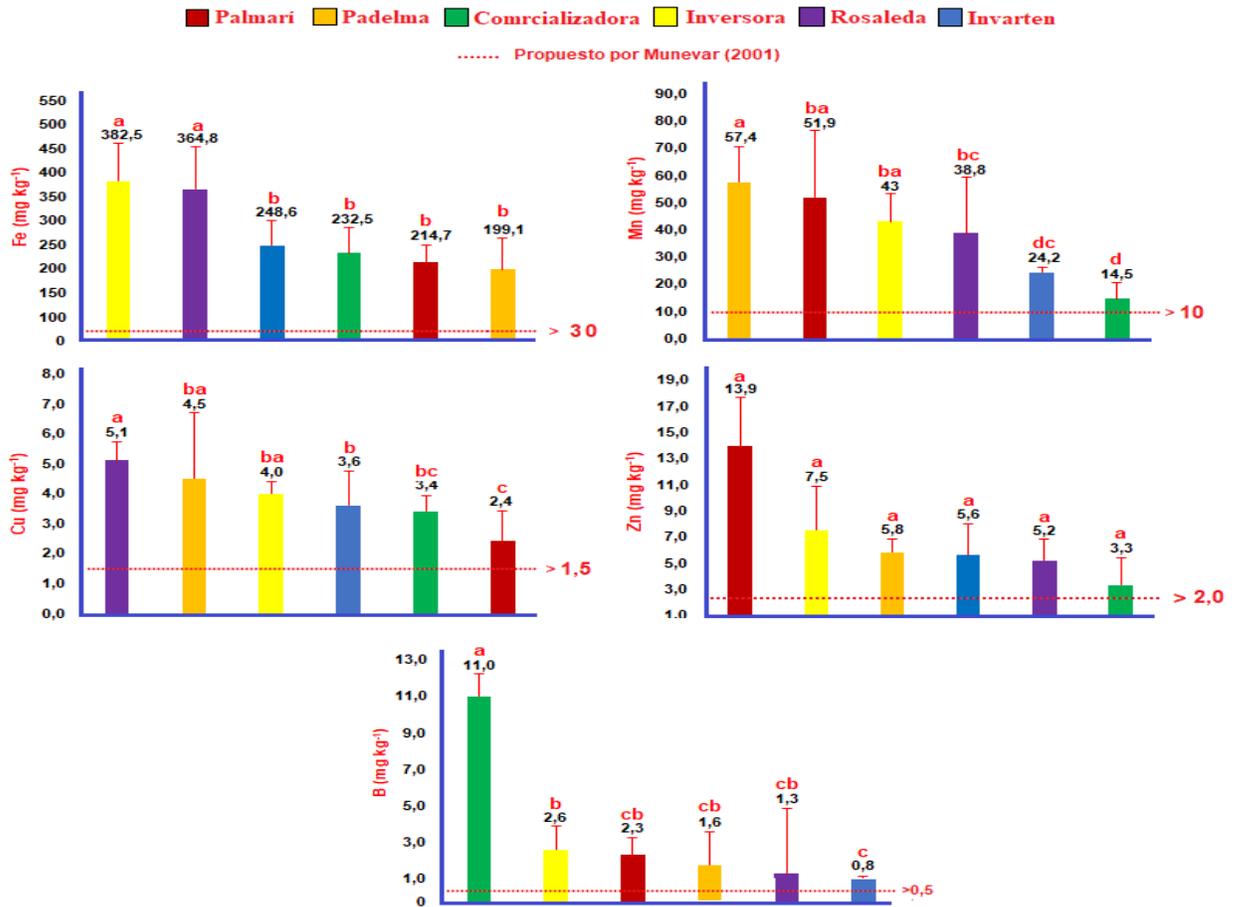


Figura 3.3. Contenido de elementos menores en los suelos de seis fincas establecidas con el cultivo de palma africana en el año 2019 en el municipio de Zona Bananera del Magdalena

3.3.2.3 Cobre. El contenido de cobre presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre los sitios estudiados (Figura 3.3c). Los mayores contenidos de cobre se encontraron en los rangos de medios a altos y en la finca Rosaleda con $5,1 \text{ mg kg}^{-1}$ presentó los mayores valores y contenidos medios en la finca Palmarí con $2,4 \text{ mg kg}^{-1}$. Además, se destaca que el contenido de cobre en todas las fincas evaluadas se encuentra por arriba del nivel crítico de $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ propuesto por Munévar (2001). Resultados que son asociados a los materiales parentales que originaron estos suelos (Tschanz, Jimeno y Cruz, 1970) y al manejo agronómico, ya que es el elemento químico que más se aplica como fertilizante. Así mismo, el Cu es necesario para la formación de clorofila y cataliza varias otras reacciones en las plantas a pesar de no ser parte del producto que se forma con esas reacciones (Cardona y Bolaños 2019).

3.3.2.4 Zinc. En relación al contenido de zinc, se evidenció que no hubo diferencias estadísticas significativas entre los valores encontrados en los suelos de las fincas

evaluadas ($p \leq 0,05$). La finca con los mayores valores fue Palmarí con $13,9 \text{ mg kg}^{-1}$ y los menores contenidos en la finca Comercializadora con $3,3 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 3.3d). Sin embargo, se destaca que el contenido de cobre en las fincas evaluadas se encuentra por arriba del nivel crítico de 2 mg kg^{-1} propuesto por Munevar (2001). Estos contenidos son interpretados como normales para los suelos y están asociados a los materiales parentales (Tschanz, Jimeno y Cruz, 1970) y al manejo agronómico con la aplicación de fertilizantes que contengan este elemento. Así mismo, según Fisher *et al.* (2008) este elemento es indispensable en la formación de clorofila, es componente de varias enzimas entre ellas las que promueven el crecimiento interviene en la utilización del agua y otros nutrimentos, regula el crecimiento de meristemas a nivel de la raíz y parte aérea.

3.3.2.5 Boro. El contenido de boro se encontró que existen diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) entre las fincas estudiadas (Figura 3.3e). Estos contenidos químicos se encuentran en niveles de medio para altos, siendo Comercializadora la finca con los mayores valores (11 mg kg^{-1}) y Invarten con el menor valor ($0,8 \text{ mg kg}^{-1}$). Sin embargo, hay que destacar que estos contenidos están por arriba de los niveles críticos propuesto por Munévar (2001), quien indica que en contenidos alrededor de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ se encuentra el nivel crítico de este elemento. Estos contenidos se deben a las aplicaciones de este elemento en forma de fertilizantes, ya que los materiales parentales que dieron origen a este suelo aportan muy poca cantidad de este elemento. Resultados que confirman que químicamente no hay deficiencia de este elemento y por tanto la deficiencia de boro que es el desorden nutricional más común en las plantaciones de palma aceitera alrededor del mundo, no se presentaría en estas condiciones (Fairhurst y Härdter 2003). Marschner (2002) explica que el boro juega un rol primario en la biosíntesis y estructura de la pared celular y en la integridad de la membrana plasmática. Así mismo, Mohamed *et al.* (2006) indican que la aplicación de azufre tiene positivos efectos sobre la concentración de Fe, Mn, Zn y Cu en hojas de palma africana. Además, los micronutrientes como el cobre, el zinc y el manganeso también pueden desempeñar un papel importante en la catalización de la actividad de las enzimas implicadas en la biosíntesis del aceite (Beaton *et al.*, 1990).

Al analizar conjuntamente los contenidos que presentan estos suelos y las diferentes fincas, se puede indicar que el cultivo de palma africana establecidos en lotes no debería presentar deficiencia nutricional y, por lo tanto, poder tener la capacidad de crecer y tener altos rendimientos bajo estas condiciones. Esto debido y destacado por los niveles críticos propuestos por Munévar (2001) y Larez (2003), los cuales en una gran mayoría están por debajo de los contenidos encontrados en los suelos de estas fincas en estudio. Por otra parte, la variación que pueda existir entre los contenidos en el suelo puede deberse a diferencias entre las plantaciones con respecto al estado de fertilidad del suelo, la cantidad de fertilizantes aplicados y la adopción de otras prácticas culturales. Sin embargo, mantener una nutrición equilibrada tiene un papel importante en la determinación de la resistencia o susceptibilidad de las plantas a las enfermedades en especial el ion potasio (Fageria *et al.*, 2010).

3.3.3 Correlaciones entre las variables químicas de los suelos y el contenido foliar en *E. guineensis*.

3.3.3.1 Finca Invarten. En la Tabla 3.3 se observan las correlaciones entre las variables químicas del suelo y los contenidos nutricionales foliares. Estos coeficientes fueron significativos al 1, 5 y 10% y los coeficientes de correlación oscilaron entre 1,0** a 0,41*. Las correlaciones entre el N foliar y los contenidos de nutrientes en el suelo fueron negativos y significativas, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de - 0,61**, - 0,66**, -0,94** para el pH, MO y P, respectivamente y positivo con 0,5* y 0,61** para el S y K del suelo.

El P foliar presentó correlaciones negativas con magnitudes de -0,64**, -0,51* y -0,81** para pH, MO y P del suelo respectivamente; además correlacionó positivamente con 0,68** y 0,43* para el S y K del suelo, respectivamente. El K foliar igualmente se correlacionó negativamente con el pH, MO, P, Ca y Mg, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de -0,65**, -0,52*, -0,7**, -0,93** y -0,91** y positivamente con 1** para el potasio del suelo.

En relación al calcio foliar, este fue correlacionado positivamente con pH, P, Ca y Mg, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,56*; 0,42°, 1** y 0,94** y negativamente con 0,93** para el potasio del suelo. Así mismo, el Mg foliar fue correlacionado positivamente la MO, P y Mg con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,95**, 0,86** y 0,54* y negativamente con - 0,54* con el K del suelo.

En relación a los elementos menores, el hierro foliar no mostró correlaciones con ningún elemento menor del suelo. El Mn foliar presentó una correlación negativa con Fe y Cu, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de -0,78** y - 0,88** y positiva con el Mn y Zn y coeficientes medio de Pearson de 0,96** y 0, 88**. El Zn foliar presentó correlación positivas con 0,42° y 0,53* con el Fe y B del suelo y finalmente se encontró que el B foliar presentó correlación positiva con el Mn del suelo, con un coeficiente medio de Pearson de 0,59**.

De todas las correlaciones se recalcan las positivas de mayor relevancia entre el N, P y K foliar con el K del suelo. El Ca foliar con el pH, P, Ca y Mg en el suelo, y el Mg foliar con la MO, P y Mg. Resultados que indican que estos elementos que se encuentran el suelo, se presentan en forma disponibles para ser absorbidos por el cultivo de palma africana y que puede existir una alta reserva intercambiable que son aportados por los minerales primarios que se encuentran en estas zonas. Según Aguirre *et al.* (2012) en esta zona existen minerales primarios como feldespatos (5-15%), interestratificados (trazas), micas (5-30%), montmorillonita (30-50%) y vermiculita (5-30%). Además, Tschanz, Jimeno y Cruz (1970) explican que en la zona se presentan minerales como feldespato (K, Na, Ca, Ba, NH_4) (Si, Al) $_4O_8$), moscovita ($KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$), mica ($KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$) y piroxenos (Ca, Mg, Fe, Mn, Na, Li) ($Al, Mg, Fe, Mn, Cr, Sc, Ti$)(Si, Al) $_2O_6$.

Tabla 3.3. Correlaciones lineales de Pearson entre las características químicas del suelo y los contenidos químicos foliares en el cultivo de palma, finca Invarten.

	pH	MO	Ss	Ps	Cas	Mgs	Ks	Nas	Nf	Pf	Kf	Caf	Mgf							
pH	....	0,43	-0,74	0,56	0,56	....	-0,65	-0,51	-0,61	-0,64	-0,65	0,56	....						
		°	**	*	*	**	*	**	**	**	*							
MO				0,85	....	0,47	-0,52	-0,57	-0,66	-0,51	-0,52	...	0,95						
				**	*	*	*	**	*	*	...	**							
Ss					....	....	....	0,77	0,5	0,68	....	....	....				
					**	*	**							
Ps					0,42	0,51	-0,7	....	-0,94	-0,81	-0,7	0,42	0,86						
					*	*	**	**	**	**	°	**							
Cas						0,94	-0,93	....	....	....	-0,93	1,00	....						
						**	**	**	**							
Mgs							-0,91	....	....	....	-0,91	0,94	0,54				
							**	**	**	*							
Ks								....	0,61	0,43	1,00	-0,93	-0,54						
								**	*	**	**	*							
Nas								....	....	....	....	....	....	
														
Microelementos																				
	Fes		Mns		Cus		Zns		Bs		Fef		Mnf		Cuf		Znf		Bf	
Fes			-0,63		0,77		-0,47			-0,78		0,47		0,42		
			**		**		*			**		*		°		
Mns					-0,76		0,86			0,96		-0,44			0,59	
					**		**			**		°			**	
Cus							-0,84			-0,88		
							**			**		
Zns									0,88		
									**		
Bs																	0,53		
																	*		

Coefficientes significativos: * = 1%; ** =5%; ° = 10%

Además, estas correlaciones pueden ser explicadas por lo dinámica química de los suelos y el aporte que puede hacer la mineralización de la materia orgánica y la aplicación de nutrientes vía fertilización química o artificial De acuerdo con Wolf y Snyder, (2003) la materia orgánica del suelo necesita ser incrementada en muchos en los suelos con cultivos intensivos, pero esto no es una tarea fácil y cualquier incremento de larga duración es posible pero con adiciones permanentes de enmiendas orgánicas y dependiendo de su naturaleza.

En relación a los elementos menores foliares, se resalta la correlación positiva del Cu foliar con el Fe del suelo, el Mn foliar con el Mn y el Zn del suelo. Además, el Zn foliar con Fe y B del suelo y finalmente la correlación positiva del B foliar con el Mn del suelo.

Explicado estas correlaciones por lo dinámica química de los suelos y el aporte que puede hacer la mineralización de la materia orgánica y la aplicación de nutrientes vía fertilización sintética o química.

3.3.3.2 Finca Inversora. En la Tabla 3.4 se observan las correlaciones entre las variables químicas del suelo y los contenidos nutricionales foliar. Estos coeficientes fueron significativos al 1%, 5% y 10% y los coeficientes de correlación oscilaron entre 1,0** a 0,41*. En relación al N foliar y los contenidos de nutrientes en el suelo fueron encontrados correlaciones negativas y significativas con el Mg y el Na del suelo y coeficiente de correlación medio de Pearson de -0,45** y -0,43**, y positivo con 0,41** con el K del suelo.

El P foliar fue correlacionado positivamente con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,24° y 0,71** para pH y el K del suelo, y correlación negativa con -0,35*, -0,43** y -0,25° para la MO, P y Ca del suelo. El K foliar igualmente se correlaciono negativamente con el P, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de -0,28* y positivamente con 1** para el potasio del suelo.

En relación al calcio foliar, este fue correlacionado positivamente con la MO, S, P, Ca, Mg y Na, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,74**, 0,5**, 0,49**, 1** y 0,36*. Así mismo, el Mg foliar fue correlacionado positivamente la MO, P y Ca, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,35*, 0,49** y 0,27° y negativamente con -0,61* con el K del suelo. De acuerdo con Saridaş *et al.* (2017) la correlación positiva entre Ca foliar y Ca del suelo, indica que el calcio que era liberado a la solución del suelo, era absorbido por las raíces del cultivo; efectos que pueden estar relacionados con la aplicación previa de fertilizantes solubles de calcio, propiedades adecuadas del suelo como humedad, temperatura y mineralogía.

En relación a los elementos menores el hierro foliar mostró correlaciones negativas con el Cu y Zn del suelo, con coeficientes medio de Pearson de -0,35* y -0,3*. El Mn foliar presentó una correlación negativa con Cu y Zn, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de -0,43** y -0,65** y positiva con el Mn y coeficiente medio de Pearson de 0,38**. El Cu foliar presentó correlaciones positivas con 0,38** y 0,32* con el Cu, y el Zn foliar mostró correlación negativa con el B del suelo y coeficiente de -0,35*, y finalmente, se encontró que el B foliar presentó correlación positiva con el Mn del suelo, con un coeficiente medio de Pearson de 0,5**.

De todas las correlaciones se recalcan las positivas de mayor relevancia entre el N foliar con el K del suelo. El P foliar con el pH y K en el suelo, y el K foliar con el K del suelo. Así mismo, en esta finca el Ca foliar, con la mayor cantidad de variables químicas del suelo como, MO, S, P, Ca, Mg y el Na y el Mg foliar con MO, P y Ca. Resultados que indican que estos elementos que se encuentran el suelo, se presentan en forma disponibles para ser absorbidos por el cultivo de palma africana y que puede existir una alta reserva intercambiable que son aportados por los minerales primarios que se encuentran en estas zonas. Según el Instituto Colombiano Agustín Codazzi (2009), en

esta zona existen minerales primarios como feldespatos, micas, montmorillonita y vermiculita.

Tabla 3.4. Correlaciones lineales de Pearson entre las características químicas del suelo y los contenidos químicos foliares en el cultivo de palma, finca Inversora.

	pH	MO	Ss	Ps	Cas	Mgs	Ks	Nas	Nf	Pf	Kf	Caf	Mgf
pH		-0,44	-0,24	-0,33		-0,49		-0,36		0,24			
		**	°	*	**	*	°
MO			0,34	0,71	0,74	0,44				-0,35		0,74	0,35
			*	**	**	**	*	**	*
Ss				0,51	0,5	0,51		0,71				0,5	
				**	**	**	**	**	
Ps					0,49		-0,28			-0,43	-0,28	0,49	0,49
					**	*	**	*	**	**
Cas						0,69		0,36		-0,25		1,0	0,27
						**	*	°	**	°
Mgs								0,74	-0,45			0,69	
								**	**	**
Ks									0,41	0,71	1,0		-0,61
									**	**	**	**
Nas									-0,43			0,36	
									**	*
Microelementos													
	Fes	Mns	Cus	Zns	Bs	Fef	Mnf	Cuf	Znf	Bf			
Fes					0,39								
		**
Mns					-0,48		0,38						0,5
			**	**	**
Cus				0,51	0,26	-0,35	-0,43	0,38					
				**	°	*	**	**
Zns						-0,3		0,32					
						*		*
Bs							-0,65					-0,35	
							**	*

Coefficientes significativos: * = 1%; ** =5%; ° = 10%

Además, Tschanz, Jimeno y Cruz (1970) explican que en la zona se presentan minerales como feldespato, moscovita, piroxenos y mica. Además, estas correlaciones pueden ser explicadas por la dinámica química de los suelos y el aporte que puede hacer la mineralización de la materia orgánica y la aplicación de nutrientes vía fertilización sintética o química. De acuerdo con Awe *et al.* (2007) el suelo es un reservorio de nutrientes vegetales y varía mucho con su distribución en el tiempo y el espacio debido a cambios en las características químicas y físicas. Sin embargo, Palani y Raju (2019) explica que los contenidos foliares pueden presentar correlaciones positivas o negativas que se atribuyen a efectos de sinergismos y antagonismos entre los contenidos de los elementos en el suelo.

En relación a los elementos menores foliares, se resalta la correlación positiva del Mn foliar con el Mn del suelo, Cu foliar con el Cu y el Zn del suelo, además, el Zn foliar con Fe y el B del suelo y finalmente la correlación positiva del B foliar con el Mn del suelo. Explicado estas correlaciones por la dinámica química de los suelos y el aporte que puede hacer la mineralización de la materia orgánica y la aplicación de nutrientes vía fertilización sintética o química. Según Behera *et al.* (2016) entre los micronutrientes, las variaciones de Mn, Fe y B fueron mayores que las de Cu y Zn entre las plantaciones de palma africana estudiadas.

3.3.3.3 Finca Comercializadora. En la Tabla 3.5 se observan las correlaciones entre las variables químicas del suelo y los contenidos nutricionales foliar. En esta finca, se puede observar que no hubo correlaciones en la mayoría de las variables químicas foliares y las del suelo y la que se encontraron fueron al 10% y los coeficientes son menores a 0,5.

En relación a los contenidos nutricionales foliares se puede observar en la tabla que el Ca foliar presentó correlación negativa con el Na del suelo, con un coeficiente de Pearson de $-0,33^{\circ}$. Para los elementos menores el Zn foliar mostró correlación con el Fe del suelo, con coeficientes de $0,32^{\circ}$. Estos resultados indican que la reserva nutricional del suelo y la aplicación de nutrientes de síntesis no estas mostrando una alta tasa de absorción por parte del este cultivo de palma africana para esta finca.

Tabla 3.5. Correlaciones lineales de Pearson entre las características químicas del suelo y los contenidos químicos foliares en el cultivo de palma, finca Comercializadora.

	pH	MO	Azs	Ps	Cas	Mgs	Ks	Nas	Nf	Pf	Kf	Caf	Mgf
pH	...	-0,68 **	0,83 **	0,9 **	...	-0,3 °		0,69 **	....	...	....	...	....
MO			-0,39 *	...	0,31 °		-0,67 **	....	...	
Ss				0,94 **	...	-0,33 °		0,35 *	....	...	
Ps						-0,39 *		0,42 *	....	...	
Cas						0,3 °		0,38 *	....	...	
Mgs											
Ks											
Nas										-0,33 °	
Microelementos													
	Fes	Mns	Cus	Zns	Bs	Fef	Mnf	Cuf	Znf	Bf			
Fes	...	-0,39 *	0,34 °	-0,62 **	....	....	....	....	0,32 °	....		
Mns		0,32 °	0,76 **	0,35 *	....	....	....	...	....
Cus			0,84 **	....	....	....	...	....
Zns						
Bs					0,41 *	....	....	....	...	....

Coefficientes significativos: * = 1%; ** = 5%; ° = 10%

3.3.3.4 Finca Padelma. En la Tabla 3.6 se observan las correlaciones entre las variables químicas del suelo y los contenidos nutricionales foliar. Estos coeficientes fueron significativos al 1%, 5% y 10% y los coeficientes de correlación oscilaron entre 1,0** a 0,22*. Las correlaciones entre el N foliar y los contenidos de nutrientes en el suelo fueron positivos y significativos, con el S, P, Mg y K del suelo, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,28*, 0,24*, 0,25**, y 0,25*, y negativo con el Ca del suelo con - 0,36**.

El P foliar fue correlacionado positivamente con el K del suelo con coeficiente de Pearson de 0,5**. El K foliar igualmente fue correlacionado negativamente con el pH y el P, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de -0,26* y -0,24*, y positivamente con 1** para el potasio del suelo.

En relación al calcio foliar, este fue correlacionado positivamente con pH, MO, P, Ca y Mg con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,5**, 0,25*, 0,24*, 1** y 0,49** y negativamente con -0,41** y -0,36** para el S y el K del suelo. Así mismo, el

Mg foliar fue correlacionado positivamente la MO, y el Na del suelo, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,46** y 0,22*, y negativamente con - 0,55* con el K del suelo.

En relación a los elementos menores el hierro foliar mostró correlación positiva con el Mn del suelo, con coeficiente de Pearson de 0,25**, y correlación negativa con el Fe y el B del suelo, presentando coeficientes medio de -0,44** y -0,29*. El Mn foliar presentó una correlación positiva con Fe y el Cu del suelo y coeficientes de 0,36** y 0,25*. El Cu foliar presentó una correlación positiva con el Mn del suelo y coeficiente de 0,66**, y negativa con Fe y el B, con coeficientes medio de Pearson de -0,37** y -0,35**. El Zn foliar presentó correlaciones positivas con 0,61** con el Mn del suelo, y negativa con Fe y B del suelo, presentando coeficientes medio de Pearson de -0,37** y -0,3**. Finalmente, el B foliar presentó correlación positiva con el B del suelo, con coeficiente medio de Pearson de 0,19°. De acuerdo con Fairhurst y Härdler (2003) el B es esencial para la división y el crecimiento celular, la síntesis de ácidos nucleicos, la integridad de las membranas celulares, la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico.

De todas las correlaciones se recalcan las positivas de mayor relevancia entre el N foliar con el S, P, Mg y K del suelo. El P foliar con el K en el suelo y el K foliar con el K del suelo. Así mismo, en esta finca el Ca foliar, con la mayor cantidad de variables químicas del suelo como, pH, MO, P, Ca y Mg, y el Mg foliar con MO y el Na. Kavitha y Sujatha (2015) y Saridaş *et al.* (2017) encontraron una fuerte correlación positiva y significativa entre los parámetros del suelo y foliares en trabajos previos, realizados en la evaluación de fertilidad de los suelos.

