UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Obtención del sistema integrado de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.)

I.A. Gustavo Enrique Herrera Peña

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Maestría en Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2015

Obtención del sistema de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) en el cultivo de Palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.)

I.A. Gustavo Enrique Herrera Peña
Código: 07790690

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos y Aguas

Director:

Ingeniero Agrícola (M .Sc. Ph. D.) Jesús Hernán Camacho Tamayo

Línea de Investigación:

Suelos y Aguas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Maestría en Ciencias Agrarias
Bogotá, Colombia

2015

El presente trabajo es dedicado con mucho cariño a mi esposa Yenniffer y a mi hijo Oscar David, quienes son mi mayor motivación.

A mis padres Martha y José Joaquín quienes siempre han estado a mi lado con su apoyo incondicional.

A mi hermano Oscar, que desde el cielo ha puesto una luz en mi camino a seguir. Igualmente a mis demás hermanos que siempre me brindaron su voz de aliento.

Agradecimientos

El autor agradece a MICROFERTISA S.A. por su apoyo económico para el desarrollo del proyecto; a la empresa PALMOSAN S.A., por permitir desarrollar el trabajo en sus plantaciones comerciales; a la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá y al profesor Jesús Hernán Camacho por su dirección y colaboración.

Resumen

El diagnostico nutricional a partir de análisis de tejido foliar y de suelos es un instrumento eficiente para detectar desequilibrios nutricionales y ayudar en el proceso de recomendación de fertilizantes. Así, se tuvo por objetivo la utilización de esta información para la implementación del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), método que utilizada las relaciones entre nutrientes y sus respectivos coeficientes de variación, en una población de alta productividad, constituyendo las normas. En el presente trabajo fueron desarrolladas las normas e índices DRIS, en el cultivo de Palma de aceite, hibrido IRHO en la región central palmera de Colombia. El orden decreciente de las limitantes por deficiencia para concentraciones en tejido foliar es Fe>Zn>S>P>Cl>Mg>B>Na>K>Ca>Cu=Mn>N y para concentraciones de elementos en suelo es Cu>B>Mn=Mg>Al=Na>S>Fe=Ca=N=K>P>Zn, de igual manera fueron calculados los niveles críticos y las franjas de suficiencia con base a los índices DRIS. Con el propósito de obtener mayor confiabilidad en la obtención de los DRIS, previamente se analizó la variabilidad espacial de las diferentes propiedades evaluadas; lo cual permitió su utilidad para la determinación de unidades de manejo mediante el uso del análisis clúster y por componentes principales.

Palabras clave: DRIS, Niveles críticos, Franjas de suficiencia, variabilidad espacial, unidades de manejo.

Abstract

Nutritional diagnosis through tissue analysis and soil fertility test is an efficient tool to identify nutritional imbalances, and in that way, to help in the fertilizers recommendation process. The main goal of the study was to implement a Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). This analytical method utilizes the relationships among nutrients rather than nutrient concentration themselves, their coefficient of variation, and it is usually established in highly productive populations as norm. Noms and DRIS index for oil palm IRHO in the Central Region of Colombia were developed in the present study. Nutrient deficiency in tissue samples was observed following the decreasing pattern described below: Fe>Zn>S>P>Cl>Mg>B> Na>K>Ca> Cu=Mn>N. Nutrient deficiency in soil showed the following trend: Cu>B>Mn=Mg>Al=Na>S>Fe=Ca=N=K>P>Zn. Critical levels and sufficient ranges were calculated based on DRIS index. Spatial variation of the evaluated patterns was calculated previously in order to improve reliability of the DRIS analysis. Such information also allowed for identification of management units through Cluster Analysis and Principal Component Analysis.

Keywords: *Elaeis guineensis* Jacq, DRIS, critical levels, sufficient ranges, spatial variation, management units.

Contenido

Pág.
Resumen ..... **VII**
Lista de figuras ..... **XI**
Lista de tablas ..... **XIII**
Introducción **1**

1. Objetivos **4**
1.1 Objetivo General 4
1.2 Objetivos Específicos 4

2. Marco teórico **5**
2.1 Descripción geográfica de la Zona Central palmera 5
2.2 Importancia económica del cultivo de la Palma de aceite 6
2.3 Importancia del diagnóstico nutricional 7
2.4 Herramientas para el diagnóstico nutricional 8
2.4.1 Niveles críticos y fajas de suficiencia 11
2.5 Interpretación del estado nutricional del cultivo de la Palma de aceite 12
2.6 Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) 16
2.6.1 Establecimiento de las normas DRIS 19
2.6.2 Interpretación de los índices DRIS 21
2.7 Uso de las herramientas estadísticas en el manejo nutricional de cultivos 22
2.8 Análisis de la variabilidad espacial 24

3. Materiales y Métodos **27**
3.1 Caracterización de la zona de estudio 27
3.2 Toma de muestras y análisis de laboratorio 28
3.3 Análisis geoestadístico 29
3.4 Selección población de referencia 30
3.5 Elaboración de los Índices DRIS y su Interpretación. 30
3.5.1 Determinación de la norma DRIS 30
3.5.2 Determinación de los índices DRIS 32
3.5.3 Interpretación de los índices DRIS 34
3.6 Determinación de los niveles críticos basado en los Índices DRIS 35
3.7 Determinación de franjas de suficiencia basado en los índices DRIS. 36
3.8 Establecimiento de las zonas de manejo agronómico 36

4. Análisis de resultados y discusión **39**
4.1 Análisis univariado de la zona de estudio 39
4.2 Análisis de la variabilidad espacial 45

4.3. Determinación de la población de referencia.....53
4.4. Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS).....55
4.4.1. Determinación de las Normas DRIS foliares 55
4.4.1.1. Probabilidad de respuesta a la aplicación de nutrientes basado en el DRIS foliar 64
4.4.1.2. Determinación de los niveles críticos foliares.....65
4.4.1.3. Determinación de las franjas de suficiencia en tejido foliar 73
4.4.2. Determinación de las Normas DRIS para suelo 74
4.4.2.1. Probabilidad de respuesta a la aplicación de nutrientes basado en el DRIS para suelo.....83
4.4.2.2. Determinación de los niveles críticos en suelo.....84
4.4.2.3. Determinación de las franjas de suficiencia en suelo.....90
4.5. Determinación de las unidades homogéneas de manejo 92

5. Conclusiones y recomendaciones 104
5.1 Conclusiones 104
5.2 Recomendaciones 105

Bibliografía 142

A. Anexo: Pruebas de normalidad **.....106**
B. Anexo: Correlación entre las propiedades químicas del suelo y producción de racimos de fruta fresca de Palma**.....116**
C. Anexo: Semivariogramas obtenidos para las variables RFF, pH, Al. Int, C.O., P, B, Zn y Fe……... 126

D. Anexo: Productividad, índices DRIS foliar, índice de equilibrio nutricional (IBN) y secuencia de deficiencia a exceso nutricional para cada una de las muestras tomadas en el cultivo de palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia.....121
E. Anexo: Productividad, índices DRIS para suelo, índice de equilibrio nutricional (IBN) y secuencia de deficiencia a exceso nutricional para cada una de las muestras tomadas en el cultivo de palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia 134
F. Anexo: Graficas de Varianza intragrupal: A) Suelos y B) Foliares.....138
G. Anexo: Correlación de Pearson entre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de fruta fresca de palma.....138
H. Anexo: Correlación de Pearson entre las propiedades químicas en tejido foliar y el rendimiento de fruta fresca de palma.....138

Bibliografía 142

Lista de figuras

Pág.

Figura 3-1: Perfil modal de suelos finca El Samán S.A 28

Figura 4-1: Correlación entre el porcentaje de saturación de bases intercambiables y el porcentaje de saturación de Aluminio 41

Figura 4-2: Mapas de variabilidad espacial para las propiedades de producción de fruta fresca de Palma, pH y Aluminio intercambiable, 50

Figura 4-3: Mapas de variabilidad espacial para Carbono orgánico, Calcio y Fósforo, 51

Figura 4-4: Mapas de variabilidad espacial para Boro, Zinc y Hierro, 52

Figura 4-5: Dispersión de producción para las poblaciones, (CV (%) 9,1 y 5,1 respectivamente), PAP: Población de alta productividad; PBP: Población de baja productividad 53

Figura 4-6: Distribución de frecuencias para los contenidos nutricionales en los diferentes elementos minerales: No limitante (NL), limitante por falta (LF) y limitante por exceso (LE) en la población de alta productividad por la metodología DRIS foliar 62

Figura 4-7: Distribución de frecuencias para los contenidos nutricionales en los diferentes elementos minerales: Limitante por falta (LF), limitante por exceso (LE) y no limitante (NL) en la población de baja productividad por la metodología DRIS foliar 63

Figura 4-8: Correlación de los indices DRIS y las concentraciones de los elementos mayores Nitrógeno, Fosforo y Potasio en tejido foliar Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia. 68

Figura 4-9: Correlación de los indices DRIS y las concentraciones de los elementos secundarios Calcio, Magnesio y Azufre en tejido foliar Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia, 69

Figura 4-10: Correlación de los indices DRIS y las concentraciones de Cloro y Sodio en tejido foliar Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia, 70

Figura 4-11: Correlación de los indices DRIS y las concentraciones de Zinc, Cobre y Hierro en tejido foliar Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia, 71

Figura 4-12: Correlación de los indices DRIS y las concentraciones Boro y Manganeso en tejido foliar Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia, 72