Resultados que indican que estos elementos que se encuentran el suelo, se presentan en forma disponibles para ser absorbidos por el cultivo de palma africana y de los nutrientes, al igual, que al actuar, junto con los microorganismos, sobre los minerales primarios y secundarios, dejando los minerales disponibles en el suelo a través de un proceso llamado solubilización que deja una alta reserva intercambiable que son aportados por los minerales primarios que se encuentran en estas zonas, ya que presentan problema de acidez, también se puede dar por la relación que existe entre los nutrientes y la planta (Agropecuario,1992). Según Aguirre *et al.* (2012), en esta zona existen minerales primarios como feldespatos (5-15%), interestratificados (trazas), micas (5-30%), montmorillonita (30-50%) y vermiculita (5-30%). De acuerdo con Hernández *et al.* (2017) los minerales primarios que originaron estos suelos estaban compuestos de plagioclasa (Na,Ca) (Si,Al)₃O₈ y feldespato alcalino que pueden ser considerados como mezclas de aluminosilicatos sódicos (NaAlSi₃O₈) y aluminosilicatos potásicos (KAlSi₃O₈). con menos de 5 %, y cantidades menores de hornblenda Ca₂ (Mg,Fe,Al)₅ (Al,Si)₈O₂₂(OH)₂ y biotita K(Mg,Fe)₃AlSi₃O₁₀(OH, F)₂ y otros minerales. Además, estas correlaciones pueden ser explicadas por lo dinámica química de los suelos y el aporte que puede hacer la mineralización de la materia orgánica y la aplicación de nutrientes vía fertilización sintética o química. Según Afif *et al.* (2009) el éxito de la silvicultura sostenible radica en el eficiente reciclaje de nutrimentos, que

depende en gran medida, de características del sustrato como el porcentaje de materia orgánica y su dinámica de mineralización.

En relación a los elementos menores foliares, se resalta la correlación positiva con los contenidos en el suelo, como el Fe foliar y el Mn. El Mn presentó una correlación positiva con Fe y el Cu. El Cu foliar con el Mn. Además, el Zn foliar con el Mn y finalmente la correlación positiva del B foliar con el B del suelo. Explicado estas correlaciones por lo dinámica química de los suelos y el aporte que puede hacer la mineralización de la materia orgánica y la aplicación de nutrientes vía fertilización sintética o química.

Tabla 3.6. Correlaciones lineales de Pearson entre las características químicas del suelo y los contenidos químicos foliares en el cultivo de palma, finca Padelma.

	pH	MO	Ss	Ps	Cas	Mgs	Ks	Nas	Nf	Pf	Kf	Caf	Mgf
pH	-0,19	0,37	0,5	...	-0,26	0,27	.....	...	-0,26	0,5	...
			^o	**	**		*	*			*	**	
MO	-0,21	.....	0,25	.....	.....	.....	.....	.....	...	0,25	0,46
			^o		*							*	**
Ss	-0,41	-0,4	...	0,35	0,28	...	.....	-0,41	.....
					**	**		**	*			**	
Ps	0,2	.....	-0,24	.....	0,24	.....	-0,24	0,24	.....
					^o		*		*		*		
Cas	0,49	-0,36	.....	-0,36	...	.....	1,0	.....
						**	**		**			**	
Mgs	0,25	...	...	0,49	...
									*			**	
Ks	0,25	0,5	1,0	-0,36	-0,55
									*	**	**	**	**
Nas	0,22
													^o
Microelementos													
	Fes	Mns	Cus	Zns	Bs	Fef	Mnf	Cuf	Znf	Bf			
Fes	-0,27	.....	-0,44	0,36	-0,37	-0,37	.....	.....	.....	.....
				*		**	**	**					
Mns	0,27	-0,27	0,25	.....	0,66	0,61	.....	.....	.....	.....
				*	*	*		**	**				
Cus	0,36	0,27	.....	0,25	...	...	.....	.....	.....	.....
				**	*		*						
Zns	0,32	.....	...	...	.....	.....	.....	.....	.....
					**								
Bs	-0,29	.....	-0,35	-0,3	.....	.....	.....	0,19
						*		**	**				^o

Coefficientes significativos: * = 1%; ** = 5%; ^o = 10%

3.3.3.5 Finca Palmari. En la Tabla 3.7 se observan las correlaciones entre las variables químicas del suelo y los contenidos nutricionales foliar. Estos coeficientes fueron significativos al 1%, 5% y 10% y los coeficientes de correlación oscilaron entre 1,0** a 0,32*. Las correlaciones entre el N foliar y los contenidos de nutrientes en el suelo fueron

positivos y significativos, con el P y K del suelo, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,44** y 0,8*.

El P foliar fue correlacionado positivamente con el S, P y K del suelo, con coeficiente de Pearson de 0,35*, 0,4** y 0,75**, y negativo con el Na del suelo y coeficiente de -0,33*. Además, el K foliar fue correlacionado positivamente con el potasio del suelo, y coeficiente de 1**. El calcio foliar fue correlacionado positivamente la MO, S, P, Ca y Na del suelo, con coeficientes medio de Pearson de 0,46** 0,75**, 0,4**, 1** y 0,35*. Para esta finca el Mg foliar no fue correlacionado con ningún elemento químico del suelo. Según Kumar *et al.* (2017) para que las plantas mantengan la homeostasis de nutrientes, se debe regular la absorción de nutrientes y responder a los cambios en el suelo y dentro de la planta.

En relación a los elementos menores el hierro foliar mostró correlación negativa con el Mn del suelo, con coeficiente medio de Pearson de -0,41**. El Mn foliar presentó una correlación positiva con Fe y el Cu del suelo y coeficientes de 0,36* y 0,34**. El Cu foliar no presentó con ningún elemento químico del suelo. El Zn foliar presentó correlaciones positivas con 0,34** y 0,54** con el Fe y el Cu del suelo. Finalmente, el B foliar presentó correlación positiva con el Mn del suelo, con un coeficiente medio de Pearson de 0,32*.

De las correlaciones positivas se recalcan la de mayor relevancia entre el N y el P foliar con el P y K, además el P foliar con el S y el K foliar con el K del suelo. El calcio foliar fue correlacionado positivamente la MO, S, P, Ca y Na del suelo (Saridaş *et al.*, 2017). Resultados que indican que estos elementos que se encuentran el suelo, se presentan en forma disponibles para ser absorbidos por el cultivo de palma africana y que puede existir una alta reserva intercambiable que son aportados por los minerales primarios que se encuentran en estas zonas. Según Aguirre *et al.* (2012) en esta zona existen minerales primarios como feldespatos (5-15%), interestratificados (trazas), micas (5-30%), montmorillonita (30-50%) y vermiculita (5-30%). Además, Tschanz, Jimeno y Cruz (1970) explican que en la zona se presentan minerales como feldespato, moscovita, piroxenos y mica. Además, estas correlaciones pueden ser explicadas por lo dinámica química de los suelos y el aporte que puede hacer la mineralización de la materia orgánica y la aplicación de nutrientes vía fertilización sintética o química.

En relación a los elementos menores foliares, se resalta la correlación positiva con los contenidos en el suelo, como el Mn y el Zn foliar con el Fe y el Cu y finalmente la correlación positiva del B foliar con el Mn del suelo. Explicado estas correlaciones por lo dinámica química de los suelos y el aporte que puede hacer la mineralización de la materia orgánica y la aplicación de nutrientes vía fertilización sintética o química. De acuerdo con Afif *et al.* (2009) el análisis foliar se considera muy útil para relacionar al suelo con el estado nutricional del arbolado.

Tabla 3.7. Correlaciones lineales de Pearson entre las características químicas del suelo y los contenidos químicos foliares en el cultivo de palma, finca Palmarí.

	pH	MO	Ss	Ps	Cas	Mgs	Ks	Nas	Nf	Pf	Kf	Caf	Mgf
pH		0,28	...	0,42	....	....	....	....	...

					*		**						
MO			0,3				0,45						0,46
			*	...		**	...	...	**0,25**	....	....	...	**
Ss				0,49	0,8		...	...	....		0,35	....	0,75
				**	**		*	**
Ps					0,4		....	....	....	0,44	0,4	....	0,4
					**	**	**	**
Cas							....	....	0,35				1,0
							*	**
Mgs							....	....	....	....	....	....	....
						
Ks							....	....	0,8	0,75	1,0	....	....
							**	**	**
Nas							....	....	....	-0,33	....	0,35	....
							*	*
Microelementos													
	Fes	Mns		Cus	Zns	Bs	Fef	Mnf	Cuf	Znf	Bf		
Fes		....		0,71	....	0,34	....		0,36	....	0,34	....	....
				**	*	*	*	*
Mns					....	....	-0,41					0,32	....
				**	*
Cus						0,57	....		0,34		0,54	....	....
						**	*	...	**
Zns							....	....	....	....	....	....	....
Bs							....	....	....	....	....	....	....

Coefficientes significativos: * = 1%; ** = 5%; ° = 10%

3.3.3.6 Finca Rosaleda. En la Tabla 3.8 se observan las correlaciones entre las variables químicas del suelo y los contenidos nutricionales foliar. Estos coeficientes fueron significativos al 1%, 5% y 10% y los coeficientes de correlación oscilaron entre 1,0** a 0,65*. Las correlaciones entre el N foliar y los contenidos de nutrientes en el suelo fueron negativos y significativos, con el pH, S, Ca y K del suelo, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de -0,96**; -0,65°; -0,95** y 0,94**.

El P foliar fue correlacionado negativamente con el pH, Ca y K del suelo, con coeficiente de Pearson de -0,93**; -0,92** y -0,97**. El K foliar igualmente fue correlacionado positivamente con el pH, Ca y el K del suelo, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,8*; 0,78* y 1**.

En relación al calcio foliar, este fue correlacionado positivamente con pH, S, P, Ca, Mg y K, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 1**; 0,85**; 0,68°; 1**; 0,83* y 0,78*. Así mismo, el Mg foliar fue correlacionado positivamente con el K y el Na del suelo, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,96** y 0,79*.

En relación a los elementos menores el manganeso foliar mostró correlación positiva con el Fe y el Cu del suelo, con coeficiente medio de Pearson de 0,62° y 0,96**, y correlación negativa con el B del suelo, presentando coeficientes medio de 0,94** y

negativa con el B del suelo y coeficiente de -0,9. El Cu foliar presentó una correlación positiva con el Cu del suelo y coeficiente de 0,94**, y negativa con el B del suelo con un coeficiente de -0,83*. El Zn foliar presentó correlaciones positivas con el Fe y Cu del suelo, presentando coeficientes medio de Pearson de 0,73* y 0,93**, y negativa con el B y coeficiente de -0,92*.

Tabla 3.8. Correlaciones lineales de Pearson entre las características químicas del suelo y los contenidos químicos foliares en el cultivo de palma, finca Rosaleda.

	pH	MO	Ss	Ps	Cas	Mgs	Ks	Nas	Nf	Pf	Kf	Caf	Mgf
pH		.....	0,83 **	0,65 °	1 **	0,81 *	0,8 *	.....	-0,96 **	-0,93 **	0,8 *	1,0 **	...
	MO		0,79 *	0,93 **	...	0,81 *	.....	-0,95 **	.....	.....	.....	...	...
Ss				0,96 **	0,85 **	1 **	...	.....	-0,65 °	...	.....	0,85 **	.....
	Ps				0,68 °	0,97 **	.....	-0,77 *	.....	.....	...	0,68 °	...
Cas						0,83 *	0,78 *	...	-0,95 **	-0,92 **	0,78 *	1,0 **	...
	Mgs							...	...	...	.....	0,83 *	...
Ks									-0,94 **	-0,97 **	1,0 **	0,78 *	0,96 **
	Nas								.....	...	.....	..	0,79 *
Microelementos													
	Fes	Mns	Cus		Zns		Bs	Mnf	Cuf	Znf	Bf		
Fes		-0,82 *	0,82 *		.....		-0,94 **	0,62 °	.....	0,73 *	0,64 °		
	Mns		.....	.....	0,94 **		.....	.....	.....	.....	.....
Cus					...	.....	-0,97 **	0,96 **	0,94 **	0,99 **	0,96 **		
	Zns						...	.....	.....	.....	.....
Bs									-0,85 **	-0,83 *	-0,92 *	-0,87 *	

Coefficientes significativos: * = 1%; ** =5%; ° = 10%

Finalmente, el B foliar presentó correlación positiva con el Fe y el Cu del suelo, con un coeficiente medio de Pearson de 0,64° y 0,96**, y negativa con coeficiente de -0,87* para el B del suelo. De acuerdo con Marschner (1997) el análisis del contenido de nutrientes del suelo y las plantas, se ha utilizado para el diagnóstico de nutrientes basado en la hipótesis de que hay relaciones entre las tasas de crecimiento de las plantas y su contenido de nutrientes

De todas las correlaciones se recalcan las positivas de mayor relevancia entre el K foliar con el pH, Ca y el K del suelo. Así mismo, en esta finca el Ca foliar, con la mayor cantidad de variables químicas del suelo como pH, S, P, Ca, Mg y K (Saridaş *et al.*, 2017). Por otra parte, el Mg foliar fue correlacionado positivamente con el K y el Na. Resultados que indican que estos elementos que se encuentran el suelo, se presentan en forma disponibles para ser absorbidos por el cultivo de palma africana y que puede existir una alta reserva intercambiable que son aportados por los minerales primarios que se encuentran en estas zonas. Según Instituto Colombiano Agustín Codazzi (2009) en esta zona existen minerales primarios como feldespatos (5-15%), interestratificados (trazas), micas (5-30%), montmorillonita (30-50%) y vermiculita (5-30%). De acuerdo con Hernández *et al.* (2017) los minerales primarios que originaron estos suelos estaban compuestos de plagioclasa $(Na,Ca)(Si,Al)_3O_8$ y feldespato alcalino que pueden ser considerados como mezclas de aluminosilicatos sódicos ($NaAlSi_3O_8$) y aluminosilicatos potásicos ($KAlSi_3O_8$). con menos de 5 %, y cantidades menores de hornblenda $Ca_2(Mg,Fe,Al)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$ y biotita $K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH, F)_2$ y otros minerales. Además, estas correlaciones pueden ser explicadas por lo dinámica química de los suelos y el aporte que puede hacer la mineralización de la materia orgánica y la aplicación de nutrientes vía fertilización sintética o química. Tisdale y col. (1993) informaron que la descomposición de la materia orgánica produce humus, que protege al fósforo contra la fijación.

En relación a los elementos menores foliares, se resalta la correlación positiva con los contenidos en el suelo, entre ellos el Mn, Zn y B presentaron correlación con el Fe y el Cu y el Cu foliar con el Cu del suelo. Explicado estas correlaciones por lo dinámica química de los suelos y el aporte que puede hacer la mineralización de la materia orgánica y la aplicación de nutrientes vía fertilización sintética o química.

3.4 CONCLUSIONES

- □ De acuerdo a la escala que mide los niveles de acides y alcalinidad en la solución del suelo el pH encontrado en los predios fluctuó entre 5,2 y 6 considerándose como suelos ácidos por presentar un $pH < 7$, lo cual puede causar alguna reducción en la disponibilidad de algunos nutrimentos y favorecer la solubilidad de elementos tóxicos como el Aluminio.

- □ Se encontró que contenido de materia orgánica en el suelo oscilaron entre 2,1 hasta 1,0% por ciento catalogado como bajo a medios estos valores son inferiores a los niveles críticos para el cultivo de palma.
- Se determinó que, en cuanto a las propiedades químicas, de los suelos estudiados se halló que el contenido de azufre estuvo en el rango de 78,3 a 10,5 mg kg⁻¹ y de fósforo en el suelo, en un rango de 40,5 y 21,8 mg kg⁻¹ ubicándose por encima de los parámetros críticos expuestos por Munévar y Lares.
- □ Para contenido de bases intercambiables en los suelos se presentó un valor de calcio alto que oscilo entre 10,4 a 5,0 cmolc kg⁻¹, para el contenido de Mg en el rango de 4,7 y 1,5 cmolc kg⁻¹. El contenido de potasio el los suelos estudiados presentaron valores entre 1,1 y 0,6 cmolc kg⁻¹.
- □ Se encontró que los niveles de concentración de hierro en los suelos de los predios estudiados, mostraron valores que oscilaron entre 382,5 a 199,1 mg kg⁻¹. Para el caso del Mn su contenido se encontró entre los valores de 57,4 y 14,5 mg kg⁻¹, para el Cu el rango de 5,1 a 2,4 mg kg⁻¹. Para el Zn sus valores estuvieron en los rangos entre 13,9 y 3,3 mg kg⁻¹ y para el boro se determinó que el contenido estuvo en el rango de 11 y 0,8 mg kg⁻¹.
- □ Existe una correlación positiva entre el contenido manganeso, zinc y boro foliara y el contenido con el hierro y el cobre del suelo y el contenido de cobre foliar con el contenido de cobre en el suelo.

3.5 LITERATURA CITADA

- Agropecuaria, I. C. (1992). Fertilización en diversos cultivos 5 a. ed. Bogotá: ICA.
- Aguado, Etchevers., Hidalgo., Galvis. y Aguirre. (2002). Dynamic of potassium in agricultural soils. *Agrociencia*, 36, 11-21.

- Aga, A., Chane, B. y Melesse, A. (2018). Soil erosion modelling and risk assessment in data scarce rift valley lake regions, Ethiopia. *Water*, 10, 1684. <https://doi.org/10.3390/w10111684>.
- Aguirre, S., Piraneque N. y Menjivar, J. (2012). Relación entre las propiedades edafoclimáticas y la incidencia de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en la Zona Bananera del Magdalena-Colombia. *R. I. A. A.*, 3(2), 2145-609.
- Arévalo, G., Canto, M., Alegre, J., Loli, O., Julca, A. y Baligar, V. (2015). Changes in soil physical and chemical properties in long term improved natural and traditional agroforestry management systems of Cacao genotypes in Peruvian Amazon. *PLoS ONE*, 10(7), e0132147. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132147>.
- Beaton, J., Hasegawa, M. y Keng, J. (1990). Some aspects of plant nutrition/soil fertility management to consider in maximum yield research. In *Proceedings of symposium on maximum yield research, August 17, 1990.* (pp. 131-152).
- Bornacelly, H. y Bolaño, J. (2003). Efecto de diferentes labores de manejo sobre el desarrollo de la Sigatoka Negra del banano en el distrito de Sevilla, Zona Bananera del Magdalena. Santa Marta.
- Behera, S., Suresh, K., Rao, B., Manoja, K. y Manorama, K. (2016). Soil nutrient status and leaf nutrient norms in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations grown in the west coastal area of India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(2), 255-262.
- Bernal, F. (2002). Consideraciones prácticas sobre la nutrición de la palma de aceite. *El Palmicultor*, 21(1), 14-20.
- Chávez, F. (2003). Manual del cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* jacq.): para la zona noroccidental del Ecuador. INIAP Archivo Historico.
- Chinchilla, C. (2003). Manejo Integrado de Plagas y Agroecología Manejo integrado de problemas fitosanitarios en palma aceitera *Elaeis guineensis* en América Central. (Costa Rica) No. 67: 78-79.
- Chinchilla, C. (2004). Curso Internacional de la palma aceitera ASD. Costa Rica. Agosto-septiembre. Enfermedades de la Palma aceitera, 25-29.
- Cristancho, J., Alfonso, Ó. y Molina, D. (2012). Revisión de literatura sobre el papel del suelo y la nutrición de plantas en la Pudrición del cogollo de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 33(2), 9-22.

- Cristancho, J., Castilla, C., Rojas, M., Munévar, F. y Ch, J. (2007). Relación entre la saturación de Al, Mg, K y la tasa de crecimiento de la pudrición de cogollo de la palma de aceite en la Zona Oriental colombiana. *Revista palmas*, 28(2).
- Cardona, W. y Bolaños, B. (2019). Manual de nutrición del cultivo de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) bajo un esquema de buenas prácticas en fertilización integrada.
- Domínguez, A. (1988). Los microelementos en Agricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Impreso en España.
- Datnoff, L., Elmer, W. y Huber, D. (2007). Mineral nutrition and plant disease. American Phytopathological Society (APS Press).
- Dignam., O'Callaghan., Condrón., Kowalchuk., Van Nostrand, J., Zhou, J. y Wakelin, S. (2018) Effect of land use and soil organic matter quality on the structure and function of microbial communities in pastoral soils: Implications for disease suppression. *PLoS ONE*, 13(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196581>.
- Dong, H., Kong, X., Li, W., Tang, W. y Zhang, D. (2010). Effects of plant density and nitrogen and potassium fertilization on cotton yield and uptake of major nutrients in two fields with varying fertility. *Field Crops Research*, 119(1), 106-113.
- Demidchik, V. (2014). Mechanisms and physiological roles of K⁺ efflux from root cells. *Journal of plant physiology*, 171(9), 696-707.
- Escalante, M., Linzaga, C. y Escalante, Y. (2006). Calculo de fertilizantes para elaborar mezclas físicas. *Revista alternativa*, 3(10), 6.
- Fageria, N., Baligar, V. y Jones, C. (2010). Growth and mineral nutrition of field crops. CRC Press.
- FAO. (2013) Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Situación alimentaria mundial.
- Fairhurst, T. (2003). Palma de aceite: manejo para grandes y rendimientos sostenibles, Potasa y Fosfato Inst., Singapur, 384 p.
- Fairhurst, T. y Härdter, R. (2003). Management for large and sustainable yields. PPI, PPIC and IPI editors
- Fisher, B., Turner, K., Zylstra, M., Brouwer, R., De Groot, R., Farber, S. y Jefferiss, P. (2008). Ecosystem services and economic theory: integration for policy-relevant research. *Ecological applications*, 18(8), 2050-2067.

- Falk, K., Tokuhisa, J. y Gershenzon, J. (2007). The effect of sulfur nutrition on plant glucosinolate content: physiology and molecular mechanisms. *Plant Biology*, 9(05), 573-581.
- Ge, S., Zhu, Z. y Jiang, Y. (2018). Long-term impact of fertilization on soil pH and fertility in an apple production system. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(1), 282-293. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005001002>.
- Goh, K., y Hardter, R. (2003). General oil palm nutrition (No. L-0515). PPI.
- Hernández, D., Vega, G., Mendoza, L. y Vela, L. (2017). Caracterización petrográfica del batolito de Aracataca sector sur-occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 5(2), 78-109.
- Huber, D. (1980). The role of mineral nutrition in defense. In: *Plant Disease. An advanced Treatise, Volume 5, how plants defend them-selves*, In: Horsfall I.G., Cowling, E.B. (eds), Academic Press, New York, pp. 381-406.
- Huber, D. (1981). The use of fertilizers and organic amendments in the control of plant disease. *CRC Handbook of pest management in agriculture*.
- Huber, D. (1981). The use of fertilizers and organic amendments in the control of plant disease. *CRC Handbook of pest management in agriculture*.
- Huber, D. (1989). Introduction. pp. 1-8. In: A.W. Engelhard (ed.). *Soilborne plant pathogen: management of disease with*.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. y White, P. (2012). Functions of macronutrients. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 135-189). Academic Press.
- Instituto Colombiano Agustín Codazzi (2009). Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento del Magdalena. Escala 1:100000. Bogotá: IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2006.) *Métodos analíticos de laboratorio de suelos*. 6 ed. IGAC, Bogotá. 513 p.
- Kavitha, C. y Sujatha, M. (2015). Evaluation of soil fertility status in various agro ecosystems of Thrissur District, Kerala, India. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 8: 328- 338.
- Kochian, L., Hoekenga, O. y Pineros, M. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 55, 459-493.
- Lal, R. (2015). Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, 7, 5875-5895. <http://dx.doi.org/10.3390/su7055875>.