Figura 4-13: Distribución de frecuencias para los contenidos nutricionales en los diferentes elementos minerales: No limitante (NL), limitante por falta (LF) y limitante por exceso (LE) en la población de alta productividad por la metodología DRIS para suelo 81
Figura 4-14: Distribución de frecuencias para los contenidos nutricionales en los diferentes elementos minerales: No limitante (NL), limitante por falta (LF) y limitante por exceso (LE) en la población de alta productividad por la metodología DRIS para suelo 82
Figura 4-15: Correlación de los indices DRIS y las concentraciones de los elementos Nitrógeno, Fósforo y Potasio en suelo para la zona central palmera de Colombia. 85
Figura 4-16: Correlación de los indices DRIS y las concentraciones de los elementos Calcio, Magnesio y Aluminio en suelo para la zona central palmera de Colombia. 86
Figura 4-17: Correlación de los indices DRIS y las concentraciones de los elementos Sodio, Azufre y Zinc en suelo para la zona central palmera de Colombia. 87
Figura 4-18: Correlación de los indices DRIS y las concentraciones de los elementos Cobre, Hierro y Manganeso en suelo para la zona central palmera de Colombia. 88
Figura 4-19: Correlación de los indices DRIS y las concentraciones del elemento Boro en suelo para la zona central palmera de Colombia. 89
Figura 4-20: Dendograma resultante del análisis clúster para suelos y producción, 92
Figura 4-21: Análisis de factores por componentes principales para las subpoblaciones de las unidades de manejo: A) Grupo 1, B) Grupo 2 y C) Grupo 3, 95
Figura 4-22: Dendograma resultante del análisis clúster para análisis foliares y producción. 100
Figura 4-23: Análisis de factores por componentes principales para las subpoblaciones de las unidades de manejo: A) Grupo 1, B) Grupo 2 y C) Grupo 3, 102

Lista de tablas

Pág

Tabla 2-1: Interpretación del contenido de nutrientes en tejido foliar para el cultivo de Palma de aceite**.** 15
Tabla 2-2: Interpretación del contenido de nutrientes en suelo para el cultivo de Palma de aceite**.** 16
Tabla 3-1: Criterio para la interpretación de los índices DRIS. 34
Tabla 3-2: Criterios para la determinación del potencial de respuesta a la fertilización. 35
Tabla 4-1: Estadística descriptiva de las concentraciones de elementos (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Aluminio intercambiable, Sodio, Azufre, Cobre, Hierro, Zinc, Manganeso y Boro), pH, densidad aparente y Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) y producción de fruta fresca (RFF). 40
Tabla 4-2: Distribución de frecuencias de las concentraciones para las propiedades químicas del suelo 41
Tabla 4-3: Estadística descriptiva de las concentraciones de elementos Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Cloro, Sodio, Azufre, Cobre, Hierro, Zinc, Manganeso y Boro en el tejido foliar. 44
Tabla 4-3: Distribución de frecuencias de las concentraciones para las propiedades químicas en tejido foliar 44
Tabla 4-5: Modelo y parámetros estimados de los semivariogramas ajustados de las propiedades químicas de la finca el Samán, 47
Tabla 4-6: Valores medios, desviación estándar y coeficiente de variación para la concentración de nutrientes en tejido foliar para las poblaciones de alta y de baja productividad. 54
Tabla 4-7: Relaciones y normas seleccionadas para Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia, 57
Tabla 4-8: Índices DRIS foliares, para el cultivo de Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia, 60
Tabla 4-9: Frecuencia (%) del potencial de respuesta a la aplicación de nutrientes, 65
Tabla 4-10: Ecuaciones de regresión entre el índice del elemento y la concentración del elemento en tejido foliar 67
Tabla 4-11: Franjas de suficiencia de nutrientes para la interpretación del análisis foliar en el cultivo de Palma de aceite hibrido IRHO, 73
Tabla 4-12: Valores medios, desviación estándar y coeficiente de variación para la concentración de nutrientes en suelo para las poblaciones de alta y de baja productividad. 75

Tabla 4-13: Relaciones y normas para suelos seleccionadas para Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia. 80
Tabla 4-14: Índices DRIS de suelo, para el cultivo de Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia. 83
Tabla 4-15: Frecuencia (%) del potencial de respuesta a la aplicación de nutrientes basado en el DRIS de suelo. 90
Tabla 4-16: Ecuaciones de regresión entre el índice del elemento y la concentración del elemento en suelo 91
Tabla 4-17: Franjas de Suficiencia de nutrientes para la interpretación del análisis foliar en el cultivo de Palma de aceite hibrido IRHO. 93
Tabla 4-18: Valores medios para las diferentes propiedades químicas del suelo y rendimiento para los diferentes grupos de manejo. 96
Tabla 4-19 Análisis de factores por componentes principales para las subpoblaciones de las unidades de manejo: Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3, 98
Tabla 4-20: Valores medios para las diferentes propiedades químicas en tejido foliar y rendimiento para los diferentes grupos de manejo. 100
Tabla 4-21: Análisis de factores por componentes principales para las subpoblaciones de las unidades de manejo: Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3. 103

Introducción

En Colombia, la mayor producción de fruto fresco de Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) se concentra en los departamentos de Cesar, Atlántico, Guajira, Córdoba, Meta, Casanare, Caquetá, Magdalena, Nariño, Cauca, Santander, Norte de Santander y Bolívar (Fedepalma, 2010). El departamento de Santander (zona central palmera Colombiana), se encuentra ubicado como el tercer departamento en área sembrada, motivo por el cual éste cultivo se viene destacando en razón a su importancia económica en el escenario nacional, regional y local (Fedepalma, 2013). Sin embargo, es necesario señalar que existen factores que limitan la producción y calidad del cultivo. Entre los aspectos a destacar se encuentra la nutrición mineral, de la cual se conoce su responsabilidad en la alta productividad durante el ciclo productivo; por consiguiente, es de suma importancia que cada nutriente esté disponible en la solución del suelo en cantidades y concentraciones adecuadas (Ribeiro, 2008; De Araujo, 2010).

Pero este principio no siempre se cumple debido a las características de los suelos de la región, pues estos son de naturaleza pobres en bases intercambiables, de pH ácido y bajos en materia orgánica, condiciones que limitan la disponibilidad de algunos elementos (Garzón *et al.,* 2005); por tanto, el no detectar los desequilibrios existentes en el suelo y en la planta, se manifestará directamente en la productividad (De Araujo, 2010).

La validación del estado nutricional se realiza por medio de análisis de tejido vegetal como herramienta complementaria al análisis de suelo (De Araujo, 2010). Esto permite identificar cuáles son los nutrientes que son más limitantes en el sistema y generar elementos de juicio para la utilización oportuna y conveniente de los fertilizantes, con el objetivo de obtener elevadas productividades y aplicar las cantidades mínimas necesarias con bajos costos y sostenibilidad ambiental (Franco, 2007).

Dicho diagnóstico nutricional se constituye en un instrumento eficiente para detectar desequilibrios y auxiliar el proceso de recomendación de fertilización. Usualmente los diagnósticos son elaborados a partir del análisis químico de tejido foliar y su posterior

comparación con niveles foliares óptimos (Niveles críticos o franjas de suficiencia) (Texeira, 2007). Mediante este método se considera que los nutrientes que se encuentran fuera de estos límites, probablemente restringen el crecimiento, producción y calidad de los frutos (Lahav, 1995; Martin-Prével, 1990).

El planeamiento, validación y calibración de las dosis de nutrientes aplicadas al cultivo de Palma (Reis Jr *et al.,* 2002), se hace en virtud de la ayuda que brinda la toma de muestras y su procesamiento en laboratorio. Para la determinación de desequilibrios nutricionales se han sugerido diversas metodologías para una adecuada interpretación de los resultados y que en conjunto con las producciones obtenidas, se logra la optimización de la productividad del cultivo (Ribeiro, 2008; De Araujo, 2010).

Dentro de los métodos de diagnóstico nutricional, el sistema DRIS (Diagnosis and Recomendation Integrated System) propuesto por Beaufils en 1973 (Rodríguez y Rodríguez, 2000), es un sistemas de interpretación de contenidos de nutrientes de carácter holístico, desarrollado para fortalecer la interpretación de dichos resultados, independientemente de la edad de la planta y clasificar los elementos en el orden de limitación en el crecimiento y desarrollo del cultivo permitiendo un uso universal de las normas (Mourão Filho, 2004; Santana et al., 2008).

La ventaja de este método consiste en permitir identificar algunos casos en que la producción del cultivo está limitada por un desequilibrio nutricional, aun cuando ninguno de los elementos se encuentra en valores inferiores a los niveles críticos (Bangroo et al., 2010; Walworth y Sumner, 1987).

El método DRIS, se basa en el cálculo de un índice para cada nutriente, comparando las relaciones entre un elemento y cada uno de los demás elementos en la muestra, con las relaciones desarrolladas para ese mismo nutriente en una población de referencia (Guindani et al., 2008; Serra et al*.,* 2012).

Como ya fue mencionado, actualmente el manejo nutricional del cultivo se basa en la implementación de niveles medios de referencia de los nutrientes para el cálculo de las dosis de fertilizantes a ser aplicadas en áreas seleccionadas, por ser estas lo más homogéneas entre sí. A pesar de este intento por optimizar las labores, es común la ocurrencia de valores extremos de algunos elementos, sobre todo en aquellos de menor movilidad en el suelo, de forma tal que la implementación de valores medios pueden

resultar en la aplicación de dosis mayores en determinadas áreas e insuficientes en otras (Vieira et al*.,* 2010).

Estas variaciones en los niveles de nutrientes a nivel del suelo, normalmente resultan en parches de fertilidad, que pueden conducir a un estado de nutrición diferenciado en las plantas, produciendo variación en la producción. Además de tener en cuenta la estrecha relación entre el nivel del nutriente en el tejido foliar y el crecimiento y desarrollo de la planta (Bernardi et al., 2002).

Basado en lo anterior una de las opciones de manejo más utilizada para minimizar los efectos de la variabilidad en la productividad de los cultivos es la agricultura de precisión, que representa un conjunto de técnicas y procedimientos implementados para que los sistemas de producción agrícola sean optimizados, teniendo como objetivo principal el manejo de la variabilidad espacial (Molin, 2000). Por eso, para llevar a cabo esta técnica es importante la caracterización y la descripción de la variabilidad espacial de los contenidos de nutrientes, dirigiendo la correlación de estos datos para ayudar en el manejo de la nutrición, sobre todo en lo que se refiere a la aplicación localizada de cantidades variables de fertilizantes (Vieira, 2010).