- Larez, C. (2003). Agricultura fondos para la investigación de palma. Primera Edición, Bogotá, Edinum, 2003.
- Kumar, M., Kumar, R. y Pratap, R. (2017) Correlation between soil nutrient and plant nutrient concentration in mustard. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 6: 751 – 754.
- Lawrence, W. (2007). Mineral Nutrition and plant disease. 1a ed. Editorial APS Press, Minnesota. U.S.A.
- Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. New York: Academic Press. 2:889.
- Marschner, H. (1997) Mineral nutrition of higher plants, Academic Press, San Diego. Pp. 889.
- Marschner, H. (2002). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Londres. 889 p.
- Martín, N. y Durán, J. (2009). El suelo y su fertilidad. 1ra ed., MINAGRI, LA Habana, Cuba.
- Martínez, F., Bautista, P. y Arias, N. (1998). Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite. *Cenipalma*.
- Mohamed. A., Soaud, A., El-Konaissi, S. (2006). Effect of exogenous application of antistress substances and elemental sulphur on growth and stress tolerance of tissue culture derived plantlets of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. 'Khalas' during acclimatization. *Journal of Applied Horticulture*, 8(2): 129-134.
- Munévar, F. (2001). Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. *Revista Palmas*, 22(4), 9-17.
- Muñoz, D. (2002). El plan integral de nutrición en la palma de aceite. Ecuador, EC. Pasquel Producciones. *Revista El Palmicultor*, (15), 53-57.
- Mutert, E. (1999). Suitability of soils for oil palm in Southeast Asia. *Better Crops International*, 13(1), 37.
- Naranjo, Z. (2018). Evaluación del efecto de diferentes manejos de nutrición y sombra sobre la resistencia fisiológica de la planta de café (*Coffea arabica*) a la roya (*Hemileia vastatrix*), en discos de hoja en condiciones controladas de laboratorio (Doctoral dissertation, CATIE).
- Navia, J., Arteaga, J., Castillo, J. (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 33(2): 62 - 75. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.53>.

- Owen, E. (1992). Fertilización de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Colombia. *Revista Palmas*, 13(2), 39-64.33(4), 633-650.
- Ogidi, O., Okore, I. y Dike, J. (2018). Correlation analysis of nutrient soil-plant content and bud take success in *Hevea brasiliensis* Muell Arg. in acidic soil of South Eastern Nigeria. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 6(1), 116-123.
- Palani, V. y Raju, I. (2019). Synergistic and Antagonistic Interactions oCalcium with Other Nutrients in Soil and Plants. *Available at SSRN 3503225*.
- Plaster, E. (2000). La ciencia del suelo y su manejo (No. 631.4 P715c). Madrid, ES: Edit. Paraninfo.
- Behera, S., Shukla, A., Suresh, K., Manorama, K., Mathur, R., Kumar, A.y Tripathi, A. (2020). Oil palm cultivation enhances soil pH, electrical conductivity, concentrations of exchangeable calcium, magnesium, and available sulfur and soil organic carbon content. *Land Degradation & Development*, 31(18), 2789-2803.
- Santa, L., Baldoquín, A. y Reyes, M. (2018). Propiedades de los suelos en diferentes usos agropecuarios, Las Tunas, Cuba. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 36-47.
- Salazar, M., Mora, L., Chávez, B., Gómez, D., Zamora, O. y Prado, B. (2018). Susceptibilidad del suelo al impacto humano: caso del herbicida atrazina. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(1), 95-119.
- Saridaş, M., Kargı, S., Karabıyık, Ş. y Daşgan, H. (2017). Effect of calcium nitrate applications on leaf macro element concentrations in different strawberry cultivars. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(2), 147-152.
- Sharma, L., Bali, S. y Zaeen, A. (2017). A case of potential reasons of increased soil phosphorus levels in the northeast United States *Agronomy*, 7(85), 1 – 15. <https://doi.org/10.3390/agronomy7040085>
- Silva, Á. y Martínez, G. (2009). Plan nacional de manejo de la Pudrición del cogollo Fedepalma-Cenipalma. *Revista Palmas*, 30(3), 97-121.
- Singh, K., Sharma, H., Singh, C., Singh, Y., Nishizawa, N., y Mori, S. (2004). Effect of polyolefin resin coated slow-release iron fertilizer and its methods of application on rice production in calcareous soil. *Soil science and plant nutrition*, 50(7), 1037-1042.
- Tisdale, S., Nelson W., Beaton, J. (1993) *Soil Fertility and Fertilizers*, 5th Edition, Macmillan Publishing Co., New York U.S.A.

- Tschanz, C., Jimeno, A. y Cruz, J. (1970). Recursos Minerales de la Sierra Nevada de Santa Marta. Boletín Geológico, 18(1), 2-67.
- Turner, P. (2003). The role of nutrition in disease control (No. L-0515). PPI.
- Takahashi, H., Kopriva, S., Giordano, M., Saito, K., y Hell, R. (2011). Sulfur assimilation in photosynthetic organisms: molecular functions and regulations of transporters and assimilatory enzymes. Annual review of plant biology, 62, 157-184.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). Fisiología vegetal (Vol. 10). Universitat Jaume I.
- Wolf, B. y Snyder, GH (2003) Suelos sostenibles: El lugar de la materia orgánica en los suelos sostenibles y su productividad. Food Products Press, Nueva York.
- Wild, A. y Jones, L. (1992). Nutrición mineral de las plantas cultivadas. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 73-119.

CAPITULO IV

CONTENIDO FOLIAR DE NUTRIENTES, LA INCIDENCIA DE PC Y RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE PALMA AFRICANA EN EL MUNICIPIO DE ZONA BANANERA DEL MAGDALENA

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estimar el contenido de nutriente foliares en el cultivo de palma africana y su correlación con las condiciones químicas del suelo, la incidencia de pc y el rendimiento en el cultivo de palma africana. El estudio se realizó bajo un diseño experimental de muestreo aleatorio simple en seis fincas con 38 repeticiones por finca (6*38). Para esto se evaluó el contenido nutricional de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B de la hoja. El análisis estadístico de los datos fue realizado mediante un análisis de varianza (ANOVA), análisis de comparación de medias de Tukey y un análisis de correlación entre las variables químicas y foliares mediante el programa estadístico SAS versión 9,1. Los resultados indicaron que los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio se encuentran a nivel foliar por debajo de los contenidos críticos y se encontró al calcio por encima de los contenidos críticos en el

cultivo de palma de aceite establecido en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena. Los contenidos foliares de P, K y Mg no presentan correlación con los contenidos edafológicos que presentan los suelos. Los elementos menores como hierro, cobre y zinc se establecieron como altos a nivel foliar, determinando que están por encima de los contenidos críticos en la mayoría de las fincas estudiadas. Los contenidos foliares de Mn, Cu y Zn no presentan correlación con los contenidos edafológicos que presentan los suelos.. A mayor contenido acumulado a nivel foliar de N, Ca, Mg, Cu y Zn, se presenta menor incidencia de PC, pero a mayor acumulación de K y B se presentará mayor incidencia de PC en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena. A mayor contenido acumulado a nivel foliar de N, P, K y Zn foliar, se presenta mayor rendimiento, sin embargo, a mayor acumulación de Mg y B se presentará menor rendimientos, en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

Palabras claves: elementos foliares, macroelementos, microelementos, pudrición del cogollo, rendimientos, palma de aceite. *Elaeis guineensis*

ABSTRACT

The objective of this research was to estimate the foliar nutrient content in the African palm crop and its correlation with the chemical conditions of the soil, the incidence of pc and the yield in the African palm crop. The study was carried out under a simple random sampling experimental design in six farms with 38 replications per farm (6 * 38). For this, the nutritional content of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn and B of the leaf was evaluated. The statistical analysis of the data was carried out by means of an analysis of variance (ANOVA), comparison analysis of Tukey means and a correlation analysis between chemical and foliar variables using the statistical program SAS version 9.1. The results indicated that the nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium contents are below the critical contents at the foliar level and calcium is found above the critical contents in the oil palm cultivation established in different farms in the municipality. from the Magdalena banana zone. The foliar contents of P, K and Mg do not present correlation with the edaphological contents that the soils present. The minor elements such as iron,

copper and zinc were determined as high at the foliar level, finding that they are above the critical contents in most of the studied farms. The foliar contents of Mn, Cu and Zn do not present correlation with the edaphological contents that the soils present. With these results, it is established that in the Inversora and comercializadora farms with 22.4 and 22 t ha⁻¹ they presented the highest yields and the ones with the lowest yields are Palmari and Rosaleda with 17.8 and 15.5 t ha⁻¹. The higher the accumulated content of N, Ca, Mg, Cu and Zn at the foliar level, the lower the incidence of CP, but the higher the accumulation of K and B, the higher the incidence of CP in different farms in the municipality of the Magdalena banana zone. The higher the content accumulated at the foliar level of foliar N, P, K and Zn, the higher the yield, however, the higher the accumulation of Mg and B, the lower the yields, in different farms in the municipality of the Magdalena banana zone.

Keywords: foliar elements, macroelements, microelements, bud rot, yields, oil palm. *Elaeis guineensis*.

4.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad toda actividad que se realiza en la agricultura esta direccionada en mejorar la productividad y rentabilidad del cultivo. Por lo tanto, para alcanzar dicho propósito, es necesario que el cultivo se mantenga y maneje de forma adecuada, principalmente la nutrición mineral que es la base fundamental para obtener el mejor aprovechamiento de los procesos fisiológicos, bioquímicos y genéticos en las plantas (Oliveros, 2010). Por consiguiente, el manejo agronómico de los cultivos acompañado de una óptima fertilización en las épocas que más lo requiera la planta, permitiría un apropiado desarrollo de cada estado fenológico, incrementando la tolerancia a enfermedades, haciendo más eficiente y garantizando mejores producciones (Mengel *et al.*, 2001; Czeschlik, 2005; Datnoff *et al.*, 2007; Bertsch, 2009).

En Colombia el cultivo de la palma de aceite (*E. guineensis*) se ubica en el cuarto puesto a nivel mundial como productor de aceite de palma, y el primer lugar en América latina (Mesa, 2013). Así mismo este cultivo de palma de aceite en Colombia viene siendo afectada por la enfermedad pudrición de cogollo (PC) y esta se encuentra asociada a

ciertas condiciones adversas del suelo (Laing, 2009) como es la fertilización desbalanceada, que de acuerdo con Munévar (2001), afecta directamente la productividad de fruta fresca y aceite, y predispone al cultivo a hacer susceptible al ataque de patógenos (Naranjo, 2018). Según Nieto, Gómez y Lozano (1996) el estado nutricional de la palma de aceite puede tener algún nivel de asociación con la incidencia (PC).

Según Ceballos *et al.* (2014) y Viteri *et al.* (2012) una adecuada fertilización ayuda a reducir la incidencia y severidad de enfermedades, por consiguiente, la sostenibilidad de la producción. Pero una adecuada nutrición en los cultivos está determinada por la capacidad que tiene el suelo para proveerlos elementos esenciales que demanda la planta y por un suministro balanceado de nutrientes (Foth y Ellis, 1997), teniendo en cuenta las condiciones del suelo y los requerimientos del cultivo (Havlin, Beaton, Tisdale, y Nelson, 1999). Por lo tanto, es necesario realizar estudios sobre las características químicas de los suelos y del contenido foliar de cada elemento esencial, para poder realizar una óptima recomendación de nutrientes que contribuyan con una nutrición mineral equilibrada y obtener máximos rendimientos por áreas establecidas con este cultivo y reducir el riesgo de ataque de plagas y enfermedades. Smith y Loneragan (1997) indican que las recomendaciones de fertilizantes en palma aceitera, al igual que otros cultivos, se basan en ensayos calibrados de suelo y hojas.

De acuerdo Garzón (2005) con una nutrición balanceada hay mayor posibilidad para protegerse de nuevas infecciones y de limitar las ya preexistentes en cultivos de palma de aceite (*E. guineensis*), además, obtener mayor productividad y rentabilidad que están profundamente ligadas con las propiedades de los suelos, sobre los cuales se establecen las plantaciones. De acuerdo con Goh, Hardter y Fairhurst (2003) la palma aceitera requiere un suministro equilibrado y adecuado de macro y micronutrientes para su crecimiento y rendimiento óptimos económicos y sostenibles, que solo se pueden lograr con un uso prudente de fertilizantes.

De acuerdo con Recalde (2008), la nutrición completa y balanceada le permite a la planta mayor fortaleza fisiológica ante patógenos (Naranjo, 2018). Haciendo que el balance nutricional sea un concepto vital en la fertilidad del suelo y en la producción de cultivos (Naranjo, 2018). Según Bertsch (2009), el manejo agronómico de los cultivos acompañado de una buena fertilización en las épocas que más lo requiera la planta, permitiría un apropiado desarrollo de cada estado fenológico, incrementando la tolerancia a enfermedades, haciendo más eficiente y garantizando mejores producciones (Elmer y Huber, 2007).

Considerando que el cultivo de la palma de aceite (*E. guineensis*) en Colombia viene siendo afectado por la enfermedades pudrición de cogollo (PC), generando la principal preocupación para el sector palmero, debido a su fácil y rápida propagación y considerando que la enfermedad pudrición de cogollo se encuentra asociada a condiciones de mala aireación del suelo y a una fertilización desbalanceada (Nieto *et al.*, 1996), el objetivo de esta investigación fue evaluar el contenido foliar de nutrientes

y su relación con la incidencia de PC y rendimiento en el cultivo de palma africana en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Localización del proyecto. La investigación se realizó en fincas ubicada en el Municipio de Zona Bananera, localizadas en la parte norte del Departamento del Magdalena y delimitando al Norte con el municipio de Ciénaga al Sur, con el municipio de Aracataca por el oriente, las estribaciones de la sierra nevada y al Occidente con la ciénaga grande de santa marta, según las zonas de vida de Holdridge, La región está catalogada como bosque seco tropical (Bs-t) con una altura de 20 m.s.n.m, humedad relativa promedio de 82%; evaporación de 1.500 mm año (IDEAM 2007) y se presenta un promedio de precipitación anual de 1112,7 mm con variaciones entre 693,3 y 1532 mm, la temperatura presenta valor promedio de 28.1 °C con intervalo de confianza entre 27,3 y 29 °C y la humedad relativa está entre el 78 y 83% (Revueltas, Mercado y Aguirre, 2020).

4.2.2 Localización de los puntos de muestreo. Para determinar el contenido nutricional del área foliar, fueron recolectadas las muestras foliares en la hoja número 17 en palmas adultas mayores de cuatro años después de la siembra. Estas muestras foliares fueron colectadas siguiendo la Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite (Martínez, 1998). Para el muestreo foliar, inicialmente fueron seleccionadas las palmas a muestrear y posteriormente a cada hoja seleccionada por unidad experimental, se procedió a colectar los cuatro folíolos que estén enfrentados y completamente sanos, que se encuentren ubicados en el tercio medio de la hoja. Estos folíolos fueron empacados en bolsas de papel que estaban previamente identificadas con su respectiva etiqueta o cinta de enmascarar hasta el final del proceso de preparación, secado y remisión al laboratorio, según la metodología utilizada en Cenipalma (Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite) (Martínez, 1998).

4.2.3 Determinación del contenido foliar. El laboratorio para la determinación del contenido nutricional de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B de la hoja, estas fueron secadas y molidas, y posteriormente fueron pesados aproximadamente 0,5 g para colocarlas a digestión por vía húmeda con (HNO₃: HClO₄ en relación 3:1 v/v) y 0,5 gramos para determinar el nitrógeno que fue extraído con ácido sulfúrico puro, según metodología propuesta por el I.G.A.C (2006).

4.2.4 Determinación de niveles de incidencia de PC. Para determinar la incidencia de PC en campo, se procedió a determinar el grado de afectación del cultivo por incidencia de PC en cada uno de los lotes, a partir de la relación existente entre el número de palmas enfermas y el número total de palmas sembradas de acuerdo a los niveles de incidencia bajo, medio, alto y muy alto para los siguientes porcentajes de palmas enfermas respectivamente: 0 a 10%, 10% a 20%, 20% a 40% y mayor al 40% (Díaz, 2006).

4.2.5 Determinación de la producción. Así mismo, para determinar la producción por hectárea se procedió a cosechar semanalmente los racimos en estado de maduración con un criterio de cortes de un fruto suelto en el plato esto se hace cada semana por lote, de acuerdo a la programación de cada finca. Esta cosecha es realizada por lotes de cada finca, y mensualmente se obtiene la producción por lote. Posteriormente se suman las cantidades de fruta obtenida por lote que existe en cada finca, para finalmente dividir la producción total por lote entre el número de hectáreas y se obtiene el promedio de producción por hectárea. Además, para obtener la producción anual se suma la producción mensual y el resultado es rendimiento t/ha/año.

4.2.6 Diseño experimental. El estudio se realizó bajo un diseño experimental de muestreo aleatorio simple en seis fincas con 38 repeticiones por finca (6*38), El análisis estadístico de los datos fue realizado mediante un análisis de varianza (ANOVA), análisis de comparación de medias de Tukey con significancia de 0,05. Así mismos, fue realizado un análisis de correlación entre las variables químicas y foliares mediante el programa estadístico SAS versión 9,1.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Análisis de varianza para los contenidos foliares de macroelementos. Se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,01$) para los contenidos foliares de N, P, K, Ca y Mg entre las seis fincas evaluadas (Tabla 4.1). La descripción de los resultados se hace de manera diferencial para cada variable respuesta evaluada.

Tabla 4.1. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de los macroelementos de los tejidos foliares en palma africana en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

Fuente	GL	N	P	K	Ca	Mg
LOTE	5	0,8701	0,0075	0,7843	101,5296	0,0094
Error	223	0,0325	0,0001	0,0246	4,5704	0,0008
F		26,7**	7,5**	31,88**	22,21**	11,75**

GL: grados de libertad, F: Razón F

4.3.1.1 Nitrógeno. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p > 0,05$) se encontró que el contenido de nitrógeno (N) foliar presentó diferencias significativas entre las fincas (Figura 4.1a). El contenido de N fue mayor en la finca comercializadora con 2,5; que de acuerdo Munévar (2001) se clasifica como medio, con respecto a Invarten, Padelma y Palmarí. Behera *et al.* (2015) encontraron contenidos de N foliar que oscilaron entre de 2,24 a 2,97%, en cultivos de palma africana en la India.

Así mismo, estos niveles foliares encontrados en todas las fincas se encuentran por debajo del nivel crítico de 2,6% propuesto por Munévar (2001) y 3,0 % por Larez (2003). Por lo tanto, fisiológicamente los cultivos establecidos pueden presentar deficiencia de este elemento, porque si la cantidad de nutrientes disponible es inferior a la que la planta demanda, aunque existan las otras condiciones ideales para acercarse a los rendimientos máximos del ecosistema, esto no ocurrirá y presentara manifestaciones por falta del nutriente (Barra, 1999). De acuerdo con Guo *et al.* (2007) cuando se presenta deficiencia de N, se produce acumulación de azúcares totales solubles posiblemente se debe a un sistema de protección de la célula contra el estrés por déficit del elemento, haciendo un ajuste osmótico mediante polisacáridos como el almidón (Sami *et al.*, 2016). La deficiencia de N, resulta en una acumulación de azúcares totales en las hojas (Boussadia *et al.*, 2010). Por tanto, la reducción en la tasa fotosintética bajo contenido de N, es también una consecuencia por la acumulación de azucares como posiblemente el almidón (Boussadia *et al.*, 2010) que darán como resultado retraso en el crecimiento de las plantas y desórdenes en el desarrollo vegetal, aspectos de suma importancia en la producción de fruta. Esto puede deberse a que probablemente la ausencia de este elemento afecta diferentes proteínas relacionadas con la fotosíntesis y la cadena de transferencia de electrones en los tilacoides (Suresh *et al.*, 1996).

Estos resultados de bajos contenidos de N, se pueden explicar por el bajo contenido de materia orgánica que se encuentra en la zona de plateo, o por la baja aplicación de nitrógeno como fertilizante (Thompson y Troeh, 1982) Además, como en estos suelos presentan altos contenidos de arena, se puede presentar perdidas por lixiviación ya que nitrato es muy móvil en suelos y se lixivia fácilmente desplazado desde su punto de origen por las adiciones de agua (Jury *et al.*, 1991), Indicando la necesidad de aumentar la cantidad de este nutriente en los planes de fertilización, que en lo posible deben ser fuentes de lenta solubilidad, como también aumentar el fraccionamiento de los fertilizantes que contengan este nutriente. Pero sin duda alguna, una práctica de manejo que incrementaría el contenido de nitrógeno es la reposición de materia orgánica en la zona de plateo, ya sea con fuentes orgánicas como la fibra del raquis de la palma, que resulta ser buen acondicionador del suelo, mejorando su estructura, porosidad, capacidad de retención de agua e intercambio catiónico e incorporación de nutrientes, utilización de microorganismos eficientes (Aslam y Boulter, 2007)

4.3.1.2 Fósforo. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$) se encontró que el contenido de fósforo (P) foliar presentó diferencias significativas entre las fincas (Figura 4.1b). El contenido de P fue mayor en la finca comercializadora con 0,15% y el menor contenido se estableció en la finca Palmarí y

Padelma con valores de 0,12% clasificado como deficientes de acuerdo Munévar (2001). Behera *et al.* (2015) encontraron contenidos de P foliar que oscilaron entre de 0,08 a 0,14%, en cultivos de palma africana en la India.

Así mismo, estos niveles de P foliares encontrados en todas las fincas se encuentran por debajo de los niveles crítico foliares de 0,18% propuesto por Munévar (2001) y 0,25% por Larez (2003). Consecuentemente, fisiológicamente los cultivos establecidos pueden estar presentando deficiencia de este elemento, a pesar de encontrarse en los suelos contenidos por arriba de los niveles críticos de P disponible (20 mg kg^{-1}). De acuerdo a Sinha *et al.* (2003), la deficiencia de P también puede afectar el papel del B en la promoción de la división celular, aspecto que provoca una alta ramificación de las raíces laterales, pero un bajo desarrollo de la raíz primarias. Benton (2003) explica que la deficiencia de P da como resultado baja producción de frutos, semillas y flores de mala calidad. Además, Veronica *et al.* (2017) afirman que la deficiencia de P resulta en una reducción de la tasa de transpiración, así como de la conductancia estomática y la concentración intercelular de CO_2 , lo cual atribuyeron a una limitación estomática lo que lleva a un menor consumo de agua por parte de la planta.

Así mismo, los bajos contenidos de P foliar se pueden explicar por diferentes aspectos: que los niveles críticos en el suelo propuesto por Munévar (2001) y Larez (2003) estén por debajo del verdadero nivel que debe existir en los suelos, para que este cultivo pueda absorber la cantidad necesaria para poder cumplir con todos los procesos metabólicos de la planta de palma de aceite y por la dinámica del P en suelo. El fósforo es un elemento que está presente en la transferencia de energía, fotosíntesis, respiración (Marschner, 2012), es constituyente de macromoléculas de ARN y ADN, moléculas que transfieren energía (ATP y ADP) y participa en procesos de división celular (Mengel y Kirkby, 2001) y en la síntesis y metabolismo del almidón y azúcares. Este elemento es un componente de membranas, debido a que forma lecitina y cefalinas, y tiene relación con la calidad del aceite. Según Salt (2004) indica que este elemento cuando esta deficiente afecta también la absorción de N por la raíz, ya que los iones fosfato y amonio deben encontrarse en permanente equilibrio para permitir la regulación del pH en la zona adyacente radical. Así mismo, este elemento en el suelo puede estar en formas insolubles y los métodos analíticos utilizados pueden extraer la forma de P no disponible o por la baja aplicación de este elemento como fuente de fertilizante. Ratto (2006) explica que el contenido total de un nutriente en el suelo no siempre se relaciona con la fertilidad química, pero es un indicador a utilizar para tener una aproximación de la riqueza potencial del elemento. Por lo tanto, se considera, que la solubilización de distintas rocas fosfatadas y de otras fuentes de fósforo inorgánico por los microorganismos del suelo es una alternativa fundamental para incrementar la cantidad de nutriente disponible para las plantas (Fernández, Zalba, Gómez y Sagardoy, 2005)

Indicando que existe la necesidad de aumentar la cantidad de este nutriente en los planes de fertilización, que en lo posible deben ser fuentes de lenta solubilidad, como también aumentar el fraccionamiento de los fertilizantes que contengan este nutriente.

Pero sin duda alguna, una práctica de manejo que incrementaría el contenido de P es la reposición de materia orgánica en la zona de plateo, ya sea con fuentes orgánicas o utilización de microorganismos eficientes, que contribuyan la solubilización de este elemento.

4.3.1.3 Potasio. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$) se encontró que el contenido de K foliar presentó diferencias significativas entre las fincas (Figura 4.1c). El contenido de K fue mayor en la finca Rosaleda e inversora con 1,1 % y el menor contenido se estableció en la finca Invarten con 0,6 % clasificado como contenidos bajos de acuerdo Munévar (2001). Behera *et al.* (2015) encontraron contenidos de K foliar que oscilaron entre de 0,78 a 0,91%, en cultivos de palma africana en la India con condiciones edafoclimáticas similares.

De acuerdo con Goh y Härdter (2003) un nivel foliar de K de 0,75% se considera muy bajo en cuanto a su nivel adecuado que es de 1,1% en la hoja 17 en palmas adultas. Además, Huber (1997) indica que contenidos de K y condición nutricional óptimos de las plantas afecta su reacción a los patógenos y Chinchilla (2004), sugiere que el potasio y sus relaciones con el magnesio y el calcio están relacionados íntimamente con la incidencia de la pudrición del cogollo (PC) y el balance adecuado de potasio es esencial para mantener las relaciones hídricas, el transporte de asimilados de la fotosíntesis y para mantener el funcionamiento de los mecanismos de defensa de las plantas contra el ataque de patógenos y el estrés en general (Mutter, 1998).

Así mismo, estos niveles de K foliares encontrados en todas las fincas se encuentran por debajo de los niveles crítico foliares de propuesto por Munévar (2001) y Larez (2003) que es de 1,2 y 1,6 %. Los resultados que indican que fisiológicamente los cultivos establecidos pueden estar presentando deficiencia de este elemento, a pesar de encontrarse en los suelos contenidos por arriba de los niveles críticos de K intercambiable ($< 0,4 \text{ cmolc kg}^{-1}$), ya que este elemento tiene funciones fisiológicas no estructurales en la planta: pero si como activaciones enzimáticas, osmorregulación, formación de carbohidratos y proteínas, fortalecimiento del floema y la xilema (Del Amor y Marcelis, 2004).

La deficiencia en el contenido foliar se puede explicar por diferentes aspectos: que los niveles críticos foliares propuesto por Munévar (2001) y Larez (2003) estén por arriba del verdadero requerimiento nutricional que necesita la planta a nivel foliar necesario para que el cultivo pueda cumplir con todos los procesos metabólicos y de rendimientos, que la aplicación del nutriente en forma de fertilizante sea escasa, o que este no se encuentre de forma fácilmente disponible para la planta. Además, por la dinámica del K es necesita que los suelos presenten un potencial hídrico de un tercio de atmosfera para un óptimo contenido de humedad y este permanezca en el mayor tiempo posible, ya que este elemento se mueve en los suelos por flujo de masa y difusión, y es absorbido por las raíces de las plantas vía pasiva.

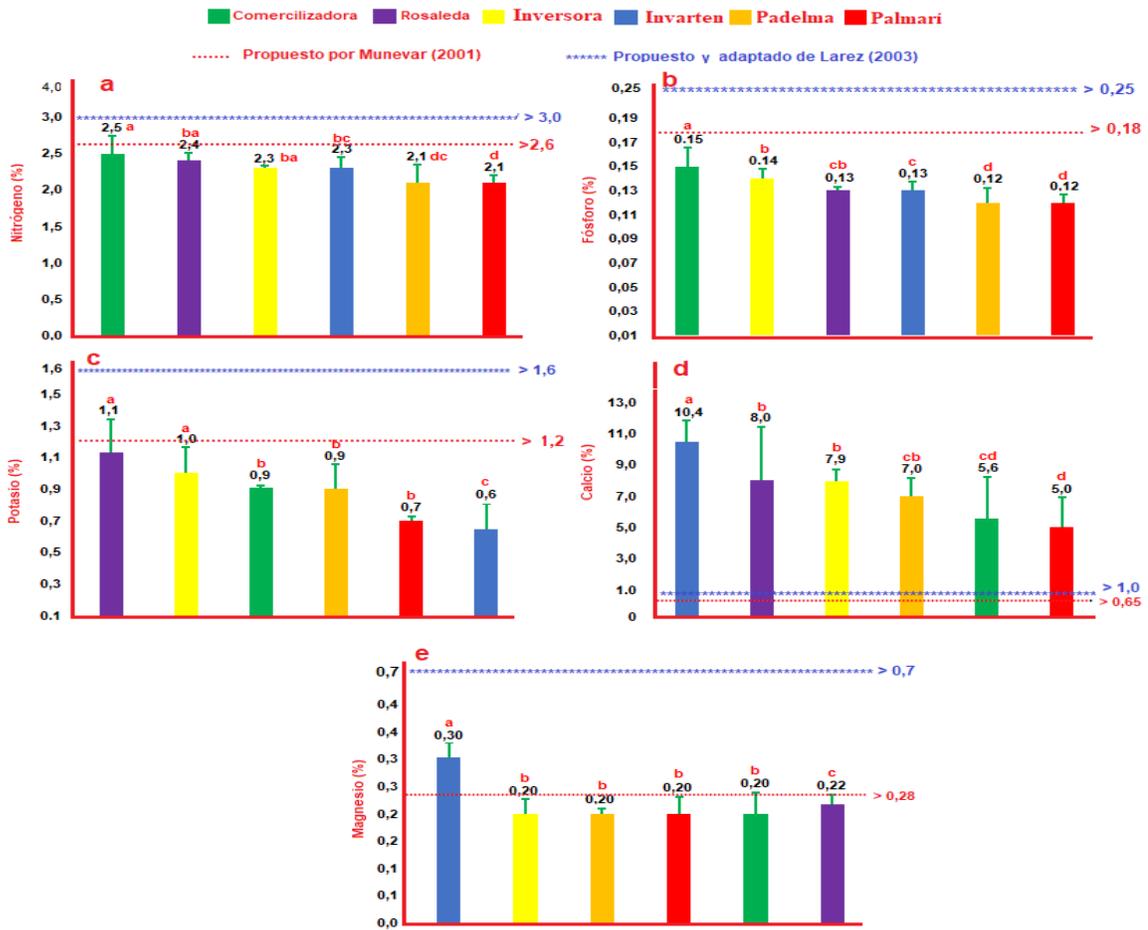


Figura 4.1. Contenido foliar de macroelementos en hojas del cultivo de palma africana para el año 2019 en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena,

Lo cual hace necesario mejorar el contenido de agua en el suelo (capacidad de campo), e incrementar la cantidad de este nutriente (K) en los planes de fertilización, debido a que contenido de potasio intercambiable o rápidamente aprovechable no siempre es suficiente para satisfacer la demanda de los cultivos, por ello el consumo de fertilizantes potásicos ha aumentado en los últimos años (Aguado *et al.*, 2002) que en lo posible deben ser fuentes de lenta solubilidad ya que el aporta los nutrimentos durante la etapa de crecimiento del cultivo, aumentando con ello la eficiencia (Singh *et al.*, 2004) y aumentar el fraccionamiento de los fertilizantes que contengan este nutriente.

4.3.1.4 Calcio. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$) se encontró que el contenido de Ca foliar presentó diferencias

significativas entre las fincas (Figura 4.1d). El contenido de Ca fue mayor en la finca Invarten con 10,4% clasificado como altos de acuerdo Munévar (2001). Behera *et al.* (2015) encontraron contenidos de Ca foliar que oscilaron entre 0,74 a 1,53%, en cultivos de palma africana en la India.

En relación a los niveles foliares de Ca encontrados en todas las fincas, se determinó que este se encuentra por arriba de los niveles crítico foliares de 0,65 % propuesto por Munévar (2001) y 1 % por Larez (2003). Por lo tanto, fisiológicamente los cultivos establecidos se encuentran con contenidos óptimos para cumplir con los procesos metabólicos, involucrado en la síntesis de nuevas paredes celulares, en especial, en la lámina media que separa las nuevas células divididas (Taiz y Zeiger, 2006) y de las paredes celulares, como pectatos de calcio, y activa gran cantidad de enzimas que intervienen en la mitosis, división y elongación celular (White y Broadley 2003).

Estos resultados se pueden explicar desde el punto de vista de contenidos edafológicos, ya que este elemento se encuentra en los suelos por arriba de los niveles crítico propuesto por Munévar (2001) y Larez (2003). Sin embargo, es necesario mantener óptimos contenidos de humedad en el mayor tiempo posible, ya que este elemento es absorbido en gran parte por intercepción radicular, o sea que se necesita el continuo crecimiento de raíces activas para absorber este elemento.

Esto indica la necesidad de aumentar el contenido de humedad en el suelo y lo mismo que tratar de no incrementar este elemento en altas cantidades, para no originar antagonismos iónicos con potasio y magnesio. Calvache (2008) expone que el Ca, Mg y K son tres nutrientes esenciales y estrechamente ligados, pero en desequilibrio pueden causar trastornos en la planta y por lo tanto bajas en la productividad de aceite. Además, Torrez (1997), expone que el Ca, Mg y el K compiten por sitios de absorción en las raíces y la deficiencia de uno de estos nutrientes puede ser acentuada por la abundancia de los otros.

4.3.1.5 Magnesio. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$) se encontró que el contenido de Mg foliar presentó diferencias significativas entre las fincas (Figura 4.1e). El contenido de Mg fue mayor en la finca Invarten con 0,3 % clasificado como alto y el menor contenido se estableció en la finca Rosaleda con 0,22 % clasificado como bajo de acuerdo con Munévar (2001). Behera *et al.* (2015) encontraron contenidos de Mg foliar que oscilaron entre de 0,25 a 0,98%, en cultivos de palma africana en la India.

En relación a los niveles foliares de Mg encontrados en todas las fincas, se determinó que este se encuentra por debajo de los niveles crítico foliares de 0,28 % propuesto por Munévar (2001) a excepción de la finca Invarten, y el nivel crítico de 0,7 % propuesto por Larez (2003). Por lo tanto, fisiológicamente los cultivos establecidos se encuentran con bajos contenidos de Mg en el tejido foliar y este elemento no sólo forma parte de las clorofilas, sino que está asociado con el transporte simplástico, hecho que será determinante en la distribución de fotoasimilados a los distintos órganos vegetales (Hao y Papadoupolus, 2004).

Sin embargo, estos resultados a nivel foliar son contradictorio si son analizados desde el punto de vista del contenido en el suelo, ya que el contenido de Mg intercambiable se encuentra por arriba de los niveles crítico propuesto por Munévar (2001) y Larez (2003). Por lo tanto, es necesario adelantar investigaciones en la zona del caribe, debido a que los niveles críticos propuesto por Munévar (2001) y Larez (2003) no se correlacionan con los contenidos foliares en palma de aceite establecidos en estos suelos con altos contenidos de Mg posiblemente por las relaciones que se pueden presentar en la solución de suelo con los demás iones presenten en la solución. De acuerdo con Slobbe (1998) la mitad o más de la mitad del magnesio de la hoja puede estar en los cloroplastos haciendo parte de la clorofila, pero evidentemente el plastidio contiene mucho magnesio, además el magnesio es el activador de enzimas más comunes concernientes al metabolismo de la energía.

Si bien, es necesario mantener óptimos contenidos de humedad en el mayor tiempo posible, ya que este elemento es absorbido en gran parte por flujo de masa y difusión, indicando la necesidad de aumentar el contenido de humedad en el suelo y lo mismo que tratar de incrementar este elemento con la aplicación de fertilizantes, al igual que fraccionar su aplicación. De acuerdo con (Ng *et al.*, 2011) la deficiencia de Mg se debe principalmente a la alta tasa de fertilizante NH_4^+ y fertilizante KCl utilizado en plantaciones de palma aceitera.

4.3.2 Análisis de varianza para los contenidos foliares de microelementos. Se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,01$) para los contenidos foliares de Fe, Mn, Cu, Zn y B entre las seis fincas evaluadas (Tabla 4.2). Al igual que en los resultados anteriores, la descripción de los resultados se hace de manera diferencial para cada variable estudiada.

Tabla 4.2. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de los microelementos de los tejidos foliares en palma africana en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

Fuente	GL	Fe	Mn	Cu	Zn	B
LOTE	5	55250,1413	117442,079	57,6125	275,3185	1641,4398
Error	223	1,252,0481	2,069,9530	1,0	3,9905	55,4402
F		44,12**	56,73**	57,61**	68,99**	29,60**

GL: grados de libertad. F: Razón F

4.3.2.1 Hierro. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$) se encontró que el contenido de Fe foliar presentó diferencias significativas entre las fincas (Figura 4.2a). Los contenidos de Fe con valores mayores a 80 mg kg^{-1} son clasificados como alto de acuerdo Munévar (2001). El mayor contenido

se encontró en la finca inversora con $184,6 \text{ mg kg}^{-1}$ y el menor contenido se estableció en la finca Rosaleda con $79,4 \text{ mg kg}^{-1}$ clasificado como medio. Behera *et al.* (2015) encontraron contenidos de Fe que oscilaron entre de $82,8$ a 936 mg kg^{-1} en cultivos de palma africana en la India.

Así mismo, estos niveles foliares encontrados en la mayoría de las fincas se encuentran por encima del nivel crítico de 80 mg kg^{-1} propuesto por Munévar (2001). Por lo tanto, fisiológicamente los cultivos establecidos presentan altos contenidos de Fe foliar. Resultados que se pueden explicar por el exceso de humedad que se encuentra en los suelos, los cuales reducen el hierro oxidado y este elemento es fácilmente absorbido. Además, es necesario en tiempo de alta precipitación adecuar los canales de drenaje para evacuar el exceso de agua, y disminuir la alta reducción de Fe, ya que este elemento puede causar fitotoxicidad (Fassbender y Bornemisza, 1987; Hillel, 1982). Así mismo, en estas condiciones no sería necesario realizar aplicaciones de este elemento en forma de fertilizantes, debido a que los suelos presentan altos contenido de Fe disponible. Según Caliman *et al.* (2005) el hierro es necesario en todas las enzimas que catalizan procesos de redox (citocromo y ferredoxina) en las plantas, donde juega un papel importante en la fotosíntesis, metabolismo de la energía y fijación de N_2 .

4.3.2.2 Manganeso. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$) se encontró que el contenido de Mn foliar presentó diferencias significativas entre la finca Invarten y las demás fincas, pero no entre ellas (Figura 4.2b). El contenido de Mn foliar fue mayor en Invarten con $299,4 \text{ mg kg}^{-1}$, que es clasificado como alto y el menor contenido se estableció en la finca Padelma con $104,8 \text{ mg kg}^{-1}$ clasificado como bajo de acuerdo Munévar (2001). Behera *et al.* (2015) encontraron contenidos de Mn que oscilaron entre de $82,5$ a 681 mg kg^{-1} en cultivos de palma africana en la India.

Así mismo, en la finca Invarten el contenido foliar se encuentran por arriba del nivel crítico de 150 mg kg^{-1} propuesto por Munévar (2001), esto hace que el cultivo de palma no debería presentar manifestaciones de deficiencia del nutriente. Pero en las demás fincas como Comercializadora, Rosaleda, Inversora, Padelma y Palmarí, los contenidos foliares están por debajo del nivel crítico propuesto por Munévar (2001). Resultados que no están relacionados con los contenidos edafológicos de este elemento, ya que en todas las fincas este elemento se encuentra por arriba del nivel crítico propuesto por este mismo autor. Según Salisbury y Ross (1994), el efecto del Mn en la acumulación de materia seca, se debe a que plantas con contenidos adecuados de este elemento tienden a presentar una mayor fotosíntesis neta.

Por lo tanto, es necesario adelantar investigaciones en la zona del caribe, debido a que el nivel crítico del Mn disponible propuesto por Munévar (2001) no correlacionan con los contenidos foliares en palma de aceite establecidos en estos suelos con altos contenidos de Mn. Además, hay que determinar si los muestreos edafológicos y foliares están siendo realizado con rigurosidad, ya que la finca que presenta el menor contenido edafológico (Invarten) presenta los mayores contenidos foliares. El problema radica en el uso adecuado, en la posibilidad de lograr una apropiada toma de muestras tanto

foliares como de suelo para poder dar un diagnóstico de los nutrientes limitantes del crecimiento, aunque la combinación de diversas técnicas de diagnóstico ha mostrado su bondad para mejorar considerablemente la fidelidad del diagnóstico (Moreno, 1996).

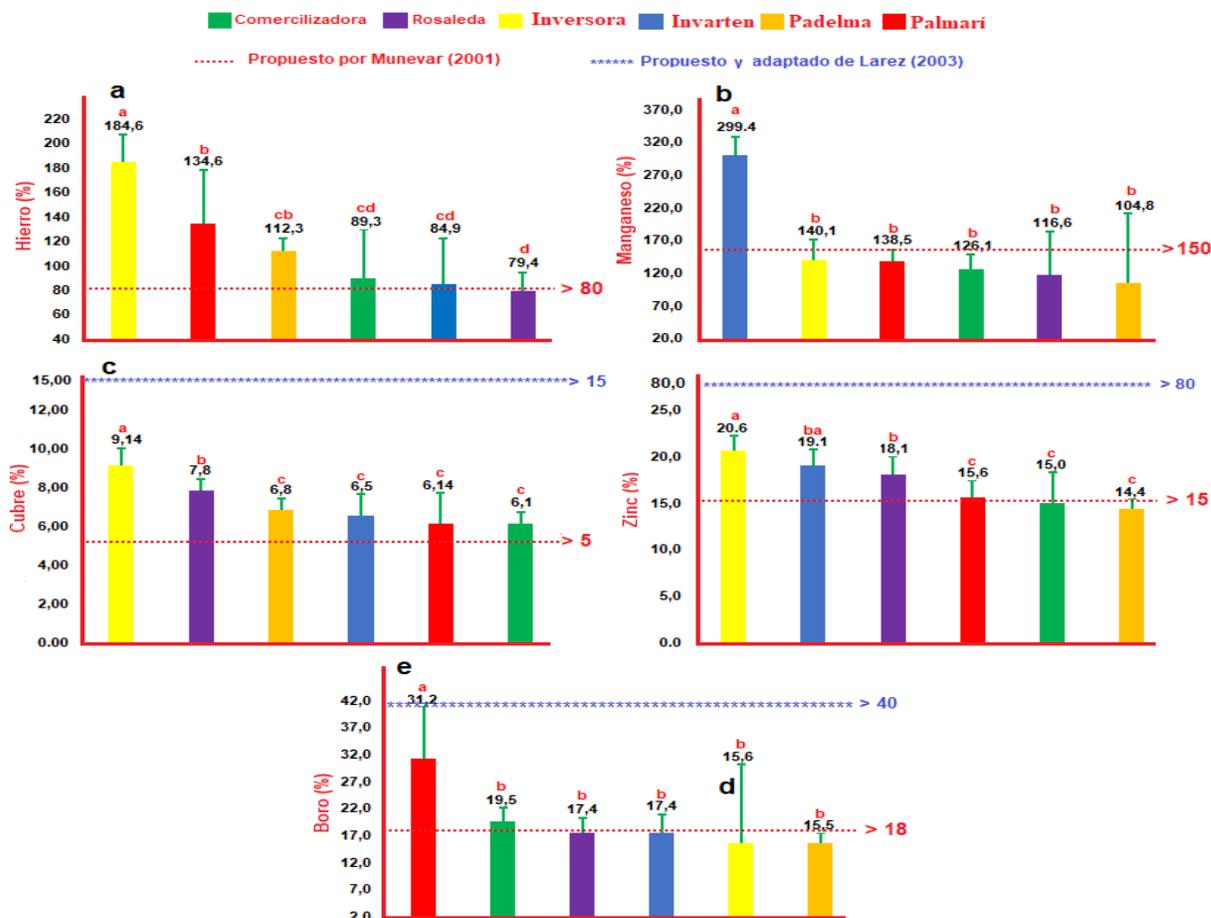


Figura 4.2. Contenido foliar de microelementos en hojas del cultivo de palma africana para el año 2019 en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

4.3.2.3 Cobre. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$) se encontró que el contenido de Cu foliar presentó diferencias significativas entre las fincas (Figura 4.2c). El contenido de Cu foliar fue mayor con $9,14 \text{ mg kg}^{-1}$ en la finca Inversora, que es clasificado como alto y el menor contenido se estableció en la finca Comercializadora con $6,1 \text{ mg kg}^{-1}$ clasificado también como alto de acuerdo Munévar (2001). Behera *et al.* (2015) encontraron contenidos de Cu que oscilaron entre de $7,42$ a $12,9 \text{ mg kg}^{-1}$ en cultivos de palma africana en la India.

Así mismo, en todas las fincas el contenido foliar se encuentra por arriba del nivel crítico de 5 mg kg^{-1} propuesto por Munévar (2001), pero se encuentran por debajo del nivel crítico de 15 mg kg^{-1} propuesto por Larez (2003). Por lo tanto, fisiológicamente los cultivos establecidos en esta finca no deben presentar deficiencia de este elemento, debido a que los contenidos foliares están por arriba del nivel crítico propuesto por Munévar (2001). Pero, si se analiza el nivel crítico propuesto por Larez (2003), todos los cultivos presentan deficiencia,

Por otra parte, estos resultados no están relacionados con los contenidos edafológicos de este elemento, ya que están por arriba del nivel crítico propuesto por Munévar (2001), pero no se correlaciona con el nivel crítico foliar propuesto por Larez (2003). Por lo tanto, es necesario adelantar investigaciones en la zona del caribe, debido a que el nivel crítico del Cu disponible en el suelo propuesto por Munévar (2001), no correlacionan con los contenidos foliares en palma de aceite establecidos en estos suelos. Además, hay que determinar si los muestreos edafológicos y foliares están siendo realizado con rigurosidad, para reducir el riesgo de sesgo de muestreo. Según Fageria (2009) indica que los nutrientes en el suelo y las hojas juegan un papel importante en la determinación de la salud y resistencia a enfermedades de la palma y en la mayoría de las situaciones, un equilibrio de nutrientes tanto en el suelo como en la planta puede mejorar la capacidad de las plantas para resistir enfermedades.

4.3.2.4 Zinc. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p > 0,05$) se encontró que el contenido de Zn foliar presentó diferencias significativas entre las fincas (Figura 4.2d). El contenido de Zn fue mayor con $20,6 \text{ mg kg}^{-1}$ en la finca Inversora, que es clasificado como alto y el menor contenido se estableció en la finca Padelma con $14,4 \text{ mg kg}^{-1}$ clasificado también como medio de acuerdo Munévar (2001). Behera *et al.* (2015) encontraron contenidos de Zn que oscilaron entre de $33,6$ a $58,6 \text{ mg kg}^{-1}$ en cultivos de palma africana en la India.

Así mismo, en todas las fincas el contenido foliar se encuentra por arriba del nivel crítico de 15 mg kg^{-1} propuesto por Munévar (2001), a excepción de la finca Padelma que su nivel se encuentra un poco por debajo, Pero, si estos contenidos foliares se analizan con el nivel crítico propuesto por Larez (2003), se encuentran por debajo del nivel crítico de 80 mg kg^{-1} propuesto por este autor. Por lo tanto, fisiológicamente los cultivos establecidos en esta finca no deben presentar deficiencia de este elemento, debido a que los contenidos foliares están por arriba del nivel crítico propuesto por Munévar (2001). Pero, si se analiza el nivel crítico propuesto por Larez (2003), todos los cultivos presentan deficiencia. La carencia de Zn restringe la síntesis de ARN, lo cual a su vez inhibe la síntesis de proteínas. Además, interviene en la síntesis de auxinas, que son sustancias reguladoras de crecimiento (Bertsch, 1998) y el Zn promueve la síntesis de fitoalexinas para la resistencia y tolerancia de las plantas a patógenos (Fageria *et al.*, 2002).