En el presente trabajo se determina la variabilidad espacial dentro de una población de plantas de Palma, como primer paso, en el propósito de determinar los índices DRIS para el cultivo, y validar el estado nutricional, así como la determinación de los niveles críticos, las franjas de suficiencia y la determinación de las unidades de manejo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar el Sistema de Diagnóstico y Recomendación Integral (DRIS), con el fin de identificar cuáles son los elementos de mayor influencia en la producción de racimos de fruta fresca (RFF) de Palma (*Elaeis guineensis Jacq*).

1.2 Objetivos Específicos

- Establecer el orden de requerimiento de nutrientes en el cultivo de la Palma (*Elaeis guineensis Jacq*).

- Determinar cuáles son los elementos que afectan de manera negativa la producción de racimos de fruta fresca de Palma (*Elaeis guineensis Jacq*).

- Determinar la correlación entre la fertilidad del suelo y el contenido de nutrientes en tejido foliar, mediante del Sistema de Diagnóstico y Recomendación Integral (DRIS)

- Determinar cuáles son los contenidos adecuados a nivel foliar y edáfico de cada uno de los nutrientes esenciales, las relaciones entre elementos y su efecto sobre la planta.

2. Marco teórico

2.1 Descripción geográfica de la Zona Central palmera

La zona central palmera de Colombia, está ubicada en los departamentos de Santander y Cesar, y comprende alrededor de 129.112 hectáreas (Fedepalma 2013). Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1986) y Arias y Múnevar (2004), se pueden identificar dos regiones desde el punto de vista edafológico y productivo; en primer lugar la región Puerto Wilches en Santander y la región sur del departamento del Cesar. La región Puerto Wilches está comprendida por los municipios de Puerto Wilches, San Vicente de Chucurí, Rio negro, Barrancabermeja, Sabana de Torres en el departamento de Santander, y por otra parte, San Martin, San Alberto, Rio de Oro, y Aguachica al sur del departamento de Cesar.

En la zona se presentan amplias variaciones en topografía, clima y suelos que se reflejan en diferencias de potencial de rendimiento del cultivo (Arias y Munevar 2004), pero en general se registra una temperatura promedio de 26 °C, una precipitación de media anual entre 2.000 y 4.000 mm, un brillo solar de 1.607 horas y una humedad relativa de 77.2 % (Romero, 2007).

En esta región, la diversidad en los procesos de formación de suelos ha determinado una amplia variabilidad en las características edáficas, de tal modo que existen desde suelos con incipiente desarrollo como es el caso de suelos pertenecientes al orden de los Inceptisoles, hasta suelos con alto grado de meteorización como son los Oxisoles (Arias y Munevar 2004). Dicha diversidad en los suelos es traducida en una vasta variabilidad de sus propiedades químicas y físicas, lo cual repercute en la productividad potencial de los mismos para el cultivo de la Palma de aceite (Garzón et al*.,* 2005).

2.2 Importancia económica del cultivo de la Palma de aceite

La Palma de aceite tiene gran importancia económica a nivel mundial debido al alto contenido de aceites en sus frutos, contenido en el mesocarpio (aceite de Palma) y en la almendra (aceite de almendra) (Romero, 2012), ubicándose por encima de la producción de aceite de soya, canola y girasol (Galindo y Romero, 2010; Stichnothe y Schuchardt, 2010). El área total en producción de Palma de aceite a nivel mundial presentó un aumento pasando de 9.389 millones de hectáreas en el 2005 a 12.117 en el 2009 (Comte et al*.,* 2012). Indonesia es el país con mayor área en producción registrando 5.350 millones de hectáreas en el 2009 y Malasia posee el mejor rendimiento de aceite de Palma crudo obteniendo 4,39 toneladas por hectárea, seguido de Costa Rica con 4,15 toneladas. (Barrera, 2011; Fedepalma, 2010).

Colombia ocupa el quinto lugar a nivel mundial en área en producción registrando 236 mil de hectáreas para el 2009 y el primero en sur América (Alfonso, 2013; Fedepalma, 2010). La producción se encuentra en diversas zonas del país, identificadas por presentar las condiciones agroecológicas adecuadas para el cultivo, las cuales se distribuyen en los departamentos Cesar, Atlántico, Guajira, Córdoba, Meta, Casanare, Caquetá, Magdalena, Nariño, Cauca, Santander, Norte de Santander y Bolívar, y que conforman las cuatro zonas palmeras de Colombia (Pérez, 2012), las cuales han modificado su porcentaje de participación en área sembrada debido a la incidencia de la enfermedad de Pudrición del Cogollo (PC) (Fedepalma, 2010).

En los últimos años ha aumentado considerablemente el número de hectáreas sembradas en el país, pasando de 161.210 hectáreas en 2001 a 360.537 hectáreas en el 2009. En el rendimiento promedio de aceite de Palma por hectárea desde el 2004 cuando se alcanzó 4,1 toneladas por hectárea (t ha^{-1}), se ha observado una tendencia al descenso pasando de 3,5 t ha^{-1} en el 2008 a 3,4 t ha^{-1} en el 2009. Así mismo, la producción nacional de aceite de Palma crudo redujo su crecimiento promedio anual de 6% en 2008 a 3,2% en 2009 (Fedepalma, 2010).

Estos descensos en la producción de racimos de fruta fresca son atribuidos a algunos factores como la propagación de enfermedades, específicamente la alta incidencia de PC

(Rincón et al*.,* 2012), el cambio en la estructura de edades del área productiva, la entrada de nuevos productores que no han asegurado el manejo eficiente de sus cultivos y las condiciones climáticas adversas (Barrera, 2011; Fedepalma, 2010).

El consumo de aceite de Palma en el país presentó un aumentó de 32,2% en 2009 debido a la demanda para fabricación de biodiesel que absorbió 153.496 toneladas (Fedepalma, 2010). De acuerdo a los estimativos de aumento en el tamaño de la población para el año 2020, se espera que el consumo mundial de aceite de Palma sea de 37,9 millones de toneladas, representando un crecimiento promedio anual de 3,3%. Dada esta dinámica de crecimiento del aceite de Palma, la metas nacionales en área sembrada para el 2020 son de 996.296 hectáreas con una producción de 3.383.892 toneladas, razón por la cual un factor vital de manejo encaminado a obtener una adecuada nutrición del cultivo, es fundamental para alcanzar la máxima producción por unidad de superficie (Guzmán y Betancourt, 2007).

2.3 Importancia del diagnóstico nutricional

Uno de los objetivos de la nutrición mineral es llegar a tener incrementos en la producción a través del manejo eficiente de la fertilización (Malavolta et al*.,* 1992). Para llegar a esta meta, inicialmente es necesario determinar correctamente el impacto de las limitantes en producción (Cantaruti et al*.,* 2007). En el cultivo de Palma de aceite (*Elaeis guineensis Jacq*), tal como ocurre como con los demás usos agrícolas de la tierra, la productividad y la rentabilidad están íntimamente ligadas con las características de los suelos sobre los cuales se establecen las plantaciones (Garzón, 2005), debido a que el posible rendimiento del cultivo solo puede logarse a través de una perfecta administración de su nutrición mineral (Caliman, 2004)

El conocimiento de los suelos y de la oferta nutricional es, en consecuencia, un aspecto fundamental para lograr niveles tecnológicos que conlleven a esquemas de producción sostenibles y competitivos (Garzón, 2005). Por tal razón, la fertilización en el cultivo es esencial para lograr el potencial de producción de crecimiento; también para mantener y mejorar la fertilidad del suelo, que frecuentemente es un factor limitante en las áreas sembradas.

La finalidad de un correcto diagnostico nutricional es: (I) suplir los requerimientos nutricionales en épocas críticas, tanto de elementos mayores y secundarios como de micronutrientes esenciales, así como suplir deficiencias nutricionales o evitar antagonismo entre nutrientes que afecten la producción del cultivo; (II) acortar o retardar ciclos en la planta e inducir etapas específicas fenológicas, además, de (III) contrarrestar condiciones de stress abiótico en la planta y el aporte energético en etapas productivas; (IV) nutrición con fines de sanidad vegetal y (V) nutrición con fines en calidad de cosecha (Gómez, 2003).

Existen diferentes métodos para el diagnóstico nutricional de los cultivos que ofrecen resultados satisfactorios si se implementan de manera correcta. Estas metodologías se basan en la respuesta de las Palmas para determinar las dosis de fertilizantes a aplicar y obtener adecuados niveles de nutrientes en el tejido foliar para lograr buenos rendimientos, en lo cual también se debe tener en cuenta un mejor balance entre el nivel de producción y los factores económicos a los cuales están sujetos (Caliman et al., 2004).

En conclusión para el manejo agronómico de los cultivos es necesario conocer y cuantificar los factores que inciden en la disponibilidad de los nutrientes y en la optimización de la productividad de los cultivos. En consecuencia, una fertilización balanceada, oportuna y específica tiene como resultado mayores ganancias para el productor, una buena sanidad vegetal, calidad en la cosecha y equilibrio con el medio ambiente (Malavolta, 1980).

2.4 Herramientas para el diagnóstico nutricional

La evaluación del estado de nutricional envuelve, en síntesis procesos de muestreo, métodos de análisis, técnicas de diagnóstico de los resultados y modelos de interpretación y de recomendación de correctivos y de fertilizantes (Menesatti, 2010). Ante la elevada variabilidad espacial de las poblaciones (suelo-planta), se requiere de técnicas de muestreo para que el diagnostico sea lo más exacto posible (Osorio y Casamitjana, 2001). Ese diagnóstico puede ser apoyado en campo, observando por ejemplo en el crecimiento de la planta, los posibles síntomas de las deficiencias que surgen por la limitación de algún nutriente (Vargas et al*.,* 2009).