Así mismo, estos resultados no están relacionados con los contenidos edafológicos de este elemento, ya que están por arriba del nivel crítico propuesto por Munévar (2001), pero no se correlaciona con el nivel crítico foliar propuesto por Larez (2003). Por lo tanto, es necesario adelantar investigaciones en la zona del caribe, debido a que el nivel crítico del Zn disponible en el suelo propuesto por Munévar (2001), no correlacionan con los contenidos foliares, propuesto por Larez (2003) en palma de aceite establecidos en estos suelos. Además, hay que determinar si los muestreos edafológicos y foliares están siendo realizado con rigurosidad, para reducir el riesgo de sesgo de muestreo.

4.3.2.5 Boro. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$) se encontró que el contenido de B foliar presentó diferencias significativas entre las fincas (Figura 4.2 e). El contenido de B fue mayor con $31,2 \text{ mg kg}^{-1}$ en la finca Palmarí, que es clasificado como alto y el menor contenido se estableció en la finca Padelma con $15,5 \text{ mg kg}^{-1}$ clasificado como bajo de acuerdo Munévar (2001). Behera *et al.* (2015) encontraron contenidos de B que oscilaron entre de $5,71$ a 31 mg kg^{-1} en cultivos de palma africana en la India.

Con estos resultados se establece que en las fincas Palmarí y comercializadora el contenido foliar se encuentra por arriba del nivel crítico de 18 mg kg^{-1} y en las fincas Rosaleda, Invarthen, Inversora y Padelma su nivel se encuentra un poco por debajo del nivel crítico propuesto por Munévar (2001). Pero, si estos contenidos foliares se analizan con el nivel crítico 40 mg kg^{-1} propuesto por Larez (2003), se encuentran por debajo del nivel crítico de propuesto por este autor. Por lo tanto, fisiológicamente los cultivos establecidos en esta finca no deben presentar deficiencia de este elemento, debido a que los contenidos foliares están por arriba del nivel crítico propuesto por Munévar (2001). Pero, si se analiza el nivel crítico propuesto por Larez (2003), todos los cultivos presentan deficiencia. Debido a que este elemento es importante, ya que el boro juega un rol primario en la biosíntesis y estructura de la pared celular y en la integridad de la membrana plasmática (Marschner, 2002). Según Fairhurst y Härdter (2003) la deficiencia de boro es el desorden nutricional más común en las plantaciones de palma aceitera alrededor del mundo y la deficiencia de boro causa inhibición de la expansión de las hojas y resulta en el debilitamiento y el doblamiento del cogollo (Läuchli, 2002).

Así mismo, estos resultados no están relacionados con los contenidos edafológicos de este elemento, ya que el nivel crítico propuesto por Munévar (2001) para los contenidos de boro disponible, se encuentran por arriba, pero foliarmente se presenta deficiencia. Además, no se correlaciona con el nivel crítico foliar propuesto por Larez (2003). Por lo tanto, es necesario adelantar investigaciones en la zona del caribe, debido a que el nivel crítico del B disponible en el suelo propuesto por Munévar (2001), no correlacionan con los contenidos foliares, propuesto por Larez (2003) en palma de aceite establecidos en estos suelos. Además, hay que determinar si los muestreos edafológicos y foliares están siendo realizado con rigurosidad, para reducir el riesgo de sesgo de muestreo.

4.3.3 Análisis de varianza para el rendimiento. El análisis de varianza señala que el rendimiento obtenido para este año presentó diferencias estadísticas significativas entre las fincas evaluadas (Figura 4.3), Con estos resultados se establece que en la finca Inversora con $22,4 \text{ t ha}^{-1}$ presenta el mayor rendimiento y el menor rendimiento lo presenta la finca Rosaleda con $15,5 \text{ t ha}^{-1}$. Estos resultados están relacionados directamente con las propiedades químicas ya que un balance nutricional y una oferta de nutrientes en forma oportuna mejoran el área foliar y el rendimiento todo esto acompañado con el manejo agronómico, los cuales pueden incidir en estos rendimientos (Guerrero et al., 2000). Sin embargo, a pesar de que las fincas comercializadora y Padelma presentan altos rendimientos, estas presentan altos niveles de incidencia de pudrición de cogollo. Ruiz y Molina (2014) encontraron en promedio rendimientos de $34,2 \text{ t ha}^{-1}$ en lotes donde hubo una preparación adecuada del suelo, relacionada con el dragado, el arado y la preparación del subsuelo fueron pasos necesarios que permitieron las condiciones adecuadas en el suelo para sustentar el cultivo durante todo su ciclo productivo y Sagarpa (2011), encontraron rendimientos de aproximadamente 20 toneladas de racimos de fruta fresca en el ecuador.

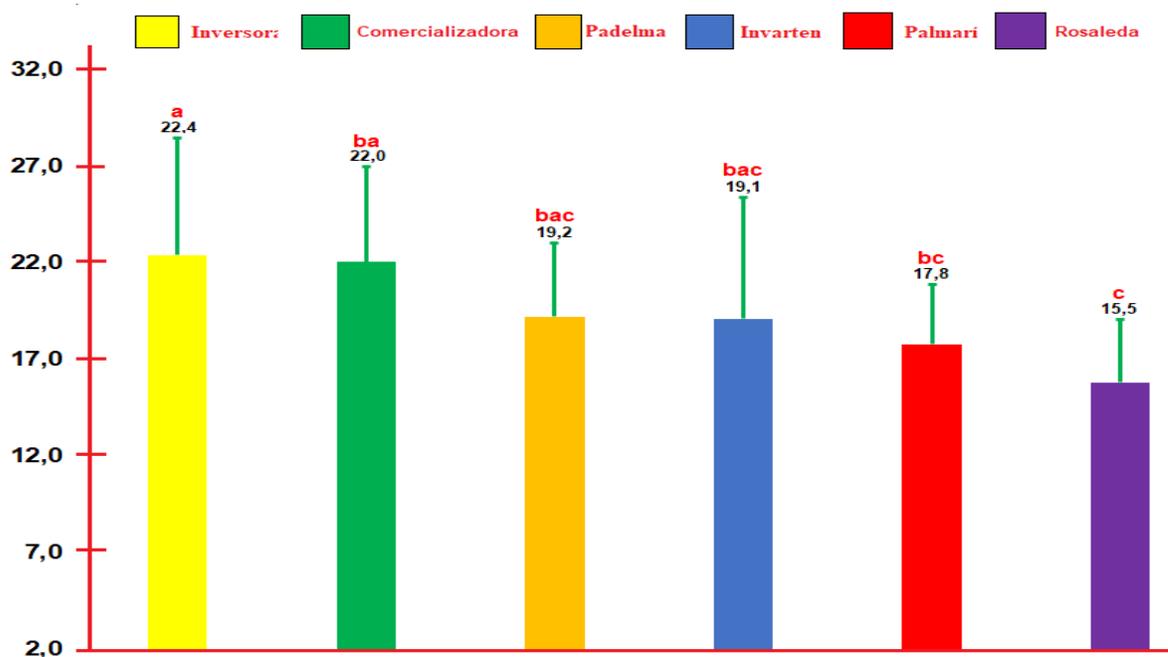


Figura 4.3. Rendimiento total para el año 2019 en el cultivo de palma africana en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

4.3.4 Correlaciones entre las variables químicas del contenido foliar, la PC y el rendimiento en cultivo de palma africana. En la Tabla 4.3 se observan las correlaciones entre los contenidos foliares y la incidencia de PC, donde los coeficientes fueron significativos y oscilaron entre - 0,34* a - 0,02°. Para las correlaciones entre la incidencia de PC y los contenidos foliares de nutrientes fueron negativas y significativas, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de -0,16°, -0,15°, - 0,19*, -0,008*, -0,34* y -0,23* para el N, Ca, Mg, Mn, Cu y Zn foliar. Además, correlaciones positivas con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,27* y 0,02° con el K y B foliar.

Estas correlaciones indican que, a mayor contenido acumulado a nivel foliar de N, Ca, Mg, Cu y Zn, foliar respectivamente. se presenta menor incidencia de PC. De acuerdo con Nur Sabrina *et al.* (2012) el Ca ha suprimido significativamente la incidencia de la enfermedad pudrición de cogollo, debido a que el Ca es importante en la pared celular y ralentiza las reacciones de patógenos con reacciones enzimáticas durante la descomposición de las células debido a que baja el medio donde se reproduce el patógeno. Garbanzo *et al.* (2018) expone que el Ca aumenta la tolerancia a enfermedades foliares en vivero de palma aceitera. De acuerdo con Marschner (1995) y Colhoun (1973) los efectos de los nutrientes en las enfermedades pueden atribuirse al microclima que forman las plantas que pueden influir en su crecimiento, también afecta la infección y la esporulación por el patógeno. Por lo tanto, mantener una nutrición equilibrada es un importante papel en la determinación de la resistencia o susceptibilidad de las plantas a enfermedad (Fageria *et al.*, 2010).

Por otra parte, en este estudio a mayor acumulación de K y B puede presentarse mayor incidencia de PC. Resultados que se pueden explicar desde el punto de vista de las funciones que cumplen estos nutrientes en los metabolismos de los cultivos (Cristancho, 2012). Los resultados encontrados con respecto a la incidencia del K y el B como factor que predispone el cultivo de palma africana han sido contradictorio a lo que señala Hasanuzzaman *et al.* (2018) y Ghorbani *et al.* (2008) quienes plantean que debido a que el K tiene una importante participación en el metabolismo y crecimiento de la planta se reduce la susceptibilidad ante las enfermedades y Fageria *et al.* (2002), indican que cantidades suficientes de B en las plantas reduce la incidencia y severidad de enfermedades, mientras que la deficiencia de B lo incrementa. Munévar (2004) manifiesta que los desbalances entre N y K, entre Ca y B y entre los elementos Ca, Mg y K propician el desarrollo de la enfermedad y han mostrado cómo el manejo integral de la nutrición debe hacer parte de las estrategias de manejo integrado de la Pudrición de Cogollo.

Por otra parte, para el rendimiento, se observan las correlaciones entre los contenidos foliares y el rendimiento, donde los coeficientes fueron significativos y oscilaron entre 0,32** a 0,11° (Tabla 4.4).

Tabla 4.3. Correlaciones lineales de Pearson entre los contenidos químicos del suelo, foliares y la incidencia de la pudrición del cogollo en el cultivo de palma africana, en diferentes fincas del municipio de Zona Bananera del Magdalena.

	N	p	Kf	Caf	Mgf	Fef	Mnf	Cuf	Znf	B	Inc
N	1	0,6	0,1	-0,35	-0,06	-0,07	0,03	-0,19	-0,04	0,16	-0,16
		**	*	*	°	°
pf		1	0,18	-0,24	-0,19	-0,26	0,24	-0,25	0,16	0,13	0,07
			*	*	*	*	*	*	°
Kf			1	-0,19	-0,42	0,05	-0,177	-0,41	-0,21	0,13	0,27
				*	**	*	**	*	*
Caf				1	-0,01	0,16	-0,12	0,22	0,22	-0,06	-0,15
					°	*	*	°
Mgf					1	-0,16	-0,02	0,09	0,09	-0,005	-0,19
						°	*
Fef						1	-0,06	0,28	0,33	0,003	-0,1
							*	*
Mnf							1	-0,02	-0,01	0,05	-0,008
								*
Cuf								1	0,5	-0,17	-0,34
									**	°	*
Znf									1	0,09	-0,23
										*
B										1	0,02
											°

Coefficientes significativos: * = 1%; ** =5%; ° = 10%

En relación a las correlaciones entre los rendimientos y los contenidos foliares de nutrientes se encontró que fueron positivas y significativas, con un coeficiente de correlación medio de Pearson de 0,11°, 0,32**, 0,13* y 0,15* para el N, P, K y Zn foliar. Además, correlaciones negativas con un coeficiente de correlación medio de Pearson de -0,11° y 0,17*° con el Mg y B foliar.

Estas correlaciones indican que, a mayor contenido acumulado a nivel foliar de N, P, K y Zn foliar, se presenta mayor rendimiento. Según Parry *et al.* (2005) los niveles de N, P₂O₅, K₂O y agua se consideran los principales factores limitantes en el crecimiento, desarrollo y finalmente rendimiento económico. El nitrógeno (Almodares *et al.*, 2008) es el elemento nutritivo más importante en términos del crecimiento, fisiología y contenido de carbohidratos de las plantas.

Fita *et al.* (2011) indican que el fósforo es el segundo nutriente más limitante en la producción de cultivos, desempeñando su papel más crítico en las plantas en la transferencia de energía y almacenaje, además es un componente estructural de los ácidos nucleicos, nucleótidos y coenzimas participa en procesos de división celular (Mengel y Kirkby, 2001). Por otra parte, el potasio es crucial para el crecimiento de la planta, desarrollo, defensa, señalización, procesos de transporte (Demidchick, 2014), mejora la absorción de agua y nutrientes, participa en la síntesis de celulosa y se involucra en la resistencia inducida ante ataque de patógenos (Lawrence *et al.*, 2007). También desempeña un importante rol en el mantenimiento del potencial osmótico y absorción de agua (Hawkesford *et al.*, 2012). Ha sido implicado en cerca de 60 reacciones enzimáticas, las cuales están implicadas en muchos procesos en la planta,

tales como fotosíntesis, respiración, metabolismo de carbohidratos, translocación y síntesis de proteínas (Dong *et al.*, 2010) Así mismo, la nutrición adecuada de K también se ha asociado con mayores rendimientos, tamaño de la fruta, mayor cantidad de sólidos solubles (Kanai *et al.*, 2007).

Sin embargo, a mayor acumulación de Mg y B se presentará menor rendimientos. Resultados que se pueden explicar desde el punto de vista de las funciones que cumplen estos nutrientes en los metabolismos de los cultivos, las funciones en las que participa el B incluyen el transporte de azúcares, lignificación de la pared celular, estructura de la pared celular, metabolismo de los carbohidratos, metabolismo del ARN, respiración, metabolismo del AIA, metabolismo de los fenoles, función de la membrana, fijación de N₂, metabolismo de ascorbato y disminución de la toxicidad del Al, (Marschner, 1995) en cuanto al Mg es un componente específico de la clorofila (porfirina magnésica) en la que un átomo de magnesio está ligado a cuatro anillos pirrólicos (Wild y Jones, 1992). Cumple un rol específico como activador de enzimas envueltas en la respiración, fotosíntesis y síntesis de ADN y ARN (Taiz y Zeiger, 2006). Actúa como cofactor de la mayor parte de las enzimas que intervienen en la fosforilación, y su importancia es grande en la transferencia de la energía (Wild y Jones, 1992)

Tabla 4.4. Correlaciones lineales de Pearson entre los contenidos químicos foliares y la incidencia de la pudrición del cogollo en el cultivo de palma africana, en diferentes fincas del municipio de Zona Bananera del Magdalena.

	N	p	Kf	Caf	Mgf	Fef	Mnf	Cuf	Znf	B	Rend
N	1	0,71 **	0,42 **	0,016	-0,05	0,003	-0,018	0,18 *	0,16 *	-0,014	0,11 °
p		1	0,49 **	0,05	-0,07	0,03	0,02	0,25 **	0,33 **	-0,04	0,32 **
Kf			1	-0,06	-0,41 **	0,26 **	-0,44 **	0,37 **	0,18 *	-0,02	0,13 *
Caf				1	0,2 *	-0,05	0,32 **	0,31 **	0,36 **	-0,19 *	0,02
Mgf					1	-0,012	0,36 **	0,05	0,15 *	-0,032	-0,11 °
Fef						1	-0,069	0,48 **	0,46 **	0,004	0,09
Mnf							1	-0,06	0,29 **	0,008	-0,03
Cuf								1	0,69 **	-0,2 *	-0,03
Znf									1	-0,04	0,15 *
B										1	-0,17 *

Coefficientes significativos: * = 1%; ** = 5%; ° = 10%

4.4 CONCLUSIONES

- Los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio a nivel foliar están por debajo de los valores críticos, para el caso del calcio este presentó altos niveles que sobrepasaron el nivel crítico para el cultivo de palma de aceite, el desequilibrio entre el potasio y sus relaciones con el magnesio y el calcio pueden estar asociados íntimamente con la incidencia de la pudrición del cogollo.
- Existe una correlación negativa entre el contenido los contenidos foliares de P, K y Mg y los contenidos edafológicos que presentan los suelos.
- El contenido de hierro, cobre y zinc a nivel foliar se establecieron como altos, encontrándose por encima de los niveles críticos en la mayoría de las fincas estudiadas.
- Los mayores rendimientos se presentaron en la finca Inversora y comercializadora con 22,4 y 22 t ha⁻¹ y los de menores rendimiento se dieron en la finca Palmari y Rosaleda con 17,8 y 15,5 t ha⁻¹.

•□ A mayor contenido acumulado a nivel foliar de N, Ca, Mg, Cu y Zn, se presenta menor incidencia de PC, pero a mayor acumulación de K y B se presentará mayor incidencia de PC en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

•□ A mayor contenido acumulado a nivel foliar de N, P, K y Zn foliar, se presenta mayor rendimiento, sin embargo, a mayor acumulación de Mg y B se presentará menor rendimientos, en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

4.5 LITERATURA CITADA

Almodares, A., Taheri, R., Chung, I. y Fathi, M. (2008). The effect of nitrogen and potassium fertilizers on growth parameters and carbohydrate contents of sweet sorghum cultivars. *Journal of Environmental Biology*, 29, 849-852. PMID:19297978.

Arbeláez, T. (2011). Carnation vascular diseases in Colombia and in the world. *Colombian Agronomy*; 10 (1): 12-18.

Aslam., Horwath. y VanderGheynst. (2008). Comparison of several maturity indicators for estimating phytotoxicity in compost-amended soil. *Waste Management*, 28(11), 2070-2076.

Behera, S., Rao., K., Suresh, K. y Manoja. (2015). Soil Nutrient Status and Leaf Nutrient Norms in Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Plantations Grown on Southern Plateau of India. *Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol. Sci.* DOI 10.1007/s40011-015-0508.

Barra, J. (1999). Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 209-219.

Benton, J. (2003.) *Agronomic Handbook*. crcPress, New York

Bertsch, F. (2006). El recurso tierra en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 30(1):133-156.

- Bertsch, F. (2009). Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 308 p.
- Boussadia, O., Steppe, K., Zgallai, H., El Hadj, S., Braham, M., Lemeur, R., y Van Labeke, M. (2010). Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars 'Meski' and 'Koroneiki'. *Scientia Horticulturae*, 123(3), 336-342.
- Boulter, J., Trevors, J. y Boland, G. (2006). A polyphasic approach for assessing maturity and stability in compost intended for suppression of plant pathogens. *Applied Soil Ecology*, 34(1), 65-81.
- Caliman, J., Fairhurst, T., Hardter, R. y Witt, C. (2005). Desórdenes nutricionales y manejo de nutrientes (No. L-0753). Centro Francés de Investigación Agrícola para el Desarrollo Internacional, CIRAD CPT Holdings International Plant Nutrition Institute, IPNI.
- Calvache, M. (2008). Fertirrigación en palma aceitera. In. *Memorias del Seminario Internacional Nutrición y Manejo de la Palma Aceitera*. Santo Domingo de los Tsáchilas, EC: IPNI-SECS.
- Ceballos, G., Álvarez, E. y Bolaños, M. (2014). Reducción de poblaciones de *Ralstonia solanacearum* raza 2 (Smith) en plátano (*Musa AAB Simmonds*) con aplicación de extractos de *Trichoderma* sp. (*Alexopoulos* y *Mims*) y bacterias antagonistas. *Acta agrónomica*, 63(1), 80-87.
- Chinchilla, C. (2004). Curso Internacional de la palma aceitera ASD. Costa Rica. Agosto-septiembre. *Enfermedades de la Palma aceitera*, 25-29.
- Cristancho, J. A., Alfonso, O. A. y Molina, D. L. Revisión de literatura sobre el papel del suelo y la nutrición de plantas en la Pudrición del cogollo de la palma de aceite *The Role of Soil and Plant Nutrition on Oil Palm Bud Rot Disease: a Review*. v. 33, no. 2 (2012), p. 9-220121-2923, (A-).
- Colhoun, J. (1973). Effects of environmental factors on plant disease. *Annual Review of Phytopathology Journal*. 11, 343-364.
- Czeschlik, D. (2005). *Nutrient acquisition by plants*. Springer. Berlin, Alemania. 348 p.
- Datnoff, L., Elmer, W. y Huber, D. (2007). *Mineral nutrition and plant disease*. American Phytopathological Society.
- Del Amor, F. y Marcelis, L. (2004). Regulation of K uptake, water uptake, and growth of tomato during K starvation and recovery. *Scientia horticulturae*, 100(1-4), 83-101.
- Díaz, D. (2006). Incidencia actual de pudrición del cogollo en la zona oriental. *Memorias del Curso taller sobre "Manejo de factores predisponentes para el control de la pudrición de cogollo en cultivos de palma de aceite Villavicencio*.

- Elmer, W. (2007) chlorine and plant disease, in L E Datnoff W.H Elmer and D M huber (eds) mineral nutrition and plant disease. The american phytopathological societi
- Fageria, N, Baligar, V. y Jones, C. (2010). Crecimiento y nutrición mineral de cultivos extensivos. Prensa CRC.
- Fageria, N. (2009). The use of nutrients in crop plants. CRC Pres.
- Fageria, N., Baligar, V. y Clark, R. (2002). Micronutrients in crop Production. Elsevier Science, USA. 229 p.
- Fairhurst, T. y Härdter, R. (2003). Oil palm: management for large and sustainable yields. Potash & Phosphate Institute.
- Fita, A., Nuez, F. y Picó, B. (2011). Diversity in root architecture and response to P deficiency in seedlings of *Cucumis melo* L. Euphytica, 181, 323-339. <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-011-0432-z..>
- Fassbender, H. y Bornemisza, E. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. lica.
- Foth, H. y Ellis, B. (1997). Soil fertility. 2. ed. Boca Raton, Lewis Publishers, 290 p.
- Fernández, L., Zalba, P., Gómez, M. y Sagardoy, M. (2005). Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. Ciencia del suelo, 23(1), 31-37.
- Garbanzo, G., Molina, E., Cabalceta, G., Serrano, E. y Ramírez, F. (2018). Si evaluation applied to soil in the growth, nutrient uptake and diseases severity in oil palm nursery. Agronomía Costarricense, 42(1), 91-114.
- Garzón, E., Munévar, F. y Fino, W. (2005). Diversidad de suelos en la región palmera de Puerto Wilches y San Vicente de Chucurí, departamento de Santander (Colombia). Revista palmas, 26(4), 11-23.
- Ghorbani, R., Wilcockson, S., Koocheki, A. y Leifert, C. (2009). Soil management for sustainable crop disease control: a review. Organic farming, pest control and remediation of soil pollutants, 177-201
- Goh, K., Hardter, R., Fairhurst, T. (2003) Fertilizer for maximum return. In: Fairhurst TH, Hardter R (eds) Oil palm: management for high and sustainable yields. Potash and phosphate Institute, Potash and Phosphate Institute of Canada, International Potash Institute, Singapore, pp 279–306.
- Guo, S., Zhou, Y., Gao, Y., Li. y Q, Shen. (2007). New insights into the nitrogen form effect on photosynthesis and photorespiration. Pedosphere 17(5), 601-610.
- Guerrero, R., Montenegro, G. y Ross., M. (2000) Fertilización con magnesio, para más y mejores rendimientos en papa (No. Doc. 18218/2000) CO-BAC, Bogotá).

- Hao, X. y Papadopoulos, A. (2004). Effects of calcium and magnesium on plant growth, biomass partitioning, and fruit yield of winter greenhouse tomato. *HortScience*, 39(3), 512-515.
- Hasanuzzaman, M., Borhannuddin, M., Kamrun D. y Hossain, S. (2018). Jubayer Al Mahmud, Md. Shahadat Hossen, Abdul Awal Chowdhury Masud, ID Moumita, Masayuki Fujita. *Agronomy*, 8, 3
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S. y Nelson, W. (1999). *Soil fertility and fertilizers; an Introduction to Nutrient management*. 6. ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, 499 p.
- Hermans, C., Hammond, J., White, P. y Verbruggen, N. (2006). How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends in plant science*, 11(12), 610-617.
- Huber, D. (1997). Manejo de la nutrición para el combate de patógenos de plantas. *Agronomía costarricense*, 21(1), 99-102
- Huber, D. (2007). Nitrogen and plant disease. *Mineral nutrition and plant disease*, 31-44.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2006). *Métodos analíticos de laboratorio de suelos*. 6 ed. IGAC, Bogotá. 513 p.
- Kanai, S., Ohkura, K., Adu-Gyamfi, J., Mohapatra, P., Nguyen, N., Saneoka, H. y Fujita, K. (2007). Depression of sink activity precedes the inhibition of biomass production in tomato plants subjected to potassium deficiency stress. *Journal of Experimental Botany*, 58(11), 2917-2928.
- Laing, D. (2009). La causa de pudrición de cogollo (PC) en palma de aceite hipótesis abiótica-edáfica (No. D-1840). Douglas Laing.
- Larez, C. (2003). *Agricultura fondos para la investigación de palma*. Primera Edición, Bogotá, Edinum, 2003.
- Läuchli, A. (2002). Functions of boron in higher plants: recent advances and open questions. *Plant Biol.* 4:190-192.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd ed. Academic Press, New York, U.S.A., pp. 436–460.
- Marschner, P. (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. 3tr ed London. Elsevier.
- Marschner, H. (2002). *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, Londres. 889
- Martínez, F., Bautista. y Arias, N. (1998). Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite. Cenipalma.

- Moreno, L. (1996). Uso del DRIS para determinar necesidades de fertilización de *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham. en vivero.
- Mesa, J. (2013). La Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia.
- Munévar, F. (2001). Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. *Revista Palmas*, 22(4), 9-17.
- Munévar, F. (2004). Relación entre la nutrición y las enfermedades de las plantas. *Revista Palmas*, 25(especial,), 171-178.
- Martínez, J., Fernández, T. y Aguirre, S. (2020). Potential Infiltration Determination in Areas of Influence of the Zona Bananera Aquifer in Northern Colombia. *Facultad de Ingeniería*, 29(54), 27.
- Mengel, K., Kirkby, E., Kosegarten, H., Thomas, A. (2001). Chapter 1. Plant Nutrient.
- Mutert, E. (1998). El potasio en la palma aceitera (No. A-0133).
- Naranjo, V. (2018). Evaluación del efecto de diferentes manejos de nutrición y sombra sobre la resistencia fisiológica de la planta de café (*Coffea arabica*) a la roya (*Hemileia vastatrix*), en discos de hoja en condiciones controladas de laboratorio (Doctoral dissertation, CATIE).
- Ng, P., Gan, H. y Goh, K. (2012). Soil nutrient changes in Ultisols under oil palm in Johor, Malaysia. *Journal of Oil Palm, Environment and Health (JOPEH)*, 2.
- Nieto, L., Gómez, P. y Lozano, C. (1996). Identificación y reproducción del complejo pudrición de cogollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Revista Palmas*, 17(2), 63-67.
- Nur, Sabrina, A., Sariah, M. y Zaharah, A. (2012). Suppression of Basal Stem Rot Disease Progress in Oil Palm (*Elaeis guineensis*) after Copper and Calcium Supplementation. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 35.
- Oliveros, M., Arbeláez, J., Gustavo, H. y Ariza, W. (2018). Importancia de la nutrición mineral balanceada en cultivos: clave en el manejo fitosanitario.
- Parry, M., Flexas, J. y Medrano, H. (2005). Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*, 147(3), 211-226.
- Ratto, S. (2006). Los microelementos en el sistema productivo del área pampeana. Pp 79-112. En: M Vázquez (ed). *Micronutrientes en la agricultura*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207pp.
- Recalde, F. y Calvache, M. (2008). Evaluación de diferentes sistemas de mantenimiento en la corona de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) sobre la absorción del potasio la concordia–esmeraldas. In Conferencia: XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia y el Suelo. Quito-Ecuador. 8p.

- Ruiz, E. y López, D. (2014). Revisión de literatura sobre beneficios asociados al uso de coberturas leguminosas en palma de aceite y otros cultivos permanentes. *Revista Palmas*, 35(1), 53-64.
- SAGARPA, (2007). Región 01 Centro de Chiapas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/chiapas/ganaderia/acerca-hist>. Fecha de consulta 07 de junio de 2008.
- Sami, F., Yusuf, M., Faizan, M., Faraz, A. y Hayat, S. (2016). Role of sugars under abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109, 54-61.
- Suresh., Akkineni. y Nair. (1996). Relationship between leaf nitrogen and photosynthetic characteristics in *Brassica juncea* and *B. campestris*. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 177(2), 107-113.
- Salisbury, F. y Ross. (1994). *Fisiología vegetal*. Cuarta edición. Grupo Editorial Iberoamérica, México D.F. 759 p.
- Salt, D. (2004). Update on plant ionomics. *Plant Physiol.* 136, 2451-2456.
- Sinha, P., Dube, B. y Chatterjee, C. (2003). Phosphorus stress alters boron metabolism of mustard. *Communications in soil science and plant analysis*, 34(3-4), 315-326.
- Slobbe, W. (1988). Amarillamiento, un trastorno de la palmera africana, y otros problemas fitosanitarios, en el Ecuador Occidental.
- Smith, F. y Loneragan, J. (1997). Interpretation of plant analysis: concepts and principles. In 'Plant analysis: an interpretation manual'.(Eds DJ Reuter, JB Robinson) pp. 3-33.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (1998). *Plant physiology*. 2nd ed Sinauer Associates. Inc., Publ. Saunderland, Massachusetts. 792p.
- Tripler, C., Kaushal, S., Likens, G. y Walter, M. (2006). Patterns in potassium dynamics in forest ecosystems. *Ecology Letters*, 9, 451-466. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00891.x>.
- Torrez, V. (1997). *Manual Internacional de fertilidad de suelos*. Instituto de la Potasa y el Fósforo AC INPOFOS, 163.
- Thompson, L. (2021). *Los suelos y su fertilidad*. Reverté.
- Veronica, N., Subrahmanyam, D., Kiran, T., Yugandhar, P., Bhadana, V., Padma, V. y Voleti, S. (2017). Influence of low phosphorus concentration on leaf photosynthetic characteristics and antioxidant response of rice genotypes. *Photosynthetica*, 55(2), 285-293.

Viteri, R., Méndez Z. y Villamil C. (2012). Verification of alternatives for sustainable onion production (*Allium cepa* L.) in Cucaita, Boyaca. *Agronomía colombiana*, 30(1), 124-132.

William, A. Jury, R., Gardner. y Walter H. (1991). *Soil physics*. 5th ed.

White, P.y Broadley M. (2003). Calcium in plants. *Annals of Botany*. 92:487-511.

DISCUSIÓN GENERAL

En relación a la descripción de los perfiles modales, en nivel de incidencia 0 o testigo se encontraron los horizontes Ap de 0-25 cm, en el lote I y Ap de 0-23 cm en el Lote II. y los colores más habituales fue el marrón grisáceo muy oscuro con moteada oliva en el lote I y gris muy oscuro con moteado marrón amarillento oscuro para el lote II. Por lo generalmente, estos colores oscuros en el horizonte pueden ser producto del tiempo de saturación de los suelos y depósito de material vegetal y animal que al descomponerse contribuyen con diferentes compuestos orgánicos en los horizontes superiores en cuanto a la estructura en este horizonte es blocosa sub angular de tamaños medios y finos fuertemente desarrollada; la consistencia en húmedo es friable y en mojado fue plástica y pegajosa en los lotes. Por su parte la textura franco arcillosa es la más común en este horizonte.

Al respecto, Koppitz (2004) indica que, bajo condiciones de inundación, el aire en los poros del suelo es desplazado por el agua y el poco oxígeno existente es consumido rápidamente por la respiración de las raíces y la respiración microbial y los procesos de oxigenación, que afectan el metabolismo de las plantas (Kulichikin *et al.*, 2008). En este sentido también Kozlowski y Pallardy (1997) menciona que los efectos nocivos del del anegamiento sobre las plantas reduce el crecimiento del tallo y de las raíces, cambios en la toma de nutrientes y en la traslocación de los carbohidratos, además el incremento de su senescencia y la mortalidad.

Para el caso de nivel de incidencia bajo (I). el perfil del suelo mostró horizontes con una textura franco arenoso y franco arcillo limosa, con estructura en bloques subangulares

de medios a finos en los horizontes superficiales y en bloques angulares a subangulares de medianos a grandes en los horizontes subsuperficiales de mayor profundidad. Además, la consistencia en húmedo fue poco friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica. Los horizontes muestran colores grises muy oscuro en el primer horizonte Ap (0 - 16 cm) para el lote 1, y Ap (0 - 22 cm), color marrón grisáceo muy oscuro para el lote 2. En el horizonte Bg (16 – X cm), presentó color negro, con moteados de color marrón amarillento para este horizonte en el lote 1, y Bdg (22 - x cm) con color rojo amarillento y moteado gris muy oscuro para el horizonte en el lote 2. Esto se debe condiciones hidromórficas que se presentan en los lotes de origen natural y artificial, con carácter temporal, que provocan condiciones alternantes de oxidación-reducción. Así mismo, la alta compactación que existe en los horizontes, reduce la salida de agua vía lixiviación, ocasionando la retención de humedad que conlleva a reducción del hierro y el manganeso (Bacha, 2002; Kimura, 2000). Por otro lado, Stolzy (1967) observo que el anegamiento en los suelos tiende a incrementar los niveles foliares de Fe y Mn lo que atribuyeron a la forma reducida de estos dos iones en los suelos hipóxicos favoreciendo la absorción y metabolización por las plantas. El anegamiento de lo suelo genera problemas que inician con cambios a nivel del suelo como es el cambio de la acidez, las relaciones entre cationes y la reducción del hierro, lo que promueve las deficiencias nutricionales y la producción de sustancias de sustancias toxicas, además el reducido o nulo contenido de oxígeno en el suelo (González *et al.*, 2006).

Para los Nivel de incidencia media (II). De los horizontes estudiados del lote I y II en el nivel de incidencia medio, presentaron textura franca arcillosa y franco limosa en los horizontes Ap (0 – 25 cm) y en Bw (25 - X cm de profundidad). la estructura presenta en bloques angulares a sub angulares de tamaños finos a medianos y en algunas excepciones bloques grandes y de grado fuerte y la consistencia en el lote 1 es muy plástica y pegajosa. para horizonte Bd del Lote II (26 -X cm) contiene mayor porcentaje de arcillas y limo, lo que puedes estar ocasionado el grado de compactación encontrado. En general se encontró que de las observaciones realizadas los suelos presentan matriz gleizada (Bacha, 2002) y Kimura (2000), de acuerdo con la la Taxonomía de Suelos (USDA, 2003) los suelos que presentan por lo menos la parte superior del suelo saturados periódicamente y estar reducido o sea haber perdido su oxígeno tienen características de hidromorfismo o redoximórficas, esto es, colores grises, verdosos o azulosos con predominio de croma de 2 ó menos, con o sin moteado de colores amarillos y rojizos y presencia de nódulos y/o concreciones de hierro y manganeso dentro de ciertas profundidades, el origen del mal drenaje usualmente es una combinación de factores, prácticamente es común a todos los casos la existencia de terrenos planos o cóncavos que dificulten la rápida evacuación de los excesos de humedad.

Para el Nivel de incidencia alta (III). Se pudo determinar que en el lote 1, el horizonte superficial Ap (0 - 23 cm), y para el lote 2 con horizonte Ap (0 -16 cm) predominan las texturas franco limosas, franco arcillosas y franco arcillo limosas), mientras que para la profundidad interior en el horizonte Bd (23 - X cm) predominan las texturas franco arcillo limosa, arcillosa y franco arcilloso. De acuerdo a los Resultados obtenidos por Pla (2010) y Bravo *et al.* (2008) la textura del suelo representa una variable trascendental ya que está vinculada con otros parámetros físicos, químicos y biológicos como por ejemplo la densidad aparente, la retención de humedad, la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad de nutrientes, la porosidad, y la actividad biológica

De acuerdo con Jiménez *et al.* (2010), el suelo durante su formación adquiere diferentes tipos de textura y estructura dependiendo de múltiples factores como el contenido y tipo de arcilla esto hace que sean unas de las características más importantes dentro del recurso suelo, ya que influye en el movimiento del agua y la retención hídrica, el drenaje, la aireación, la penetración de las raíces, el ciclo de nutrientes, y en consecuencia sobre el rendimiento de los cultivos.

En cuanto a los resultados obtenidos de la variable de densidad aparente en los diferentes grados de severidad en la finca Padelma se encontró que el incremento en los grados de severidad de la enfermedad pudrición de cogollo, no tienen una relación directa con la densidad del suelo en esta localidad. De acuerdo (Munévar *et al.*, 2001) algunas propiedades físicas del suelo ayudan la incidencia de la PC, y entre las características físicas se encuentran el contenido de humedad, densidad aparente, textura y tipo de arcilla. De acuerdo con Gutiérrez (2017) en los suelos con nivel de incidencia baja de PC presentan densidad aparente menor a $1,59 \text{ g cm}^{-3}$, para nivel de incidencia media densidad de $1,61 \text{ g cm}^{-3}$ y aquellos con nivel de incidencia alta a muy alta, valores mayores a $1,64 \text{ g cm}^{-3}$. Esto Significa que el aumento de la densidad del suelo limita el crecimiento de las plantas al restringir físicamente el desarrollo de las raíces, haciendo que estas crezcan horizontalmente en las capas superiores del suelo, impidiendo el acceso al agua y los nutrientes almacenados en las profundidades del suelo generando así que la planta se torne susceptible al ataque de patógenos como es el caso de la pc en palma africana (Hills *et al.*, 1998). De acuerdo con Higuera y Sánchez (2012) los extremos texturales (arcilla y arena) son factores que limitan el crecimiento de la raíz, y que los suelos con las estructuras pesadas se presenta alta densidad aparente y resistencia a la penetración de las raíces, lo que restringe la disponibilidad del agua y absorción de los nutrientes por parte de la planta esto hace que esta tenga una predisposición al ataque que de patógenos.

Para el caso de la variable de la resistencia a la penetración en diferentes profundidades en el lote 1 los resultados obtenidos, indican que entre los diferentes grados de severidad se encontró diferencias estadísticas con respecto a la resistencia a la penetración para las profundidades de 10, 20 y 30 centímetro.

En relación a la profundidad de 10 centímetros, se encontró que la menor resistencia a la penetración con 1,57 Mpa la presentó el testigo, o sea sin presencia de Pudrición del cogollo (PC). A esta profundidad la máxima resistencia a la penetración se encontró en los grados de severidades 1 y 3 con 3,81 Mpa, De acuerdo con Zou et al. (2001) y Atwell (1993), la elongación radical decrece exponencialmente con el aumento de la resistencia del suelo y para una resistencia de 1,3 hasta 2 MPa la elongación máxima se redujo a la mitad. Los suelos compactados son menos favorables para el alargamiento de las raíces, ya que podrían limitar la cantidad de suelo explorados por las raíces en comparación con los del suelo no compactado, en suelos más compactados el crecimiento de raíces se restringe debido a una mayor resistencia a la penetración del suelo y la reducción de macroporo, esto hace que el crecimiento de la raíz disminuyó a medida que las raíces tienen que ejercer una mayor fuerza para penetrar a través del suelo mientras buscan agua y nutrientes (Zuraidah *et al.*, 2010).

Para la profundidad de 20 cm se encontró que la menor resistencia a la penetración con 2,01 Mpa la presentó el testigo sin PC. A esta profundidad la máxima resistencia a la penetración se encontró en los grados de severidades 1 y 3 con 4,0 y 4,14 Mpa. Estos resultados también se encuentran por arriba de los expuestos por Keisuke *et al.* (2017). Finalmente, para la profundidad de 30 cm la mínima resistencia se encontró en el grado de severidad 2 y los máximos valores en el grado 1 y 3 con 3,54 y 4,11 Mpa. Valores que son mayores a los expuestos como críticos para el crecimiento de raíces por parte de Keisuke *et al.* (2017). Según Forsythe *et al.* (2005) determinaron como valor crítico de resistencia a la penetración, un valor de 2,75 MP, que afecta el rendimiento en el cultivo de maíz.). De acuerdo a lo mencionado por Palacio *et al.*, (2018) el valor crítico en la mayoría de los casos se presenta en rango de 1000 a 2000 kPa, alrededor de estos valores se inician problemas de compactación en el suelo y dificultades para el desarrollo de la cabellera radicular.

Por su parte, según Gutiérrez Rodríguez Francisco *et al.*, (2012) la alteración en incremento de la densidad aparente y la disminución del espacio poroso da como consecuencia el incremento de valores de la resistencia a la penetración del suelo, siendo esto un indicativo de problemas de compactación, En este sentido es importante resaltar, que de acuerdo el aumento de la densidad aparente y de la resistencia a la penetración a mayor profundidad del perfil de suelo son factores para determinar compactación, disminuyendo la capacidad de intercambio gaseoso y retención de humedad, dificultando el desarrollo radicular del cultivo (Elisei, 2017). De acuerdo con Rojas y Resl, (2013) las excelentes condiciones de porosidad, aireación y estructura del suelo en profundidades de 45- 60cm del perfil pueden llegar a encontrarse un 79 y 88% de raíces del cultivo, llegando a extender la cabellera radicular a más profundidades.

De acuerdo con la variable resistencia a la penetración en diferentes profundidades en el lote 2. Los resultados obtenidos indican que entre los diferentes grados de severidad

se encontró diferencias estadísticas ($p \leq 0,01$) con respecto a la resistencia a la penetración para las profundidades de 10, 20 y 30 centímetros, en la profundidad de 10 centímetros, se encontró que la menor resistencia a la penetración con 3,03 Mpa la presentó el testigo sin PC. A esta profundidad la máxima resistencia a la penetración se encontró en los grados de severidades 1 y 2 con 4,81 y 5,0 Mpa, con relación a la profundidad de 20 cm se encontró que la menor resistencia a la penetración con 2,96 Mpa la presentó la severidad grado 3. A esta profundidad la máxima resistencia a la penetración se encontró en los grados de severidades 1 y 2 con 4,94 y 5,0 Mpa, y finalmente, para la profundidad de 30 cm la mínima resistencia se encontró en el grado de severidad 3 con 2,79 Mpa y los máximos valores en el grado 1 y 2 con 4,58 y 5,0 Mpa. Estos datos indican que a esta profundidad la resistencia a la penetración es limitante al desarrollo radicular, y son mayores a 3,5 Mpa, que son expuestos como críticos por Keisuke *et al.* (2017). Según Cortez *et al.* (2018) valores superiores a 1000 kPa representa una señal de problemas de compactación y origina una impedancia mecánica para la exploración y desarrollo de las raíces. De acuerdo con lo hallado por Gutiérrez (2017) en estableció que la frontera de desarrollo de las raíces esta entre el rango de los 3,0 y 3,5 MPa.

Para el caso de la variable de resistencia a la penetración a diferentes profundidades en la zona de plateo en los diferentes grados de severidad. Se observa que en la severidad testigo hubo una respuesta lineal significativa a la resistencia a la penetración en la profundidad de 10 cm en el lote uno y el lote dos la profundidad de 20 cm, para la severidad con grado 1 en el lote uno no hubo respuesta significativa en los coeficientes de los modelos lineales que describen la tendencia a la resistencia a la penetración, mientras que para el lote dos solo hubo respuesta lineal significativa para a la profundidad de 20 cm, Por otra parte, para la severidad con grado 2, se encontró respuesta lineal significativa para las tres profundidades en el lote 1, y en el lote 2 no hubo respuesta, y finalmente para la severidad grado tres en el lote 1 no hubo respuesta significativa de los coeficientes en los modelos lineales que describen la tendencia a la resistencia a la penetración y para el lote 2 se encontró respuesta a las profundidades de 20 y 30 cm, la tendencia a la resistencia a la penetración y para el lote 2 se encontró respuesta a las profundidades de 20 y 30 cm. En relación a los grados de severidad y el testigo, se observa en la figura 4 a y b de los lotes 1 y 2 se presentó en promedio la menor resistencia a la penetración con 1,92 y 3,21 Mpa, además, se encontró que hubo una ligera tendencia a incrementarse la resistencia a la penetración a medida que las lecturas se alejaban del juste del árbol.

Estos resultados pueden estar relacionado con el tráfico de maquinaria, que de acuerdo con Eynard *et al.* (2004) el uso de maquinaria agrícola afecta la distribución del tamaño de los poros, así como su continuidad, debido a que el tráfico de maquinaria reduce la macroporosidad y la prolongación continuidad de los poros, así mismo la continua aplicación de herbicidas en esta zona, evita que exista una reposición de materiales

orgánicas que disminuyan la alta compactación en esta zona. Según Gutiérrez, Rodríguez y Francisco *et al.* (2012) el adensamiento del suelo se encuentra ligado a una Da elevada ocasionada por el tráfico y pisotones constantes de los trabajadores, y de los múltiples implementos de trabajo que se desplazan sobre el suelo constantemente. Esto indica que puede existir manejo agronómico diferenciado, con cambios que pueden ser alterados por las labores de cultivo, las texturas del suelo, además, los cambios en el contenido de la materia orgánica de los suelos modifican las propiedades físicas como la estructura y la Da, así como la infiltración (Montiel, 2000). Por consiguiente, todas estas características pueden influir en la aparición de la PC, y principalmente asociada al deterioro de las propiedades físicas dentro de la zona de plateo (Munévar *et al.*, 2001)

Para las variables pH y los contenidos de nutrientes en el suelo. Se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,01$) para las variables pH, MO, S, P, Ca, K y Na, y no se encontró diferencias estadísticas para el Mg entre las seis fincas evaluadas. De acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que la reacción del suelo (pH) presentó diferencias significativas entre las fincas, y el valor del pH del suelo fue mayor en las fincas comercializadora, Palmarí y Padelma, con una reacción ligeramente ácida con un pH de 6. Por otra parte, los menores valores en reacción química se presentaron en las fincas Rosaleda e Invarten con 5,3 y 5,2; que son clasificados como moderadamente ácido (pH 5-6) encontrándose dentro rango adecuado para el desarrollo del cultivo de palma aceitera que va de 5 a 6,5; tal y como lo manifiesta Chávez (2003). El pH es uno de los parámetros de mayor importancia porque influyen en la fertilidad del suelo, éste indica si contiene niveles tóxicos de aluminio y manganeso, y si es bajo el contenido de elementos básicos como el calcio y el magnesio, y si se le puede balancear con la aplicación de sustancias como el óxido de calcio, la disponibilidad de otros nutrientes esenciales para la planta depende de los valores de pH, sabiendo el valor de pH del suelo es posible diagnosticar posibles problemas de nutrientes para un buen desarrollo de las plantas. (Rivera, Sánchez y Domínguez, 2018). Para la variable materia orgánica se evidenciaron diferencias estadísticas entre las fincas, con contenidos comprendidos entre medios a bajos, para zonas cálidas siendo Padelma la finca con los mayores valores (2,1%) con respecto a Invarten, Palmari, Inversora y comercializadora. El bajo contenido de materia orgánica en el suelo puede estar asociada al control de arvenses lo que evita el reciclaje de abono verde al suelo (Salazar *et al.*, 2018) Según Fassbender (1982) el contenido de materia orgánica en los suelos es muy cambiante en las condiciones tropicales. Alcanza desde trazas en los suelos desérticos hasta un 90-500 en los turbosos, los horizontes A de suelos explotados agrícolamente presentan por lo general valores entre 0,1 y 10% de materia orgánica, cuyo contenido decrece con la profundidad en el perfil del suelo.

Las condiciones climáticas (precipitaciones, temperatura, radiación) y el Contenido de arcilla del suelo. Algunas prácticas de manejo que reduzcan las entradas de carbono y

/ o aumentan la descomposición de materia orgánica del suelo también pueden influir en las pérdidas de carbono. (Docampo, 2010).