El desarrollo y utilización de métodos de diagnóstico ha sido de mucha utilidad en la agricultura para conocer la necesidad nutricional de los cultivos y con ello alcanzar el máximo rendimiento económico. Para una recomendación de fertilizantes adecuada, es necesario identificar cual o cuales nutrientes son más limitados para la producción (Vargas et al*.,* 2009). Según Lantmann et al. (2002), mediante el uso de resultados de análisis de suelo y foliares, se pueden identificar las deficiencias y el exceso nutricional que sirve como base para las recomendaciones de fertilización en términos económicos.

El análisis químico de suelos es muy útil para escoger suelos fértiles para el establecimiento del cultivo, para determinar las necesidades nutricionales a largo plazo y ayuda a interpretar y diagnosticar los requerimientos de los fertilizantes (Owen, 1993). Se fundamenta en la identificación de clases de fertilidad en el suelo y corresponde con una acción de recomendación con base a tablas de respuesta (Caliman, 2004). Más recientemente, se han impulsado y desarrollado modelos fundamentados en el balance nutricional, que, en síntesis, emplean resultados de análisis químico de suelo y la demanda nutricional de la planta para determinada productividad esperada (Nemon et al*.,* 2005).

En cultivos perennes el análisis de suelos no es tan preciso para determinar los requerimientos de fertilizantes como en los cultivos anuales, pero, de igual forma sus objetivos son:1) proveer un índice de disponibilidad de nutriente en el suelo, 2) predecir la probabilidad de respuesta a la fertilización o enmienda, y 3) proveer la base para el desarrollo de recomendaciones de fertilización (Gutiérrez Boem et al., 2005; Havlin et al*.,* 2005). Claramente, el análisis de suelo constituye una de las mejores prácticas de manejo para el uso de fertilizantes, ya sea para fines de producción como de protección ambiental.

La metodología del análisis de suelo es basado en simular extractantes químicos, en el sistema radicular y la adquisición de los nutrientes por parte de la planta (Carter y Gregorich, 2006). Sin embargo esto no tiene en cuenta factores como temperatura y aireación debido a que la disponibilidad de los nutrientes varía con el clima especialmente por la precipitación y todavía la más alta o más baja absorción verdadera de las necesidades de la planta (Amberger , 2006; Castro y Gómez,2010). Por ser la Palma africana un cultivo perenne, éste puede absorber nutrientes no disponibles en el

momento del análisis por absorción posterior de las arcillas y la materia orgánica| (Owen, 1993).

Otra limitación del análisis de suelos es el muestreo, que parte del supuesto que la zona de la toma de la muestra representa la porción de suelo explorada por las raíces. Existe un gran volumen del suelo donde las raíces extraen los nutrimentos, y el muestreo de suelos no logra tomar una muestra representativa (Owen, 1993).

El análisis foliar es un medio de diagnóstico del estado nutricional de la Palma de aceite que cumple un papel clave en el manejo de la fertilización del cultivo a escala comercial (Munévar et al*.,* 2005). El análisis de tejido foliar es otra herramienta útil cuyo resultado suministra un nivel puntual de la concentración de los elementos (Marschner 1995), sirve para reconocer anticipadamente cualquier deficiencia o abundancia de los elementos, de modo que exige procedimientos adecuados para la interpretación de los datos debido a la naturaleza dinámica de la composición del tejido (Munévar y Franco, 2002), el cual es fuertemente influenciado por la edad de la hoja, el estado de madurez de la planta y por las interacciones que indican la absorción y translocación de los nutrientes (Ruız-Bello y Cajuste, 2002).

La composición óptima es aquella en que la Palma está en máximo desarrollo y/o producción para determinada región (Caliman, 2004). El análisis foliar detecta deficiencias nutricionales en su fase inicial, por tanto, es indispensable la estandarización del método de toma de las muestras (número de las hojas, el tejido, edad y número de Palmas) y el análisis químico en sí.

Tradicionalmente, en los resultados de laboratorio el numerador en el cálculo de la concentración de nutrientes en la hoja, es el peso del elemento en la muestra y el denominador es la materia seca obtenida de la muestra después de someterla a procesos de secado. La dependencia de la materia seca como el denominador es una de las debilidades de este método. Un Aumento en el peso seco por cualquier razón, por ejemplo: acumulación de azucares, almidón u otros elementos, reducirá la concentración del nutriente de interés, incluso si el peso total de ese nutriente no cambia su contenido (Walworh y Sumner, 1987). Esto se conoce como el efecto dilución y viceversa para el efecto de concentración cuando la materia seca disminuye (Jarrel y Beverly, 1981). En síntesis, la concentración de nutrientes varía como efecto de los contenidos de masa

seca y esta a su vez también se altera como respuesta a la variación de la condiciones ambientales (Keong y Keng, 2012), tal como lo registra Santacruz (2004), en la zona palmera de los llanos orientales, lo que conlleva a interpretaciones inexactas de los nutrientes cuando se comparan con valores de referencia (Schumann, 2009).

El análisis de tejido es considerado un método más directo para la evaluación del estado nutricional en comparación del análisis de suelo, pero este método debe necesariamente involucrar la zona adecuada para la toma de la muestra, además, debe tomar en cuenta los procesos que suceden en el suelo y que pueden limitar la disponibilidad de los mismos para su absorción por parte de la planta (Hundal, 2007).

2.4.1 Niveles críticos y fajas de suficiencia

Entre otras propuestas para la interpretación de los análisis, fueron desarrollados métodos bastante utilizados tales como, el nivel crítico y las franjas de suficiencia que son definidos como los contenidos mínimos de un nutriente que se correlaciona con crecimiento o productividad máxima. (Taiz y Zeiger, 2004).Según Epstein y Bloom (2006) el nivel crítico se refiere a la concentración de un nutriente en el tejido en el que un 90% de la máxima producción o crecimiento es esperado. Escano et al (1981) y Reis Jr y Monnerat (2002) definen el nivel crítico como la concentración de un nutriente por encima de la cual se presenta una mínima o ninguna respuesta en el aumento de la producción esperada. Malavolta (1980) definió como concentración crítica y/o franjas de suficiencia a la concentración de un elemento por el cual, debajo de este, la producción está limitada y por encima del cual la fertilización no es económica.

Según Martínez et al (2003) las mayores ventajas del uso de la metodología de niveles críticos, es la facilidad de interpretación y la independencia entre los niveles, o sea, la concentración de un nutriente no afecta el comportamiento del otro.

Por otro lado, existen fallas en el método, entre ellas, el hecho que el método no identifica cuál o cuáles nutrientes limitan la producción, y no puede definir si la deficiencia es aguda o no (Baldock y Schulte, 1996).

Otra limitación en la determinación del nivel crítico es la necesidad de utilización de ensayos para la calibración de curvas como es descrito por Taiz y Zeiger (2006). Este autor afirma que la determinación del nivel crítico de un nutriente es obtenido a través de

curvas de crecimiento de plantas obtenidas por el cultivo en suelos o en solución nutritiva en que se suministran los nutrientes, menos aquel en que la concentración critica está siendo determinada donde se hace adición gradual de este nutriente, inicialmente con valores bajos hasta valores altos, de lo cual se espera concentraciones por encima del nivel crítico.

Para evaluar el estado nutricional de los cultivos, se están utilizando como nivel crítico valores obtenidos de la literatura como resultados de experimentos controlados y supuestamente ideales. Sin embargo, cuando se utiliza valores de la literatura es necesario considerar la condición eco fisiológicas de los cultivos; por no tener ninguna seguridad de probabilidad de respuesta a la aplicación de un nutriente dado que se considere esté por debajo del valor obtenido como crítico.

Por estas limitaciones, fueron desarrolladas las franjas de suficiencia concebidas como el intervalo de valores de nutrientes en un órgano o parte de la planta que permitiría la producción del cultivo, compatiblemente con las condiciones eco-fisiológicas con tecnologías económicamente viables.

Según Battaglia et al. (1992), citado por Harger (2008), generalmente no existe un determinado punto de optima productividad, sino un cierto rango, debido al aumento en la producción obtenido con dosis crecientes de nutrientes. Por otra parte, el diagnóstico foliar con el uso de franjas de suficiencia es relativamente menos afectados por pequeños efectos locales de medio ambiente y de la propia planta en relación con el nivel crítico (Ribeiro, 2008), una vez que los límites de las franjas de suficiencia son mayores. Por lo tanto, se considera que recomendar niveles deseables de nutrientes es suficiente para mantener las concentraciones ligeramente por encima del nivel crítico.

2.5 Interpretación del estado nutricional del cultivo de la Palma de aceite.

La Palma de aceite es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia Arecaceae, originaria del golfo de Guinea en el África occidental, de ahí su nombre científico, *Elaeis guineensis* Jacq (Siew, 2003). Es una planta típica de climas cálidos que crece en zonas ubicadas por debajo de los 500 metros sobre el nivel del mar (Pérez, 2012). Se considera como un cultivo perenne y de largo rendimiento (Rafii et al., 2013; Zuñiga, 2007), debido

a que posee una vida útil aproximadamente 50 años, aunque desde los 25 años se dificulta su procesamiento debido a la altura que el tallo ha alcanzado a esa edad (Fedepalma 2007). El adecuado desarrollo del cultivo se presenta en regiones con precipitación mayor a 2000 mm al año, una temperatura media anual que puede oscilar entre 25 y 29 grados centígrados y un pH óptimo del suelo entre 4.5 y 7.5 (Paramananthan 2003).