Para el caso del Azufre, presentó diferencias estadísticas y los mayores contenidos de azufre se encontraron en la finca Inversora con $78,3 \text{ mg kg}^{-1}$ y comparado con las fincas Rosaleda, Comercializadora, Padelma y Palmarí y con el menor valores la finca Palmarí con $10,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Según Takahashi *et al.* (2011) El azufre es un nutriente esencial para el crecimiento vegetal debido a su presencia en proteínas, glutatión, citoqueratinas, ferredoxinas, lípidos de la membrana del cloroplasto y ciertos coenzimas y vitaminas S también tiene un importante papel ecológico en la defensa contra patógenos (Falk *et al.*, 2008) y el azufre fisiológicamente tiene funciones vitales, ya que conforma tres de los aminoácidos esenciales (cistina, cisteína y metionina), los cuales participan directamente en la conformación de varias proteínas, también interviene en el proceso de formación de la clorofila, de los azúcares, de las raíces, del glucosinolato y la aliina, y participa en la producción de semilla, en la síntesis de grasas, aceites y vitaminas tales como: la tiamina, la biotina y la coenzima A (FAO e IFA, 2002; Castillo *et al.*, 2006; Marschner, 1995).

En relación al contenido de fósforo, se evidenció que solamente hubo diferencias estadísticas entre las fincas Padelma e Inversora, presentando los mayores valores la finca Padelma con $40,5 \text{ mg kg}^{-1}$ y los menores contenidos en Inversora con $21,8 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 3.1c). Estos contenidos de fósforo en todas las fincas evaluadas se encuentran por arriba del nivel crítico propuesto por Munévar (2001) y Larez (2003). de acuerdo al manifestado por Sharma *et al.* (2017) se han encontrado que, debidos a las altas aplicaciones de P como fertilizantes, se presentan altos niveles de P en suelos cultivados con palma aceitera en India. De acuerdo con Wang *et al.* (2010) el fósforo a nivel celular es un elemento fundamental en la composición de los ácidos nucleicos, los fosfolípidos de las membranas celulares y todos los intermediarios fosforilados que intervienen en la transferencia de energía en los procesos bioquímicos de los seres vivos.

Para el Calcio los contenidos de bases intercambiables y de acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que el contenido de calcio presentó diferencias significativas entre las fincas y el mayor contenido de calcio se detectó en la finca Invarten con $10,4 \text{ cmoc kg}^{-1}$ Por otra parte, Aparicio y Tejos *et al.* (2000) indican que el calcio es abundante en la mayoría de los suelos y pocas veces se comporta como un factor limitante, salvo en suelos ácidos donde puede ser necesario la aplicación de sales cálcica

Para el caso del Magnesio, se evidenció que no existen diferencias estadísticas entre las fincas, pero los contenidos están comprendidos entre medios a altos, siendo Palmarí la finca con los mayores valores ($4,7 \text{ cmolc kg}^{-1}$) y comercializadora con el menor valor ($1,5 \text{ cmolc kg}^{-1}$). Así mismo, estos contenidos pueden estar asociado a los materiales

parentales y las texturas del suelo (Tschanz, Jimeno y Cruz,1970). Además de la aplicación por medio de fertilizantes de síntesis, resultados similares han sido encontrado por Sanijib *et al.* (2020) quienes reportan altas concentración de Ca, Mg intercambiable y S disponible en plantaciones de palma aceitera, debido a la adición continua de estos nutrientes a través de fertilizantes.

Para la variable Potasio, presentó diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) entre los sitios estudiados. El mayor contenido de potasio en los suelos se detectó en el predio Rosaleda con $1,1 \text{ cmolc kg}^{-1}$ estos resultados son asociados a los procesos de meteorización de los minerales, de la mineralización de los residuos orgánicos o el que proviene de los abonos y fertilizantes, los procesos patogenéticos actúan sobre los materiales presentes en el suelo y producen en mayor o menor medida la disponibilidad del nutriente (Mengel y Rahmatullah, 1994). Goh y Härdter (2003) ha demostrado que el K, es uno de los nutrientes que absorbe la palma de aceite de forma abundante y esto hace que el fraccionamiento del fertilizante tenga una influencia muy marcada en la eficiencia de su fertilización. Fairhurst (2003) encontraron que en los suelos utilizados en palma aceitera requieren mayor contenido de K y Mg por los desbalances encontrados en los contenidos de Ca.

Para la variable Sodio, se encontró que solamente hubo diferencias estadísticas entre los contenidos de los suelos en las fincas evaluadas, y el mayor contenido de sodio lo presentó el predio Invarthen con un valor de $0,7 \text{ cmolc kg}^{-1}$, estos contenidos son interpretados como normales para los suelos y están asociados a los materiales parentales y al manejo agronómico lo cual sugiere que a valores de conductividad eléctrica (CE) en la pasta saturada sobre los $2-3 \text{ dS m}^{-1}$, no se afecta el crecimiento y rendimiento de este cultivo, pero que a valores de 7 dS m^{-1} , ocurre un 50% de reducción en el crecimiento (Hamzeh *et al.*, 2013).

En este mismo orden de ideas para el contenido de micronutrientes en el suelo. Los análisis de varianza mostraron diferencias estadísticamente significativas para las variables hierro (Fe), Manganeseo (Mn), cobre (Cu) y boro (B), y no se encontró diferencias estadísticas para el zinc (Zn) entre las seis fincas evaluadas para el Hierro los resultados obtenidos en la prueba de media se encontraron que el contenido de Fe presentó diferencias significativas entre las fincas. Este valor de Fe fue mayor en la finca Inversora con $382,5 \text{ mg kg}^{-1}$ y el menor valor se encontró en la finca Padelma con $199,1 \text{ mg kg}^{-1}$. Estos resultados están asociados a los altos contenidos de humedad que permanecen estos suelos y a los minerales primarios como el piroxeno que originaron estos suelos (Tschanz, Jimeno y Cruz, 1970). De acuerdo con Stolzy *et al.* (1967) observo que el anegamiento aumentó los niveles foliares de Fe y Mn lo que atribuyeron a la forma reducida de estos dos elementos en el suelo facilitando su adsorción por la planta.

Para el contenido de Mn se encontró que existen diferencias estadísticas significativas entre las fincas estudiadas. Estos contenidos químicos están comprendidos entre altos a deficiente, siendo Padelma la finca con los mayores valores ($57,4 \text{ mg kg}^{-1}$) y comercializadora con el menor valor ($14,5 \text{ mg kg}^{-1}$). Además, se destaca que el contenido de manganeso en todas las fincas evaluadas se encuentra por arriba del nivel crítico de 10 mg kg^{-1} propuesto por Munévar (2001). Estos valores están asociados a los materiales parentales y las texturas del suelo (Tschanz, Jimeno y Cruz, 1970).

El contenido de cobre presentó diferencias estadísticas significativas entre los sitios estudiados. Los mayores contenidos de cobre se encontraron en los rangos de medios a altos y en la finca Rosaleda con $5,1 \text{ mg kg}^{-1}$ presentó los mayores valores y contenidos medios en la finca Palmarí con $2,4 \text{ mg kg}^{-1}$. Los resultados son asociados a los materiales parentales que originaron estos suelos (Tschanz, Jimeno y Cruz, 1970) y al manejo agronómico, ya que es el elemento químico que más se aplica como fertilizante. Así mismo, el Cu es necesario para la formación de clorofila y cataliza varias otras reacciones en las plantas a pesar de no ser parte del producto que se forma con esas reacciones (Cardona y Bolaños 2019). El cobre es considerado un micronutriente esencial para las plantas y juega un rol importante en la asimilación de CO_2 y la síntesis de ATP, es un componente esencial de varias proteínas como la plastocianina que interviene en el sistema fotosintético y enzimas como el citocromo oxidasa involucrada en la cadena transportadora de electrones en las crestas mitocondriales, en la respiración (Yadav, 2010).

En relación al contenido de zinc, se evidencio que no hubo diferencias estadísticas significativas entre los valores encontrados en los suelos de las fincas evaluadas. La finca con los mayores valores fue Palmarí con $13,9 \text{ mg kg}^{-1}$ y los menores contenidos en la finca Comercializadora con $3,3 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 3.3d). Sin embargo, se destaca que el contenido de cobre en las fincas evaluadas se encuentra por arriba del nivel crítico de 2 mg kg^{-1} propuesto por Munevar (2001). Estos contenidos son interpretados como normales para los suelos y están asociados a los materiales parentales (Tschanz, Jimeno y Cruz, 1970) y al manejo agronómico con la aplicación de fertilizantes que contengan este elemento. Así mismo. El Zn es esencial para los procesos fisiológicos de las células, participa en la estructura y/o catálisis de muchos procesos y es el único metal de su clase presente en las enzimas (Barak y Helmke, 1993). De acuerdo con Ojeda *et al.* (2009) el Zn se ha relacionado con un papel estabilizador sobre la molécula de la clorofila.

En cuanto al contenido de boro se encontró que existen diferencias estadísticas significativas entre las fincas. Estos contenidos químicos se encuentran en niveles de medio para altos, siendo Comercializadora la finca con los mayores valores (11 mg kg^{-1}) y Invarten con el menor valor ($0,8 \text{ mg kg}^{-1}$). Estos contenidos se deben a las aplicaciones de este elemento en forma de fertilizantes, ya que los materiales parentales

que dieron origen a este suelo aportan muy poca cantidad de este elemento. Resultados que confirman que químicamente no hay deficiencia de este elemento y por tanto la deficiencia de boro que es el desorden nutricional más común en las plantaciones de palma aceitera alrededor del mundo, no se presentaría en estas condiciones (Fairhurst y Härdter, 2003). El boro ha sido comprometido en procesos estructurales, metabólicos y morfogenéticos como es control del tamaño de los poros de las paredes celulares, el transporte por el floema, la formación de complejos con los azúcares y algunos carbohidratos de la pared celular (Matoh, 1997, Blevins y Lukaszewski 1998; Läuchli, 2002), y la germinación del polen (Lewis, 1980a). También se ha implicado al boro en el control de la síntesis de lignina y de la diferenciación de la xilema, a través de sus funciones en el metabolismo de los fenoles y en el control de los niveles endógenos de auxinas (AIA), por lo que afecta varios eventos celulares (elongación, desarrollo), así como la fortaleza estructural de los tejidos (Dutta y McIlrath 1964).

Para los casos de correlaciones entre las variables químicas de los suelos y el contenido foliar en *E. guineensis*. Para la finca Invarthen, solo se tendrán en cuenta las positivas y con mayor relevancia entre estas tenemos N, P y K foliar con el K del suelo. El Ca foliar con el pH, P, Ca y Mg en el suelo, y el Mg foliar con la MO, P y Mg. Resultados que indican que estos elementos que se encuentran el suelo, se presentan en forma disponibles para ser absorbidos por el cultivo de palma africana. Según Aguirre *et al.* (2012) en esta zona existen minerales primarios como feldespatos (5-15%), interestratificados (trazas), micas (5-30%), montmorillonita (30-50%) y vermiculita (5-30%). En relación a los elementos menores foliares, se resalta la correlación positiva del Cu foliar con el Fe del suelo, el Mn foliar con el Mn y el Zn del suelo. Además, el Zn foliar con Fe y B del suelo y finalmente la correlación positiva del B foliar con el Mn del suelo. En Finca Inversora De todas las correlaciones se recalcan las positivas de mayor relevancia entre el N foliar con el K del suelo. El P foliar con el pH y K en el suelo, y el K foliar con el K del suelo. Así mismo, en esta finca el Ca foliar, con la mayor cantidad de variables químicas del suelo como, MO, S, P, Ca, Mg y el Na y el Mg foliar con MO, P y Ca. Resultados que indican que estos elementos que se encuentran el suelo, se presentan en forma disponibles para ser absorbidos por el cultivo de palma africana y que puede existir una alta reserva intercambiable que son aportados por los minerales primarios que se encuentran en estas zonas. Según el Instituto Colombiano Agustín Codazzi (2009), en esta zona existen minerales primarios como feldespatos, micas, montmorillonita y vermiculita. En relación a los elementos menores foliares, se resalta la correlación positiva del Mn foliar con el Mn del suelo, Cu foliar con el Cu y el Zn del suelo, además, el Zn foliar con Fe y el B del suelo y finalmente la correlación positiva del B foliar con el Mn del suelo. Según Behera *et al.* (2016) entre los micronutrientes, las variaciones de Mn, Fe y B fueron mayores que las de Cu y Zn entre las plantaciones de palma africana estudiadas

Para la finca Comercializadora el contenido nutricional foliar se puede observar que el Ca foliar presentó correlación negativa con el Na del suelo. Para los elementos menores el Zn foliar mostró correlación con el Fe del suelo, estos resultados indican que la reserva nutricional del suelo y la aplicación de nutrientes de síntesis no están mostrando una alta tasa de absorción por parte del este cultivo de palma africana para esta finca. En cuanto a la finca Padelma solo se tendrán en cuenta las positivas de mayor relevancia entre el N foliar con el S, P, Mg y K del suelo. El P foliar con el K en el suelo y el K foliar con el K del suelo. el Ca foliar, con la mayor cantidad de variables químicas del suelo como, pH, MO, P, Ca y Mg, y el Mg foliar con MO y el Na. Kavitha y Sujatha (2015) y Sarıdaş *et al.* (2017) encontraron una fuerte correlación positiva y significativa entre los parámetros del suelo y foliares en trabajos previos, realizados en la evaluación de fertilidad de los suelos. Según Aguirre *et al.* (2012), en esta zona existen minerales primarios como feldespatos (5-15%), interestratificados (trazas), micas (5-30%), montmorillonita (30-50%) y vermiculita (5-30%). En relación a los elementos menores foliares, se resalta la correlación positiva con los contenidos en el suelo, como el Fe foliar y el Mn. El Mn presentó una correlación positiva con Fe y el Cu. El Cu foliar con el Mn. Además, el Zn foliar con el Mn y finalmente la correlación positiva del B foliar con el B del suelo

Para la finca Palmari las correlaciones positivas se recalcan la de mayor interés que son entre el N y el P foliar con el P y K, además el P foliar con el S y el K foliar con el K del suelo. El calcio foliar fue correlacionado positivamente la MO, S, P, Ca y Na del suelo (Sarıdaş *et al.*, 2017). Resultados que indican que estos elementos que se encuentran en el suelo, se presentan en forma disponibles para ser absorbidos por el cultivo de palma africana y que puede existir una alta reserva intercambiable que son aportados por los minerales primarios que se encuentran en estas zonas. Según Aguirre *et al.* (2012) en esta zona existen minerales primarios como feldespatos (5-15%), interestratificados (trazas), micas (5-30%), montmorillonita (30-50%) y vermiculita (5-30%). En relación a los elementos menores foliares, se resalta la correlación positiva con los contenidos en el suelo, como el Mn y el Zn foliar con el Fe y el Cu y finalmente la correlación positiva del B foliar con el Mn del suelo.

Para finca Rosaleda solo las correlaciones positivas de mayor interés como son entre el K foliar con el pH, Ca y el K del suelo. Así mismo, en esta finca el Ca foliar, con la mayor cantidad de variables químicas del suelo como pH, S, P, Ca, Mg y K (Sarıdaş *et al.*, 2017). Por otra parte, el Mg foliar fue correlacionado positivamente con el K y el Na. Resultados que indican que estos elementos que se encuentran en el suelo, se presentan en forma disponibles para ser absorbidos por el cultivo de palma africana y que puede existir una alta reserva intercambiable que son aportados por los minerales primarios que se encuentran en estas zonas. Según Instituto Colombiano Agustín Codazzi (2009) en esta zona existen minerales primarios como feldespatos (5-15%), interestratificados (trazas), micas (5-30%), montmorillonita (30-50%) y vermiculita (5-30%). En relación a

los elementos menores foliares, se resalta la correlación positiva con los contenidos en el suelo, entre ellos el Mn, Zn y B presentaron correlación con el Fe y el Cu y el Cu foliar con el Cu del suelo.

Para el caso de los análisis de varianza para los contenidos foliares de macroelementos. Se presentaron diferencias significativas para los contenidos foliares de N, P, K, Ca y Mg entre las seis fincas evaluadas, los resultados obtenidos de muestran que el contenido de nitrógeno (N) foliar presentó diferencias significativas entre las fincas, presentándose el mayor valor en la finca comercializadora con 2,5 con respecto a Invarten, Padelma y Palmarí. Lo anterior halla explicación en lo expresado por Baker y Pillbeam (2007), en el cual dice que en la mayoría de los suelos donde se presenta pobre contenido de materia orgánica las concentraciones de nitrógeno son muy bajas y por consiguiente las plantas cultivadas en este tipo de suelos tendrán un crecimiento limitado, es por ello que la mayoría de cultivadores recurren a los fertilizantes. De acuerdo con Taiz y Zeiger, (2006), el nitrógeno es el elemento que las plantas requieren en mayor cantidad, su baja disponibilidad en los suelos limita la productividad de la mayor parte de los ecosistemas agrícolas y naturales. El nitrógeno es un macroelemento que se encuentra presente en muchos compuestos esenciales en las plantas y es un constituyente de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos, componentes de la pared celular (Salisbury y Ross, 2000; Taiz y Zeiger, 2006).

De acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que el contenido de fósforo (P) foliar presentó diferencias significativas entre las fincas. El contenido de P fue mayor en la finca comercializadora con 0,15% y el menor contenido se estableció en la finca Palmarí y Padelma con valores de 0,12%. De acuerdo a Sinha et al. (2003), la deficiencia de P también puede afectar el papel del B en la promoción de la división celular, aspecto que provoca una alta ramificación de las raíces laterales, pero un bajo desarrollo de la raíz primarias. Benton (2003) explica que la deficiencia de P da como resultado baja producción de frutos, semillas y flores de mala calidad. Además, Veronica et al. (2017) afirman que la deficiencia de P resulta en una reducción de la tasa de transpiración, debido a que el fósforo dentro de la planta es crítico porque participa prácticamente en todos los procesos metabólicos principales de ésta, incluyendo la fotosíntesis y la respiración (Raghothama, 2000). El fosforo en la planta está involucrado íntimamente en la bioenergética celular y en la regulación metabólica, es un componente estructural de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), fosfoproteínas y fosfolípidos, como las lecitinas; almacena y transfiere energía (ATP y ADP) y es constituyente de las membranas citoplasmáticas, así como de las enzimas y proteínas (Ratjen y Gerendás, 2009; Molina y Rodríguez, 2012).

con respecto al Potasio, se encontró que el contenido de K foliar presentó diferencias significativas entre las fincas. El contenido de K fue mayor en la finca Rosaleda e inversora con 1,1 % y el menor contenido se estableció en la finca Invarten con 0,6 %).

de acuerdo a lo expuesto por Mengel y Kirby, (1982) el potasio es un macronutriente esencial en el crecimiento y desarrollo de las plantas, tiene amplias funciones como la osmorregulación, síntesis de almidones y proteínas, activación de enzimas y balance de cargas iónicas, además influye en el balance de agua y el crecimiento meristemático. De acuerdo a lo expuesto por Huber (1997) el contenido de K y condición nutricional óptimos de las plantas afecta su reacción a los patógenos y Chinchilla (2004), sugiere que el potasio y sus relaciones con el magnesio y el calcio están relacionados íntimamente con la incidencia de la pudrición del cogollo (PC) y el balance adecuado de potasio es esencial para mantener las relaciones hídricas, el transporte de asimilados de la fotosíntesis y para mantener el funcionamiento de los mecanismos de defensa de las plantas contra el ataque de patógenos y el estrés en general (Mutter, 1998).

Para el caso del ion Calcio. se encontró que el contenido de Ca foliar presentó diferencias significativas entre las fincas. El contenido de Ca fue mayor en la finca Invarten con 10,4% clasificado como alto. El calcio es antagonista de algunos elementos, como K, Fe, Mn, B y Zn dificultando su asimilación y reduciendo la toxicidad de Mn, B, Zn (Sillampaa, 1976). Según (Simon, 1978), calcio que está presente en las paredes celulares, en forma de pectatos cálcicos, parece estar involucrado en la absorción de iones y mantenimiento de la permeabilidad de la membrana, una de las principales funciones es de actuar, formando parte de la estructura de la protopectina como agente cementante para mantener las células unidas. Su presencia en ella es esencial para mantener las estructuras, ya que su disminución o ausencia provoca, entre otros efectos, despolarización del potencial transmembrana (Gil-Martínez, 1995).

En cuanto al Magnesio. Se encontró que el contenido de Mg foliar presentó diferencias significativas y fue mayor en la finca Invarten con 0,3 % clasificado como alto y el menor contenido se estableció en la finca Rosaleda con 0,22 % clasificado como bajo. De acuerdo con Slobbe (1998) la mitad o más de la mitad del magnesio de la hoja puede estar en los cloroplastos haciendo parte de la clorofila, pero evidentemente el plastidio contiene mucho magnesio, además el magnesio es el activador de enzimas más comunes concernientes al metabolismo de la energía.

De acuerdo a los contenidos foliares de microelementos. Se presentaron diferencias significativas para los contenidos foliares de Fe, Mn, Cu, Zn y B entre las seis fincas evaluadas y los resultados se hace de manera diferencial para cada variable estudiada. Para Hierro los resultados se encontraron que el contenido de Fe foliar presentó diferencias significativas y el mayor contenido se encontró en la finca inversora con 184,6 mg kg⁻¹ y el menor contenido se estableció en la finca Rosaleda con 79,4 mg kg⁻¹ lo cual se explica por el exceso de humedad que se encuentra en los suelos, los cuales reducen el hierro oxidado y este elemento es fácilmente absorbido (Fassbender y Bornemisza, 1987; Hillel, 1982).

Para el Manganeso. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey ($p \leq 0,05$) se encontró que el contenido de Mn foliar presentó diferencias significativas entre la finca Invarten y las demás fincas, pero no entre ellas (Figura 4.2b). El contenido de Mn foliar fue mayor en Invarten con $299,4 \text{ mg kg}^{-1}$, que es clasificado como alto y el menor contenido se estableció en la finca Padelma con $104,8 \text{ mg kg}^{-1}$ clasificado como bajo de acuerdo Munévar (2001). Behera *et al.* (2015) encontraron contenidos de Mn que oscilaron entre de $82,5$ a 681 mg kg^{-1} en cultivos de palma africana en la India.

De acuerdo a los resultados el cobre presentó diferencias significativas entre las fincas, y su contenido fue mayor con $9,14 \text{ mg kg}^{-1}$ en la finca Inversora, y el menor contenido se estableció en la finca Comercializadora con $6,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de acuerdo con Bidwell, (1979). El Cu desempeña funciones catalíticas, y participa como la polifenol oxidasa y la ácido ascórbico oxidasa, está presente en la plastocianina de los cloroplastos, un componente importante del sistema transportador de electrones de la fotosíntesis y puede estar involucrado en la reducción de nitritos

Para el zinc. se encontró que el contenido foliar presentó diferencias significativas entre las fincas, este fue mayor con $20,6 \text{ mg kg}^{-1}$ en la finca Inversora y el menor contenido se estableció en la finca Padelma con $14,4 \text{ mg kg}^{-1}$. Este elemento participa en muchos procesos metabólicos. Interviene en la síntesis de auxina, y presenta gran afinidad para formar complejos con N, O y S (funciones catalíticas y estructurales en reacciones enzimáticas) (Miguez, 2006).

Para la variable boro, los resultados obtenidos en la prueba de media de Tukey se encontró que el contenido de B foliar presentó diferencias significativas entre las fincas, el mayor contenido con $31,2 \text{ mg kg}^{-1}$ lo tiene la finca Palmarí, y el menor la finca Padelma con $15,5 \text{ mg kg}^{-1}$. El boro desempeña un papel principal en la biosíntesis y estructura de la pared celular y en la integridad de la membrana plasmática (Marschner, 2002); asimismo está involucrado en el transporte de azúcares, la lignificación de la pared celular (Loomis y Durst, 1992), la elongación celular, la síntesis de ácidos nucleicos y las respuestas hormonales (Taiz y Zeiger, 2006).