La obtención de altos niveles de rendimiento de frutos y aceite conlleva a la extracción de altas cantidades de nutrientes, ubicando a la Palma de aceite entre los diez cultivos más fertilizados en el mundo (Ross, 2004). Dichos nutrientes deben restituirse al suelos para no empobrecerlo y para soportar nuevos ciclos de producción (Munévar, 2002). Por otra parte, las concentraciones de nutrientes de muchos suelos cultivados con Palma de aceite en Colombia son insuficientes para el desarrollo adecuado del cultivo, por lo cual es necesario su mejoramiento mediante la aplicación de fertilizantes (Munévar, 2001).

Normalmente el cultivo de Palma de aceite responde de manera satisfactoria a la aplicación de fertilizantes. Sin embargo, se observan diferencias significativas en desarrollo y rendimiento entre áreas con características edafoclimáticas diferentes, además de diferencias en los requerimientos nutricionales de los estados maduros e inmaduros (Caliman *et al.,* 2004).

La fertilización representa el componente más grande en los costos de producción (Garzón, 2005). Actualmente este rubro representa aproximadamente el 30 % de los gastos para mantenimiento (Guzmán, 2007), por lo que sea hace indispensable el conocimiento de herramientas que ayuden a identificar de manera correcta las limitaciones con el fin de reducir este gasto mediante la aplicación de cantidades adecuadas, en el momento preciso y de acuerdo a su localización, para potencializar la producción (Molín *et al.,* 2008).

Por otra parte el impacto ambiental de las prácticas agrícolas se ha convertido en una preocupación importante para ambientalistas y consumidores, por lo que se asume que este aspecto tendrá que ser considerado como importante en la programación de fertilización de las plantaciones (Garzón, 2005).

La adecuada fertilización de la Palma de aceite es necesaria no solo desde el punto de vista de su efecto directo sobre los rendimientos de fruta fresca y aceite, sino que la

nutrición completa y balanceada juega un papel importante en la prevención de enfermedades y ataques de plagas que afectan el cultivo y que finalmente inciden de igual manera en la producción (Munévar, 2001).

La planta de Palma de aceite en todas sus etapas de crecimiento demanda nutrientes desde unos pocos días después de la germinación, hasta el final de la etapa productiva. Se requiere que el medio de crecimiento esté aportando los nutrientes en cantidad suficiente y en forma balanceada (Munévar, 2001).

En el cultivo de la Palma en Colombia según Munévar (2001), se implementan diferentes procedimientos para establecer la recomendación de fertilizantes. Estos procedimientos se encuentran agrupados en cuatro categorías i) El método basado en los niveles críticos en el suelo y en las hojas; ii) El método basado en la relación optima entre nutrientes; iii) El método basado en funciones de respuesta agronómica en rendimiento; iv) y el método del balance de nutrientes, siendo el método basado en los niveles críticos en suelos y tejido foliar el más usado en el gremio palmero.

Esta metodología se desarrolla mediante la comparación de los resultados obtenidos con tablas de referencia de niveles críticos u óptimos que se considere como adecuados para las condiciones del cultivo como se puede observar en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. Posterior a esta comparación se procede reponer la diferencia en concentración del elemento mediante la aplicación de fertilizantes (Munévar, 2001).

Por otra parte los análisis de suelos juegan un papel importante en el diagnóstico del estado nutricional del cultivo y complementan de manera efectiva la información aportada por los análisis foliares.

Además del papel indiscutible que juegan los análisis de suelo para tomar decisiones sobre el uso de enmiendas y fertilización antes de la siembra y en la etapa inmadura del cultivo, en la etapa madura dichos análisis permiten conocer el aporte potencial de nutrientes que se puede esperar y otros aspectos importantes que no se reflejan directamente con los análisis foliares, como por ejemplo; los desbalances entre nutrientes en el suelo, o los excesos de acidez, alcalinidad, salinidad o sodicidad, a la vez que

pueden brindar el conocimiento de las características químicas actuales del suelo las cuales son fundamentales para realizar la elección acertada de las fuentes de nutrientes a usar como fertilizantes (Munévar, 2001).

Tabla 2-1: Interpretación del contenido de nutrientes en tejido foliar para el cultivo de Palma de aceite (Múnevar, 2001)**.**

Elemento	Clasificación		
	Bajo	Medio	Alto
N (%)	2.33	2.34-2.59	2.6
P (%)	0.15	0.16-0.17	0.18
K (%)	1.07	1.08-1.19	1.2
Ca (%)	0.58	0.59-0.64	0.65
Mg (%)	0.24	0.25-0.27	0.28
S (%)	0.22	0.23-0.25	0.26
B (mg kg^{-1})	15	16-17	18
Cl (mg kg^{-1})	0.5	0.51-0.69	0.7
Fe (mg kg^{-1})	71	72-79	80
Mn (mg kg^{-1})	134	135-149	150
Zn (mg kg^{-1})	13.4	13.5-14.9	15
Cu (mg $kg^{-1)}$	4.3	4.4-4.9	5

Al igual que en los análisis foliares, en la interpretación de los resultados de los análisis de suelo se utilizan tablas de niveles críticos o niveles de referencia como los observados en la **Tabla 2-2**.

Tabla 2-2: Interpretación del contenido de nutrientes en suelo para el cultivo de Palma de aceite (Múnevar, 2001)**.**

Parámetro	Unidades	Clasificación		
		Bajo	Medio	Alto
pH		< 4.5	4.5- 5.5	> 5
Materia Orgánica	%	< 2	2-4	> 4
CIC	$cmol_c\ kg^{-1}$	<10	10-20	> 20
P (Bray II)	$mg\ kg^{-1}$	< 15	15-20	> 20
K	$cmol_c\ kg^{-1}$	<0.2	0.2-0.4	> 0.4
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	<0.4	0.4-0.6	> 0.6
Mg	$cmol_c\ kg^{-1}$	<0.2	0.2-0.3	> 0.3
S	$mg\ kg^{-1}$	< 10	10-15	> 15
B	$mg\ kg^{-1}$	< 0.25	0.25-0.5	> 0.5
Fe	$mg\ kg^{-1}$	< 15	15-30	> 30
Cu	$mg\ kg^{-1}$	< 0.5	0.5-1.5	> 1.5
Mn	$mg\ kg^{-1}$	< 5	5-10	> 10
Zn	$mg\ kg^{-1}$	< 1	1-2	> 2
Saturación de Al	%	< 25	25-50	> 50
Saturación de K	%	< 3	3-6	> 6
Saturación de Ca	%	< 20	20-40	> 40
Saturación de Mg	%	< 10	10-20	> 20
Saturación de Na	%	< 10	10-15	> 15

2.6 Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS)

Los métodos convencionales para la interpretación de análisis de tejido foliar, realizan la comparación de la concentración de nutrientes en el tejido con valores de referencia como los niveles críticos o rangos de suficiencia. Estas concentraciones de nutrientes se pueden encontrar muy por debajo o por encima de los valores de referencia y son asociados con la disminución del crecimiento así como del rendimiento y la calidad de los cultivos (Mourão - Filho, 2004; Teixeira, 2007). Estas metodologías evalúan de forma aislada los valores de deficiencia o exceso sin tener en cuenta la evaluación del balance nutricional (Maia, 1999; Nayak et al*.,* 2011).

Por otra parte, se presenta una gran dificultad en el establecimiento de los niveles críticos consistentes y relacionarlos con altas producciones, principalmente porque el estado nutricional varía con la maduración del tejido (De Araujo, 2010). Así la definición de la muestra es un paso fundamental para una mayor precisión de estos métodos.

Una interpretación para el análisis de tejido fue propuesto por Beaufils (1973), llamado Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS). Se basa en el cálculo de un índice para cada elemento, considerando sus relaciones con los demás (Souza, 2011). Este método involucra la comparación de las relaciones o cocientes de cada par de nutrientes por lo que es llamado método bivariado (N/P, P/N, N/K, K/N…) (Silva et al., 2004), con las relaciones medias correspondientes a las normas pre establecidas a partir de una población referencia.

Dichas relaciones experimentan menores variaciones con la edad de la planta, por ejemplo; en comparación de los niveles críticos o franjas de suficiencia que son valores absolutos o individuales de las concentraciones de nutrientes, también llamados métodos univariados, debido a que solo se toma en consideración la concentración individual de nutrientes en tejido foliar y no provee información acerca de la relación adecuada o balance entre nutrientes (Maia, 1999). Al usar las relaciones se minimiza el efecto de concentración o de dilución, en otras palabras, su concepción fue para hacer la interpretación menos dependiente de las variaciones de la muestra, con respecto de la edad, origen del tejido vegetal, permitiendo un ordenamiento de los factores limitados en la producción y así realizar el balance de nutrientes en un orden descendiente.

El método DRIS se basa en la ley del mínimo de Liebig, que establece que el rendimiento máximo posible es función directa del factor más limitante de acuerdo a las necesidades del cultivo, pero también es fundamentada en la ley de Mitscherlich o de los rendimientos decrecientes, la cual señala, que el rendimiento puede incrementarse por efecto de cada uno de los factores, siempre y cuando no estén presentes en sus niveles sub-óptimos o mínimos (Garza, 2002).

Para De Salvo (2001), las premisas del funcionamiento del método DRIS son basada en: a) Las relaciones de los nutrientes frecuentemente son mejores indicadores de deficiencias nutricionales que los valores de las concentraciones de manera aislada; b)

Las relaciones entre algunos nutrientes son más importantes o significativas que otras; c) Los máximos rendimientos solamente son alcanzados cuando las relaciones más importantes de nutrientes están cerca del ideal o valores óptimos y son obtenidos de poblaciones seleccionadas con altos rendimientos; d) como consecuencia del enunciado (c) la varianza de una relación de nutrientes de importancia es más pequeña en plantas de altas producciones (población de referencia) que en poblaciones de bajos rendimientos y la relación entre las varianzas de las poblaciones de bajo y alto rendimiento, pueden ser usadas en la selección de las relaciones de nutrientes significativas; e) el índice DRIS puede ser calculado de manera individual para cada nutriente usando el promedio de la desviación estándar de una relación de nutrientes obtenida de la comparación, con el valor óptimo de una relación de nutrientes dada y el valor ideal del índice DRIS para cada nutriente debe ser cero (Bangroo, 2010).

En general, el método DRIS posee algunas ventajas en comparación a otros métodos de diagnóstico: presenta una escala continua y de fácil interpretación, permite la clasificación de los nutrientes (del mas deficiente a el elemento que presenta mayor exceso), puede detectar casos de limitación de rendimiento por desbalance entre elementos aun cuando ninguno de los nutrientes se encuentra en valores inferiores al nivel crítico (Dos Santos, 2004) y finalmente, permite diagnosticar el balance nutricional total de la planta a través del Índice de Balance Nutricional (IBN) (De Souza et al*.,* 2013).

Actualmente debido a la eficiencia en la interpretación de los resultados de análisis químicos de materia vegetal para diversos cultivos, el sistema integrado de diagnóstico y recomendación tiene su aplicación bastante difundida en el mundo. Desde sus inicios con la propuesta inicial de Beaufils, el DRIS es utilizado para diferentes especies de plantas.
Entre los principales especies diagnosticadas por el método DRIS están: Papa (Gracia, 2002), Maiz (Cornforth et al*.,* 2012; Youssef et al*.,* 2013;), Soja (Castamann et al*.,* 2012; Harger, 2008), Eucalipto (Wadt, 1996), Algodón (Serra et al*.,* 2010) Café (Partelli et al., 2007), Caña (Subiros y Salas, 2007), Maracuyá (Carvalho, 2011), entre otros.

En relación a la aplicación del método DRIS en Colombia se encuentra desarrollado en rosas de corte por Franco (2007), y en el cultivo de caucho por Chacón (2012) y el

presente trabajo que propone la primera implementación de esta metodología para el cultivo de Palma de aceite

2.6.1 Establecimiento de las normas DRIS

Contrario de los criterios del nivel crítico y de las franjas de suficiencia, donde los patrones de referencia son establecidos mediante experimentación de la aplicación de dosis de fertilizantes, los índices DRIS usan como patrón nutricional una población de referencia, establecida con base a plantas de alta productividad (Ribeiro, 2008).

La obtención de los valores patrones, también llamados “NORMAS”, consiste en el primer paso para la implementación de cualquier método de diagnóstico nutricional (Santana et al*.,* 2008). Las normas DRIS siempre son obtenidas en poblaciones de alto rendimiento, llamadas población de referencia seleccionada del total de la población (Neto, 2013).

La base de datos para la definición de las normas puede tener un tamaño variable en función de las premisas a ser adoptadas en el método que debe ser uniforme respecto de las características del cultivo. Las normas obtenidas de unas larga base de datos son derivadas de diferentes tipos de suelo, condiciones ecofisiológicas y variedades, usualmente no pueden ser generalizadas y ellas serán representativas solo si incluyen toda la variabilidad de la población.

La utilización de la población de referencia con plantas de alta productividad, presupone que el valor medio de la relación entre dos nutrientes cualquiera, están más próximos del optimo fisiológico (Silva, 2006).

La población elegida o la base de datos para la definición de las normas debe ser subdividida en dos subpoblaciones o categorías de la siguiente formas: a) Plantas normales o población de referencia, las cuales no son influenciadas por condiciones adversas y presentan rendimientos significativamente superiores a un nivel establecido de manera arbitraria; b) plantas anormales, o población de no

referencia, influenciada por otros factores con rendimientos inferiores al límite establecido.

Según Walworth y Sumner (1987), la referencia límite para la separación de las dos subpoblaciones debe ser arbitraria, esto basado en que cada subpoblación debe presentar distribución normal. De otra forma, se consideran que la población de referencia debe contener como mínimo el 10 % de los datos totales observados. (Ribeiro, 2008)

Las normas DRIS son originadas después de la definición de la población de referencia, en otras palabras, la relación entre pares de nutrientes y la obtención de su respectiva media, desviación estándar y coeficiente de variación (Urricariet et al*.,* 2007).

La relación entre un par de nutrientes puede ser directa o inversa. La relación de Nitrógeno y Fósforo, por ejemplo puede ser expresada como N/P o P/N, la cual es llamada forma de expresión (Mourão-filho, 2004). Para el cálculo del índice DRIS, cada par de nutrientes es discriminado solo por una forma de expresión (Sharma et al*.,* 2007). Existen diferentes criterios para seleccionar la forma de expresión más adecuada donde la más usada es la mayor relación de varianzas entre las poblaciones de alta y baja productividad teniendo como fundamento el determinar las relaciones con menor variabilidad (menor varianza), denominada valor “F” (Franco, 2007).

Posterior a la definición de las normas, los resultados de los análisis de cada una de las muestras son sometidas al cálculo de los índices DRIS. Dicho índice es calculado en dos pasos (Walworh y Sumner, 1987):

1) Cálculo de las funciones de las relaciones de cada par de nutrientes.
2) La suma de las funciones que involucra a cada nutriente.

2.6.2 Interpretación de los índices DRIS

El método DRIS expresa los resultados del diagnóstico nutricional a través de índices, que representan en una escala numérica el efecto de cada nutriente en el balance nutricional de la planta (Njukeng et al*.,* 2012). Cuando asume valores negativos, se interpreta que hay una deficiencia de ese elemento respecto de los demás y por el contrario, cuando asume valores positivos, indican exceso (Da Silva, 2005; Reis Jr, 2003), y cuanto más próximos a cero se encuentren los índices, la planta se encontrará más cercana al equilibrio nutricional para el elemento estudiado (Wadt, 2005), esto permite la clasificación de nutrientes en orden de importancia de la limitación de la producción y suministra al mismo tiempo, un indicador de la intensidad de la exigencia de determinado nutriente en la planta (Ribeiro, 2008).

La metodología DRIS suministra información de gran importancia importante que se reconoce Índice de Balance Nutricional (IBN), el cual consiste en la suma de los valores absolutos de los Índices DRIS de cada nutriente, permitiendo conocer el estado nutricional de cada individuo (Bailey et al*.,* 2007). Frente a lo anterior, se puede decir que, allí donde menor sea el IBN, mejor será el estado nutricional de la población en cuestión, razón por la cual se puede determinar el grado de balance o desbalance nutricional y permite compara el equilibrio nutricional de diferentes muestras y cultivos entre sí (da Silva y Carvalho, 2005).

De la misma manera se puede realizar el cálculo del Índice de Balance Nutricional Medio (IBNm), el cual es resultado de la suma de los índices DRIS de cada uno de los elementos divididos en el número total de elementos en estudio.

Una de las dificultades del uso del “índice de balance nutricional medio” (IBNm) como técnica de diagnóstico se refiriere al hecho de que los valores absolutos de los índices calculados pueden variar con el número de relaciones binarias involucradas, sin permitir evaluar en cada caso el potencial de respuesta de la fertilización (Harger, 2008). Buscando mejorar la interpretación de los resultados de los DRIS, Wadt (1996) ha desarrollado el método de potencial de respuesta. Según las recomendaciones de Wadt et al (1998), el concepto base para la adición de nutrientes, es la respuesta potencial a la fertilización, el cual se debe considerar

como un ajuste en las dosis de nutrientes a aplicar. Por ejemplo, cuando decimos que el nutriente se encuentra en equilibrio y se adicionan al cultivo no se traducirá en una mejora de la productividad. Esto no significa que debe ser excluido de la recomendación de fertilizantes, sino que la fertilización se debe mantener con las mismas dosis que se habían utilizado.

A través de este método se definen cinco clases de probabilidad de repuesta a la aplicación de nutrientes mediante la fertilización, comparándose el índice calculado para determinado nutriente y el índice de balance nutricional medio (IBNm). De acuerdo con Wadt, (1996) y Harger (2008) se tienen cinco clases de probabilidad de respuesta a la fertilización y son definidas de la siguiente manera:

Clase 1: Respuesta positiva (P). Tiene probabilidad de ocurrir cuando el índice DRIS para determinado nutriente, siendo el de menor valor, es simultáneamente mayor que el IBNm.

Clase 2: Respuesta positiva o nula (PZ), tiene probabilidad de ocurrir cuando el índice DRIS de un nutriente es negativo y siendo mayor que el IBNm, no es el de menor valor.

Clase 3: Respuesta nula (Z), tiene posibilidad de ocurrir cuando el Índice DRIS de un nutriente es menor o igual al IBNm

Clase 4: Respuesta negativa o nula (NZ), Tiene probabilidad de ocurrir cuando el índice DRIS de un nutriente es positivo o mayor que el IBNm, no siendo el índice de mayor valor

Clase 5: Respuesta negativa (N), tiene probabilidad de ocurrir cuando el índice DRIS de un nutriente, siendo mayor que el IBNm, es el mayor de todos los índices DRIS.

2.7 Uso de las herramientas estadísticas en el manejo nutricional de cultivos

La finalidad de la interpretación en el levantamiento de suelos es proporcionar la mejor información posible sobre el suelo y sus posibles formas de uso. Las interpretaciones están destinadas a proporcionar una base para hacer la elección

entre alternativas en el uso y manejo. Agrupaciones de interpretación son una parte importante de la interpretación de estudio de suelos. En un sentido, son un método de análisis, así como un método de presentación. La construcción de una agrupación de interpretación comúnmente requiere una serie de grupos de suelos de acuerdo a los conjuntos seleccionados de características similares (Nolin et al*.,* 1989).

Los cambios, transformaciones y neo-formación de los minerales que se producen en el suelo, son condicionados por numerosos factores físicos, químicos y biológicos, tales como cambios locales en la humedad, absorción, lixiviación, la actividad biológica y pH (Kummer et al*.,* 2010). Como consecuencia, el suelo puede ser bastante heterogéneo, incluso en lugares contiguos (Barbar y Melo, 2008). Varios estudios demuestran variaciones en las propiedades químicas del suelo en una distancia corta (Wollenhaupt et al., 1994).