Análisis de varianza para el rendimiento. El análisis de varianza señala que el rendimiento obtenido para este año presentó diferencias estadísticas significativas entre las fincas evaluadas, Con estos resultados se establece que en la finca Inversora con $22,4 \text{ t ha}^{-1}$ presenta el mayor rendimiento y el menor rendimiento lo presenta la finca Rosaleda con $15,5 \text{ t ha}^{-1}$. La calidad del suelo, es la consecuencia de numerosos factores físicos, químicos y biológicos, que tiene como resultado unos altos rendimientos en las plantas (Doran y Perkin, 1994; Lal, 1994; Larson y Pierce, 1991). Millán (1983) señaló que la preparación de la tierra es una de las prácticas agronómicas más importantes, que inciden sobre el comportamiento y rendimiento

Para las correlaciones entre las variables químicas del contenido foliar, la PC y el rendimiento en cultivo de palma africana, estas nos indican que, a mayor contenido acumulado a nivel foliar de N, Ca, Mg, Cu y Zn, foliar respectivamente. se presenta menor incidencia de PC. De acuerdo con Nur Sabrina *et al.* (2012) el Ca ha suprimido significativamente la incidencia de la enfermedad pudrición de cogollo, debido a que el Ca es importante en la pared celular y ralentiza las reacciones de patógenos con reacciones enzimáticas durante la descomposición de las células debido a que baja el medio donde se reproduce el patógeno. Por otra parte, en este estudio a mayor acumulación de K y B puede presentarse mayor incidencia de PC. Resultados que se pueden explicar desde el punto de vista de las funciones que cumplen estos nutrientes en los metabolismos de los cultivos (Cristancho, 2012).

En relación a las correlaciones entre los rendimientos y los contenidos foliares de nutrientes se encontró que fueron positivas y significativas, las cuales nos indican que, a mayor contenido acumulado a nivel foliar de N, P, K y Zn foliar, se presenta mayor rendimiento. Según Parry *et al.* (2005) los niveles de N, P₂O₅, K₂O y agua se consideran los principales factores limitantes en el crecimiento, desarrollo y finalmente rendimiento económico por otro lado, a mayor acumulación de Mg y B se presentará menor rendimientos. Estos se explica desde el punto de vista de las funciones que cumplen estos nutrientes en los metabolismos de los cultivos, las funciones en las que participa el B incluyen el transporte de azúcares, lignificación de la pared celular, estructura de la pared celular, metabolismo de los carbohidratos, metabolismo del ARN, respiración, metabolismo del AIA, metabolismo de los fenoles, función de la membrana, fijación de N₂, metabolismo de ascorbato y disminución de la toxicidad del Al, (Marschner, 1995)

LITERATURA CITADA

- Atwell, B. (1993). Response of roots to mechanical impedance. *Environmental and Experimental Botany*, 33(1), 27-40.
- Aparicio., T. Arrese. I. y Becama. (2000). Fijación de nitrógeno. In: J. Azcon-Bietos y M. Talón (eds.). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Mc Graw Hill. Barcelona
- Aguirre, S., Piraneque N. y Menjivar, J. (2012). Relación entre las propiedades edafoclimáticas y la incidencia de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en la Zona Bananera del Magdalena-Colombia. *R. I. A. A.*, 3(2), 2145-609.
- Kimble, J., Follett, R., y Cole, C.(1998). *The potential of US cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect*. CRC Press.
- Bacha, R. (2002). Principios Básicos para a Adubação do Arroz Irrigado. En: Epagri (Eds.) *Arroz Irrigado Sistema Pré-Germinado*. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. Florianópolis Brasil. 71-99p.
- Bravo, C., Lozano, Z., Hernández-Hernández, R., Cánchica, H., González, I. (2008). Siembra directa como alternativa agroecológica para la transición hacia la sostenibilidad de las sábanas. *Acta Biológica*. 28 (1):7-26.
- Barak, P y Helmke. (1993). The chemistry of zinc. In *robson a.d.(ed.), zinc in soil and plants*. kluwer academic publishers: 1–13. *eloisa perea portillo, dámaris ojeda barrios, adriana hernández rodríguez, dalila escudero almanza, jaime javier martíneztélezy gustavo lópez ochoa: el zinc como promotor de crecimiento y fructificación en el nogal pecanero*
- Blevins, D; Lukaszewski, K. (1998). Boron in plant structure and function. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.* 49:481-500.
- Behera, S., Suresh, K., Rao, B., Manoja, K. y Manorama, K. (2016). Soil nutrient status and leaf nutrient norms in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations grown in the west coastal area of India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(2), 255-262.
- Barker, A. y Pilbeam, D. (2007). *Handbook of plant nutrition*, CRC.

- Bidwell, R. (1979). Fisiología vegetal. A.G.T. Editor.
- Behera, S., Rao, K., Suresh, K. y Manoja. (2015). Soil Nutrient Status and Leaf Nutrient Norms in Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Plantations Grown on Southern Plateau of India. Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol. Sci. DOI 10.1007/s40011-015-0508.
- Cortez, J., Cavassini, V., Motomiya, A., Orlando, R., y Valente, I. (2018). Spatialization of soil resistance to penetration for localized management by precision agriculture tools. Engenharia Agrícola, 38, 690-696.
- Chávez, F. (2003). Manual del cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* jacq.): para la zona noroccidental del Ecuador. INIAP Archivo Historico.
- Cardona, W. y Bolaños, B. (2019). Manual de nutrición del cultivo de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) bajo un esquema de buenas prácticas en fertilización integrada.
- Cristancho, J. A., Alfonso, O. A. y Molina, D. L. Revisión de literatura sobre el papel del suelo y la nutrición de plantas en la Pudrición del cogollo de la palma de aceite The Role of Soil and Plant Nutrition on Oil Palm Bud Rot Disease: a Review. v. 33, no. 2 (2012), p. 9-220121-2923, (A-).
- Docampo, R. (2010). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. Serie Actividades de Difusión, 687.
- DL, O., Hernández., R., Martínez, T., Núñe, B y Perea, P (2009). Aplicación foliar de quelatos de zinc en nogal pecanero. Revista Chapingo. Serie horticultura, 15(2), 205-210.
- Dutta, T. y McIlrath, W. (1964). Effects of boron on growth and lignifications in sunflower tissue and organ cultures. Botan. Gaz. 125(2):86-96.
- Doran, J. y Parkin, T. (1994). Defining and assessing soil quality in defining soil quality for a sustainable environment. In: defining soil quality for a sustainable environment. Doran, J. W.; Coleman, D. C, Bezdicek, D. F. and Stewart, B. A. (Ed.). SSSA. Spec. Publ. Núm. 35. SSSA/ASA, Madison, Wis. USA. 3-21 pp.
- Elisei, J. (2017). Influencia de la humedad del suelo en la resistencia a la penetración vertical. Revista de tecnología agropecuaria, 10(33), 18-20. Obtenido de <https://cutt.ly/SjL02Uk>.
- Eynard, A., Schumacher, T., Lind., M. y Malo, D. (2004). Porosity and Pore-Size Distribution in Cultivated Us tolls and Usterts. Division S-6- Soil & Water Management & Conservation. Soil Science Society of America Journal. 68:1927-1934.
- Espósito, G., Castillo, C., Balboa, G., y Balboa, R. (2008). Nivel crítico de fosforo y azufre en suelos del sur de Córdoba para el cultivo de soja. In Actas del XXI Congreso

de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina. Versión en CD.[In Spanish].

- Fassbender, H. y Bornemisza, E. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA.
- Fairhurst, T. y Härdter, R. (2003). Management for large and sustainable yields. PPI, PPIC and IPI editors
- Fairhurst, T. (2003). Palma de aceite: manejo para grandes y rendimientos sostenibles, Potasa y Fosfato Inst., Singapur, 384 p.
- FAO. (2013) Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Situación alimentaria mundial.
- Falk, K., Tokuhisa, J. y Gershenzon, J. (2007). The effect of sulfur nutrition on plant glucosinolate content: physiology and molecular mechanisms. *Plant Biology*, 9(05), 573-581.
- FAO e IFA, (2002). Los fertilizantes y su uso, 4ta. Ed., revisada por la FAO. Roma
- Fassbender, H. (1982). Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. 1 ed. 3 reimpression. San José de Costa Rica, IICA. 422 p.
- Forsythe, W., Sancho, F., Villatoro, M. (2005). Efecto de la compactación de los suelos sobre el rendimiento de maíz en tres localidades de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 29(3):175-185.
- González, M., Moreno, G., Giardina, E. y Di Miro, M. (2006). Exceso de agua en el suelo: Efecto sobre la calidad del fruto del duraznero *Prunus persica* (L.) Batsch. *Ciencia del suelo*, 24(1), 59-63.
- Gutiérrez, P. (2017). Efecto del cultivo de palma de aceite sobre las propiedades físicas del suelo y su relación con la producción y la pudrición de cogollo. *Lámpsakos*, 1(17), 20-28.
- Gutiérrez, R., González, H., Pérez, L., Franco, M., Morales, R., Saldívar, I., y Martínez, R. (2012). Compactación inducida por el rodaje de tractores agrícolas en un Vertisol. *Terra Latinoamericana*, 30(1), 1-7.
- Gil martinez, F (1995). Elementos de Fisiología Vegetal. Relaciones hídricas. Nutrición mineral. Transporte. Metabolismo. Mundi-Prensa. Madrid.
- Goh, K., y Hardter, R. (2003). General oil palm nutrition (No. L-0515). PPI.
- Huber, D. (1997). Manejo de la nutrición para el combate de patógenos de plantas. *Agronomía costarricense*, 21(1), 99-102
- Hamzeh, S., Naseri, A., Alavipanah, S., Mojaradi, B., Bartholomeus, H., Clevers, J. y Behzad, M. (2013). Estimating salinity stress in sugarcane fields with spaceborne

- hyperspectral vegetation indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 282-290.
- Higueta C. y Sánchez J. (2012). Importancia de las propiedades físicas y químicas del suelo para la productividad bananera (AUGURACENIBANANO, II Reunión técnica bananera). Apartadó: AUGURA.
- Hills, J., Jones, C., y Ctler, C. (1998). *Let's Get Physical: Soil Tilth, Aeration, and Water. Building Soils for Better Crops*, 2nd Edition.
- Instituto Colombiano Agustín Codazzi (2009). Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento del Magdalena. Escala 1:100000. Bogotá: IGAC
- Jiménez, A., Serrano, B., Planes, M., Rodríguez, A. y García., O. (2010). Fundamentos de la estructura de suelos tropicales. Univ. Autónoma de Nayarit.
- Koppitz, H. (2004). Effects of flooding on the amino acid and carbohydrate patterns of *Phragmites australis*. *Limnologica*, 34(1-2), 37-47.
- Kulichikhin, K., Chirkova, T. y Fagerstedt, K. (2008). Intracellular pH in rice and wheat root tips under hypoxic and anoxic conditions. *Plant signaling & behavior*, 3(4), 240-242.
- Kozlowski., T. y Pallardy, S. (1996). *Physiology of woody plants*. Elsevier.
- Kimura, M. (2000). Anaerobic Microbiology in Waterlogged Rice Fields. En: Bollag, J.M. & Stotzky, G. (Eds.) *Soil Biochemistry Vol. 10*. Marcel Dekker, Inc. New York, Basel. pp. 35-138.
- Keisuke, M., Veras de Lima, H., Leone da Cruz, R., Rodrigues, S. y Pires da Silva, Á. (2017). Least limiting water range for oil palm production in Amazon region, Brazil *Scientia Agricola*. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2015-0408>
- Kavitha, C. y Sujatha, M. (2015). Evaluation of soil fertility status in various agro ecosystems of Thrissur District, Kerala, India. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 8: 328- 338.
- Larson, W. y Pierce, F. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. In *Evaluation for sustainable land management in the developing world: proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*, Chiang Rai, Thailand, 15-21 September 1991. [Bangkok, Thailand: International Board for Soil Research and Management, 1991].
- Loomis, W. y Durst. (1992). Chemistry and biology of boron. *BioFactors* 3, 229-239
- Larez, C. (2003). *Agricultura fondos para la investigación de palma*. Primera Edición, Bogotá, Edinum, 2003.

- Lewis, D. (1980). Are there inter-relations between the metabolic role of boron, synthesis of phenolic phytoalexins and the germination of pollen?. *New Phytologist*, 84(2), 261-270.
- Läuchli, A. (2002). Functions of boron in higher plants: recent advances and open questions. *Plant Biol.* 4:190-192.
- Munévar, F., Acosta, Á. y Gómez, P. (2001). Factores edáficos asociados con la Pudrición de Cogollo de la palma de aceite en Colombia. *Revista palmas*, 22(2), 9-19
- Montiel, N. (2000). Bases del enfoque ecosistémicos para la restauración ambiental. Instituto Nacional de Ecología, UNAM, Morelia, Michoacán México.
- Mengel, K. (1994). Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soils rich in micas. *Biology and fertility of Soils*, 17(1), 75-79.
- Match, T. (1997). Boron in plant cell walls. *Plant and Soil* 193(5):59-70
- Molina, E. y Rodríguez. H. (2012). Fertilización con N, P, K y S, y curvas de absorción de nutrimentos en arroz var. CFX 18 en Guanacaste. *Agronomía costarricense* 36 (1): 39-51
- Mengel, K. y Kirkby. (1982). Potassium. In "Principles of Plan Nutrition". Chapter 10:427-453. I.P.I. Bern, Switzerland
- Miguez F. (2006). Efecto de la aplicación de promotores de crecimiento sobre la velocidad de germinación y el vigor en semilla de maíz. Informe presentado a Fertiva Latinoamericana S.A.
- Mengel, K., Kirkby, E., Kosegarten, H., Thomas, A. (2001). Chapter 1. Plant Nutrient.
- Mutert, E. (1998). El potasio en la palma aceitera (No. A-0133).
- Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed. Academic Press, New York, U.S.A., pp. 436–460.
- Nur, Sabrina, A., Sariah, M. y Zaharah, A. (2012). Suppression of Basal Stem Rot Disease Progress in Oil Palm (*Elaeis guineensis*) after Copper and Calcium Supplementation. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 35.
- Parry, M., Flexas, J. y Medrano, H. (2005). Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*, 147(3), 211-226.
- Palacio, D., Gálvez, C., y Sánchez, M. (2018). Estimación de la densidad volumétrica y porosidad total usando el penetrómetro. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 34-41.

- Pla, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. *Propiedades Mecánicas. Suelos Ecuatoriales*, 40 (2):75-93.
- Raghothama, K. (2000). Phosphate transport and signaling. *Current Opinion in Plant Biology* 3: 182-187
- Rivera, E., Sánchez, M. y Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de iniciación científica*, 4, 101-105
- Rojas, M. (2013). Efectos de la disminución de la aireación del suelo en los rendimientos del cultivo de banano (*musa acuminata*) mediante Sistemas de Información Geográfica (Bachelor's thesis, Quito, 2013).
- Stolzy, L., Zentmyer, G., Klotz, L. y Labanauskas, C. (1967). Oxygen diffusion, water, and *Phytophthora cinnamomi* in root decay and nutrition of avocados. In *American Society for* González, M. G., Moreno, G., Giardina, E. B., & Di Miro, M. (2006). Exceso de agua en el suelo: Efecto sobre la calidad del fruto del duraznero *Prunus persica* (L.) Batsch. *Ciencia del suelo*, 24(1), 59-63. *Horticultural Science* (Vol. 90, pp. 67-76).
- Soil Survey Division Staff. (2003). *Keys to Soil Taxonomy*. 9th Edition. Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C., USA.
- Salazar, M., Mora, L., Chávez, B., Gómez, D., Zamora, O. y Prado, B. (2018). Susceptibilidad del suelo al impacto humano: caso del herbicida atrazina. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(1), 95-119.
- Sharma, L., Bali, S. y Zaeen, A. (2017). A case of potential reasons of increased soil phosphorus levels in the northeast United States *Agronomy*, 7(85), 1 – 15. <https://doi.org/10.3390/agronomy7040085>
- Sarıdaş, M., Kargı, S., Karabıyık, Ş. y Daşgan, H. (2017). Effect of calcium nitrate applications on leaf macro element concentrations in different strawberry cultivars. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(2), 147-152.
- Sillampaa, M. (1976) *Los oligoelementos en el suelo y en la agricultura*. Ed. FAO. Roma
El calcio en la planta: transporte y absorción.
- Simon, E.W. (1978). The symptoms of calcium deficiency in plants. *New Phytologist*, 80: 1-15
- Sinha, P., Dube, B. y Chatterjee, C. (2003). Phosphorus stress alters boron metabolism of mustard. *Communications in soil science and plant analysis*, 34(3-4), 315-326.
- Slobbe, W. (1988). Amarillamiento, un trastorno de la palmera africana, y otros problemas fitosanitarios, en el Ecuador Occidental.

- Taiz, L. y Zeiger E. (2006). *Plant Physiology*. 2da. Ed. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, USA. 764 p.
- Tschanz, C., Jimeno, A. y Cruz, J. (1970). Recursos Minerales de la Sierra Nevada de Santa Marta. *Boletín Geológico*, 18(1), 2-67.
- Takahashi, H., Kopriva, S., Giordano, M., Saito, K. y Hell, R. (2011). Sulfur assimilation in photosynthetic organisms: molecular functions and regulations of transporters and assimilatory enzymes. *Annual review of plant biology*, 62, 157-184.
- Veronica, N., Subrahmanyam, D., Kiran, T., Yugandhar, P., Bhadana, V., Padma, V. y Voleti, S. (2017). Influence of low phosphorus concentration on leaf photosynthetic characteristics and antioxidant response of rice genotypes. *Photosynthetica*, 55(2), 285-293.
- Wang, L. y Nancollas, G. (2008). Calcium orthophosphates: crystallization and dissolution. *Chemical Review*, 108, 4628–4669.
- Yadav, S. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants / *South African Journal of Botany* 76, 167–179.
- Zuraidah, Y., Aminuddin, H., Jamal, T., Jamarei, O., Osumanu, H. y Mohamadu, B. (2010). Oil palm (*Elaeis guineensis*) roots response to mechanization in Bernam series soil. *American Journal of Applied Sciences*, 7(3), 343-348.
- Zou, C., Penfold, C., Sands, R., Misra, R. y Hudson, I. (2001). Effects of soil air-filled porosity, soil matric potential and soil strength on primary root growth of radiata pine seedlings. *Plant and Soil*, 236(1), 105-115.

CONCLUSIONES GENERALES

- Se encontró que el grado de incidencia cero (testigo) predominaron las texturas arcillosas y francas, con estructuras bloques angulares, consistencias pegajosas y plásticas. Además, predominó con 71,8% el estado de gleyzación y un porcentaje de compactación del 59,3 %.
- Para grado de incidencia I, predominaron las texturas franco arenosa y franco arcillo limosa, bloques subangulares, consistencias ligeramente pegajosas y ligeramente plásticas. Además, predominó con 68,7% el estado de gleyzación y un porcentaje de compactación del suelo del 37,5 %.
- Se encontró que el grado de incidencia II predominaron las texturas franco arcillosa y franco limoso, con estructura en bloques angulares a subangulares, consistencias pegajosas y ligeramente plásticas. Además, predominó con 59,3% el estado de gleyzación y un porcentaje de compactación del suelo del 50 %.
- Se encontró que para el grado de incidencia III, predominaron las texturas franco limosas, franco arcillosas y franco arcillo limosas, estructura en bloques angulares a sub angulares, consistencias pegajosas y plásticas. Además, predominó con 68,7% el estado de gleyzación y un porcentaje de compactación del suelo del 59,30%.
- Para los diferentes grados de severidad no se presente diferencias entre los niveles de densidad aparente, pero el valor máximo de densidades fue 1,79 y 1,78 g cm⁻³ hallándose en los grados de severidad dos y tres en el lote 1 y en el lote 2 las densidades con mayores valor se manifestaron en grado de severidad testigo y el tres con 1,78 y 1,82 g cm⁻³.
- La resistencia a la penetración en el lote uno se encontró en niveles críticos que afectan el desarrollo de raíces, encontrando que entre los 10 y 20 cm de profundidad el menor valor de resistencia lo presentó el testigo con 1,57 y 2,01 Mpa y el máximo valor en la severidad grados 1 y 3 con 3,81 y 4,14 Mpa. Para 30 cm la mínima resistencia se encontró en el grado de severidad 2 y los máximos valores en el grado 1 y 3 con 3,54 y 4,11 Mpa.

- En el lote dos la resistencia a la penetración se encontró en niveles críticos altos para el desarrollo de raíces, encontrando que, entre los 10 y 20 cm de profundidad, la menor resistencia la presentó el testigo con 3,03 y 2,96 Mpa y la máxima en la severidad grados 1 y 2 con 4,81 y 5,0 Mpa. Para la profundidad de 30 cm la mínima resistencia se encontró en el grado de severidad 3 con 2,79 Mpa y los máximos valores en el grado 1 y 2 con 4,58 y 5,0 Mpa.

- De acuerdo a la escala que mide los niveles de acidez y alcalinidad en la solución del suelo el pH encontrado en los predios fluctuó entre 5,2 y 6 considerándose como suelos ácidos por presentar un $\text{pH} < 7$, lo cual puede causar alguna reducción en la disponibilidad de algunos nutrientes y favorecer la solubilidad de elementos tóxicos como el Aluminio.

- Se encontró que el contenido de materia orgánica en el suelo osciló entre 2,1 hasta 1,0% por ciento catalogado como bajo a medios estos valores son inferiores a los niveles críticos para el cultivo de palma.

- Se determinó que, en cuanto a las propiedades químicas, de los suelos estudiados se halló que el contenido de azufre estuvo en el rango de 78,3 a 10,5 mg kg^{-1} y de fósforo en el suelo, en un rango de 40,5 y 21,8 mg kg^{-1} ubicándose por encima de los parámetros críticos expuestos por Munévar y Lares.

- Para el contenido de bases intercambiables en los suelos se presentó un valor de calcio alto que osciló entre 10,4 a 5,0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, para el contenido de Mg en el rango de 4,7 y 1,5 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. El contenido de potasio en los suelos estudiados presentaron valores entre 1,1 y 0,6 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

- Se encontró que los niveles de concentración de hierro en los suelos de los predios estudiados, mostraron valores que osciló entre 382,5 a 199,1 mg kg^{-1} . Para el caso del Mn su contenido se encontró entre los valores de 57,4 y 14,5 mg kg^{-1} , para el Cu el rango de 5,1 a 2,4 mg kg^{-1} . Para el Zn sus valores estuvieron en los rangos entre 13,9 y 3,3 mg kg^{-1} y para el boro se determinó que el contenido estuvo en el rango de 11 y 0,8 mg kg^{-1} .

- Existe una correlación positiva entre el contenido de manganeso, zinc y boro foliar y el contenido con el hierro y el cobre del suelo y el contenido de cobre foliar con el contenido de cobre en el suelo.

- Los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio a nivel foliar están por debajo de los valores críticos, para el caso del calcio este presentó altos niveles que sobrepasaron el nivel crítico para el cultivo de palma de aceite, el desequilibrio entre el potasio y sus relaciones con el magnesio y el calcio pueden estar asociados íntimamente con la incidencia de la pudrición del cogollo.

- Existe una correlación negativa entre el contenido los contenidos foliares de P, K y Mg y los contenidos edafológicos que presentan los suelos.
- El contenido de hierro, cobre y zinc a nivel foliar se establecieron como altos, encontrándose por encima de los niveles críticos en la mayoría de las fincas estudiadas.
- Los mayores rendimientos se presentaron en la finca Inversora y comercializadora con 22,4 y 22 t ha⁻¹ y los de menores rendimientos se dieron en la finca Palmari y Rosaleda con 17,8 y 15,5 t ha⁻¹.
- A mayor contenido acumulado a nivel foliar de N, Ca, Mg, Cu y Zn, se presenta menor incidencia de PC, pero a mayor acumulación de K y B se presentará mayor incidencia de PC en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.
- A mayor contenido acumulado a nivel foliar de N, P, K y Zn foliar, se presenta mayor rendimiento, sin embargo, a mayor acumulación de Mg y B se presentará menor rendimientos, en diferentes fincas en el municipio de Zona Bananera del Magdalena.

RECOMENDACIONES GENERALES

- Se hace indispensable crear una línea de investigación en la zona del Caribe, en la reevaluación de los parámetros críticos propuesto por Munévar (2001) y Larez (2003) debido a que no se correlacionan con los contenidos foliares en palma de aceite establecidos en estos suelos.
- se hace necesario realizar estudios sobre el contenido nutricional en los tejidos de crecimiento (cogollo) y su asociación con el contenido nutricional edáfico, foliar y la posible relación con la pudrición de cogollo.
- Con estos resultados se recomienda continuar con investigaciones para complementarla con estudios adicionales que contemplen las relaciones entre propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos con la enfermedad PC.