El análisis multivariado permite la identificación de las relaciones entre un grupo de propiedades o muestras estudiadas. El análisis de componentes principales (ACP) y clúster son herramientas ampliamente utilizadas para la clasificación, el modelado y la evaluación en los estudios ambientales (Panishkan, 2010). En el estudio de las propiedades del suelo, el análisis multivariado es una herramienta que permite la caracterización de un área y el establecimiento de la interacción con el entorno de cada propiedad y el grupo resultante (Camacho et al*.,* 2013).

El ACP es una técnica estadística que simplifica la información, es decir, construye nuevas variables como resultado de la combinación lineal de las variables originales, reduciendo así el número de variables y analizándolas como componentes, para la explicación de un todo. El análisis de componentes principales es el primer paso en el análisis por factores y es menos dependiente de las decisiones subjetivas (Demey et al*.,* 1994).Esto significa que los componentes principales resumen en pocas dimensiones la mayor parte de la variabilidad de un gran número de variables, por lo que los componentes principales sucesivos corresponden a porcentajes cada vez menores de la varianza total, y el problema consiste en determinar cuántos componentes pueden ser interpretados (Philippeau, 1990).

El Análisis de clúster (Análisis de conglomerados) es una técnica de análisis exploratorio que delimita grupos donde los atributos presentan algunas semejanzas entre sí. La no semejanza entre los datos es una distancia medida. Para esto se utiliza la distancia Euclidiana y puede separar un conjunto de atributos en grupos y representar los resultados en forma gráfica (Díaz y Morales, 2012), además de facilitar la identificación de los grupos formados por los atributos analizados (Villardón, 2007).

Los resultados del análisis clúster son presentados mediante un esquema gráfico en forma de árbol en el que resume el proceso de agrupación de un análisis de clúster, donde los objetos similares se relacionan mediante enlaces cuya ubicación está determinada por el nivel de similitud o disimilitud entre estos, mediante dendogramas (Ludwig y Reynolds, 1998).

2.8 Análisis de la variabilidad espacial

La variabilidad espacial de las propiedades del suelo y de los rendimientos de los cultivos ha sido reconocida desde los inicios de la agricultura (Ortega y Flórez, 1999). Esta variabilidad es generada por la intensidad de los procesos formadores del suelo y la influencia de factores antrópicos. El aumento del tamaño de las áreas de cultivo y el uso intensivo de la mecanización llevó al manejo homogéneo de los campos sin tener en cuenta la variabilidad espacial de los lotes de siembra representada en las diferencias químicas y físicas en el espacio (Garzón- Gutiérrez et al*.,* 2010).

El suelo se caracteriza por la presencia de múltiples propiedades, existiendo menor variabilidad en aquellas propiedades edáficas en su condición natural, que cuando es sometido a uso y las propiedades que más se afectan por el manejo, serán las que presenten mayor variabilidad (Vásquez, 2010). Comprender la distribución espacial de estas propiedades, facilita las decisiones de manejo tomadas a partir de herramientas de información geográfica que permiten el manejo de cultivos a través de zonas de manejo o agricultura de precisión y manejo por sitio especifico (Mogollón, 2012).

El manejo específico por sitio de acuerdo a las propiedades físicas y químicas del suelo, tiene en cuenta la variabilidad en los sistemas agrícolas y propende por la optimización de los rendimientos y la calidad de los cultivos de acuerdo con la capacidad productiva de cada sitio, el mejoramiento del manejo de los recursos y la protección del medio ambiente (Leiva, 2003; Zhang et al*.,* 2002).

Diferentes trabajos han demostrado que la variabilidad de las propiedades muestra dependencia espacial, en otras palabras, el comportamiento de estas en cualquier punto del área de estudio está ligado a la manera como esta se comporta en los puntos cercanos (Amaro Filho et al*.,* 2007).

Existen diferentes herramientas estadísticas y matemáticas para identificar el comportamiento espacial de las propiedades del suelo y su relación con la producción. Entre las técnicas más empleadas está la geoestadística y la interpolación por el método de kriging, que son útiles para la construcción de mapas y la comprensión de la variabilidad de las propiedades del suelo en un determinado espacio (Gao et al*.,* 2011).

Se ha considerado que la variabilidad espacial es el principal tipo de variabilidad que afecta a los suelos, razón por la cual en los últimos tiempos se ha trabajado intensamente en la adopción y adaptación de metodologías para estudiar dicha variabilidad, de modo que se pueda mejorar el manejo de este recurso para obtener una mayor eficiencia y rentabilidad en la producción agropecuaria, así como unas prácticas más amigables con el medio ambiente (Jaramillo, 2008).

No debe confundirse tendencia espacial con dependencia espacial (Zhang et al*.,* 2002). Se presenta tendencia cuando hay un patrón definido en el espacio. La dependencia espacial establece que el valor que toma una variable en un punto determinado, depende del valor que toma la misma variable en los puntos cercanos, ubicados en un rango de distancia y sobre una dirección (Pierpaoli et al*.,* 2013). Las variables que presentan dependencia espacial adquieren valores más diferentes mientras más alejadas estén de un punto determinado y por el contrario, mientras más cercanas se tomen las muestras, más parecidos son los valores que toma la variable (Jaramillo, 2012; Zhang et al*.,* 2002).

La descripción de la variación espacial de variables se hace a través del desarrollo de semivariogramas (Liu et al*.,* 2014). El semivariograma determina la medida de similitud que existe entre las observaciones situadas a una distancia determinada (Zanão Júnior, 2010). Según Webster (2008),citado por Jaramillo (2012), para el análisis de semivarianza, el grupo de datos debe presentar distribución normal y estacionaridad o, por lo menos, presentar simetría en la distribución y cumplir con la hipótesis intrínseca que sólo es violada cuando hay una tendencia obvia en la variable regionalizada. Lo anterior implica que los datos deben ser al menos simétricos si no se distribuyen normalmente y deben tener varianzas y medias homogéneas en todos los grupos de distancias definidos.

3. Materiales y Métodos

3.1 Caracterización de la zona de estudio

La investigación se desarrolló en plantaciones comerciales de Palma de Aceite, en 113 hectáreas sembradas en el año 2001 con material IRHO, ubicadas en la plantación El Saman, perteneciente al grupo Palmosan S.A., ubicada en el municipio de Sabana de Torres, con coordenadas geográficas 7°23'25'' N, 73°30'01'' W a una altura de 110 msnm. La zona presenta una precipitación anual entre 2000-4000, con una distribución de lluvias suficiente en el primer semestre y excesiva en el siguiente, una temperatura promedio mayo a los 24°C (IGAC, 2003).

La identificación taxonómica del suelo en el área de estudio se realizó teniendo en cuenta que los lotes se encuentran en una misma forma de terreno y en ambientes edafogenéticos similares se realizó la descripción, muestreo y análisis de los horizontes en una calicata (IGAC, 2007). Siguiendo la metodología de la Soil Taxonomy (2010), el suelo se clasificó como un Fluventic Dystrudepts (**Figura 3-1**)**,** que se encuentra ubicado en el paisaje de piedemonte, y el tipo de relieve corresponde a mesas y lomas, y superficies moderadamente onduladas con pendientes entre 7 y 12 % (IGAC,2003; Garzón, 2005).

En la **Tabla 4-1**. Se presentan las características químicas generales de la zona de estudio. Se observa que el suelo del área experimental presenta condiciones ácidas, con valores promedio de pH de 4.24, saturación de aluminio mayor del 50%, saturación de bases promedio de 35% y aluminio de 0.69 $cmol_c$ kg^{-1}. El Fósforo registró valores de 32.39 mg kg^{-1}, diferente a lo reportado por Munévar (2004), posiblemente por efecto de la fertilización realizada en la plantación. Las bases intercambiables Ca, Mg, K, Na presentan valores catalogados como bajos (0,52, 0,2, 0,14 y 0,05 $cmol_c$ kg^{-1},

respectivamente), lo cual coincide con lo reportado por Munévar (2004), al igual que los microelementos, que registran contenidos nativos considerados como deficientes.

Figura 3-1: Perfil modal de suelos finca El Samán S.A

3.2 Toma de muestras y análisis de laboratorio

El muestreo fue establecido en malla rígida, con una distancia de 100 m x 100 m y un número de ciento trece (113) muestras en un área total de 113 hectáreas lo que significó la toma de una muestra por hectárea. Cada punto fue georreferenciado para ubicar las tres Palmas circundantes, con la finalidad de determinar la zona a muestrear.

Las muestras de suelos tomadas en el mes de Mayo del año 2013, a una profundidad de 0.20 m, fueron sometidas a pruebas de laboratorio donde, a nivel químico se determinaron los contenidos de carbono orgánico, mediante el método modificado de Walkley Black; pH a través de potenciómetro en relación 1:1; acidez intercambiable y aluminio intercambiable por titulación; fosforó por el método de Bray II; contenidos de Ca, Mg, K y Na mediante acetato de amonio pH 7,0 y lectura en equipo de absorción

atómica. A partir de estos resultados se estimó la capacidad de intercambio catiónica efectiva, la suma de bases y saturación de bases, acorde con las especificaciones de métodos analíticos de laboratorio para análisis de suelos (IGAC, 2006).

En los mismos sitios donde se realizó el muestreo de suelos también se tomaron muestras de tejido vegetal de acuerdo a la metodología propuesta por establecida Cenipalma. Se toman los foliolos de la parte media de la hoja número 17 para plantas adultas. Estas muestras fueron tomadas en el mes de Mayo del año 2013, coincidiendo con épocas de baja precipitación, y no próximas a fertilización para disminuir la variabilidad de los resultados según lo reportado por Santacruz (2004). Las muestras fueron enviadas al laboratorio para la cuantificación de nutrientes, según metodología abalada por INCONTEC. Para las muestras de análisis de tejido foliar, se determinaron mediante digestión seca y absorción atómica los contenidos de K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn y Zn, colorimetría para P y B; digestión húmeda y método Kjeldahl para N y turbidimetría para S.

Posterior a toma de las muestras de suelos y foliares se procedió a registrar los datos de producción para cada punto. Teniendo en cuenta que la producción del cultivo de Palma está muy asociada a la precipitación pluvial, y con el objetivo de obtener datos confiables, se realizaron seis lecturas, tres en épocas de lluvia (marzo-abril de 2013), y tres en periodos secos (junio-julio de 2013). La media de las seis lecturas se multiplicó por la densidad de siembra por hectárea, la cual corresponde a 143 Palmas por hectárea. El valor que se obtuvo se multiplicó por 24, ya que este es el número de cosechas al año.

3.3 Análisis geoestadístico

De los resultados de los análisis de suelo obtenidos en el laboratorio, se realizó un análisis descriptivo en el cual se determinó la media, mediana, máximo, mínimo, coeficiente de variación (CV), asimetría y curtosis, para cada variable. En cuanto al análisis del CV se tomó el criterio de Warrick & Nielsen (1980), con variabilidad baja para CV menores de 12%, variabilidad media entre 12 y 60% y variabilidad alta para CV mayores a 60%.

Los valores de cada variable en cada punto fueron analizados geoestadísticamente con ayuda del software GS+ v.9 para determinar la variabilidad espacial en el área de estudio. Mediante el uso de la geoestadística se lograron ajustes a modelos de semivarianza de distribución espacial, los cuales fueron verificados mediante el grado de dependencia espacial (GDE), definido como la relación entre el efecto pepita y la meseta (C/Co+C) y que es clasificado por Cambardella et al. (1994) como fuerte si se encuentra por encima del 75%, moderado si está entre el 75% y el 25% y débil si es inferior al 25%. Este GDE junto con los coeficientes de validación cruzada (CVC) próximos de uno (1) de cada modelo corroboró la eficacia de los ajustes indicando cercanía entre los valores observados y los simulados. Para las propiedades que presentaron dependencia espacial se elaboró un mapa de contorno utilizando Kriging ordinario con el programa Surfer v.10.

El análisis de dependencia espacial fue obtenido a través de la teoría de variables regionalizadas (Webster y Oliver, 2007), donde el semivariograma reflejara la dependencia o variabilidad espacial entre las muestras. Para aquellas propiedades que presenten variabilidad espacial, se realizará interpolación por kriging ordinario con el fin de estimar cada propiedad en zonas no muestreadas, cuyo resultado será un mapa de contorno.

3.4 Selección población de referencia

Los resultados de los análisis químicos de suelo y de tejido foliar fueron organizados de manera conjunta con los registros de producción para cada punto de muestreo en una hoja de cálculo de Microsoft Excel™. Posteriormente se realizó análisis de estadística descriptiva para obtener valores de media, desviación estándar, coeficiente de variación y cuartil superior e inferior. Basado en lo anterior, la base de datos fue dividida en población de alta producción (población de referencia) y población de baja producción para el establecimiento de las normas teniendo como criterio los rendimientos ubicados por encima del cuartil superior (31.1 t ha^{-1}), conforme a lo propuesto por Chacón (2012).

3.5 Elaboración de los Índices DRIS y su Interpretación.

3.5.1 Determinación de la norma DRIS

Para el establecimiento de las normas DRIS, fueron tomados los valores de los resultados de los análisis de suelos y de tejido foliar de la población de referencia, en

otros términos, todos los resultados que se encontraban relacionados con producciones iguales o mayores de 31.1 t ha^{-1}.

Para la población de alta productividad, se calculó con ayuda de Microsoft Excel™, las relaciones directas e inversas entre nutrientes, dos a dos para la población de referencia, siendo la relación directa aquella en la cual el nutriente en cuestión aparece en el numerador (A/B) y la relación inversa, aquella en la cual el nutriente en estudio aparece en el denominador (B/A). Para cada relación fue calculado la media (x*)*, la desviación estándar (s) y el coeficiente de variación (CV). El número de relaciones posible (RP) es obtenido por la siguiente ecuación:

$$RP = n(n-1)$$

En donde n = número de elementos en estudio.

La determinación de la norma a utilizar en el cálculo de las funciones DRIS (A/B o B/A) fue realizada por el método de la razón de varianzas o valor F, definida como la relación entre las varianzas, de la población de baja productividad (no referencia) y de alta productividad (población de referencia), siendo escogida la norma de la relación que presentó la mayor razón de varianza (S^2), de la siguiente forma:

Si:

$$\left[\frac{S^2\left(\frac{A}{B}\right)_{\text{Población de no refrencia}}}{S^2\left(\frac{A}{B}\right)_{\text{Población de referencia}}}\right] < \left[\frac{S^2\left(\frac{B}{A}\right)_{\text{Población de no referencia}}}{S^2\left(\frac{B}{A}\right)_{\text{Población de referencia}}}\right]$$

Entonces: La relación que compone la norma es A/B.

Si:

$$\left[\frac{S^2\left(\frac{A}{B}\right)_{\text{Población de no refrencia}}}{S^2\left(\frac{A}{B}\right)_{\text{Población de referencia}}}\right] > \left[\frac{S^2\left(\frac{B}{A}\right)_{\text{Población de no referencia}}}{S^2\left(\frac{B}{A}\right)_{\text{Población de referencia}}}\right]$$

Entonces: La relación que compone la norma es B/A

Siendo que:

$$S^2\left(\frac{A}{B}\right) \text{ Población de referencia}$$

Varianza de los valores A/B en la población de referencia.

$$S^2\left(\frac{A}{B}\right) \text{ Población de no refrencia}$$

Varianza de los valores A/B en la población de no referencia;

$$S^2\left(\frac{B}{A}\right) \text{ Población de referencia}$$

Varianza de los valores B/A en la población de referencia;

$$S^2\left(\frac{B}{A}\right) \text{ Población de no refrencia}$$

Varianza de los valores B/A en la población de no referencia

3.5.2 Determinación de los índices DRIS

En cada muestra a ser evaluada, los desvíos de las relaciones duales (A/B) y/o (B/A) fueron calculados en relación a los valores medios de los mismos cocientes en la población de referencia, siendo las funciones DRIS determinadas de acuerdo con el método de Beaufils (1973):

i)

$$\int \frac{A}{B} = \frac{A/B}{a/b} - 1 \; \frac{1000}{CV}$$

ii)

$$\int \frac{A}{B} = 1 - \frac{a/b}{A/B} \frac{1000}{CV}$$

Donde:

i) Cuando A/B es mayor o igual a a/b

ii) Cuando A/B es menor o igual a a/b

Donde:

A/B: Relación de la muestra.

a/b: Relación de la población de referencia.

CV: Coeficiente de variación asociado a la norma.

Después del cálculo de las funciones se procedió con el cálculo de los índices DRIS siguiendo la fórmula general propuesta por Beaufils (1973) donde, para el nutriente A:

$$\text{Índice de } A = \frac{\int \frac{A}{B} + \int \frac{A}{C} + \int \frac{A}{D} \ldots\ldots\ldots + \int \frac{A}{N}}{Z}$$

$$\text{Índice de } B = \frac{-\int \frac{A}{B} + \int \frac{B}{C} + \int \frac{B}{D} \ldots\ldots\ldots + \int \frac{A}{N}}{Z}$$

$$\text{Índice de } N = \frac{-\int \frac{A}{N} - \int \frac{B}{N} + \int \frac{C}{N} \ldots\ldots\ldots - \int \frac{M}{N}}{Z}$$

Z: Numero de funciones que corresponden al índice de Nutriente.

Con las normas establecidas y después de calculados los índices DRIS, se realizó cálculo del Índice de Balance Nutricional (IBN) y el Índice de Balance Nutricional medio (IBNm), que consiste en la sumatoria de los valores absolutos de los índices DRIS, obtenidos para cada nutriente conforme a la siguiente ecuación:

$$IBN = |I\ DRIS\ A| + |I\ DRIS\ B| + |I\ DRIS\ C| + \cdots + |I\ DRIS\ N|$$

$$IBNm = \frac{IBN}{n}$$

Dónde: n es el número de índices DRIS de nutrientes involucrados en el análisis

3.5.3 Interpretación de los índices DRIS

La interpretación de los índices DRIS fue realizada por medio de la metodología propuesta por Wadt (1996), en la cual los índices fueron agrupados en tres clases establecidas a partir de los índices DRIS de cada nutriente y el IBNm, como se expresa en la **Tabla 3-1**.

Adicionalmente, la interpretación de los índices DRIS también fue realizada clasificando los valores obtenidos para cada nutrientes de acuerdo al potencial de respuesta a la fertilización desarrollado por Wadt (1996) (**Tabla 3-2**).

Tabla 3-1: Criterio para la interpretación de los índices DRIS.

Criterio	Estado nutricional
I DRIS A < 0 y | I DRIS A | > IBNm	Deficiente
| I DRIS A | ≤ IBNm	Equilibrado
I DRIS A > 0 y | I DRIS A | > IBNm	Exceso

Tabla 3-2: Criterios para la determinación del potencial de respuesta a la fertilización.

Estado nutricional	Criterio	Tipo de respuesta a fertilización
Mas deficiente	I DRIS A < 0, | I DRIS A | > IBNm y I_A es el índice de menor valor.	Positiva, con alta probabilidad (p)
Deficiente	I DRIS A < 0 y | I DRIS A | > IBNm	Positiva, con baja probabilidad (pz)
Equilibrado	| I DRIS A | ≤ IBNm	Nula (z)
En exceso	I DRIS A > 0 y | I DRIS A | > IBNm	Negativa, con baja probabilidad (nz)
En mayor exceso	I DRIS A > 0, | I DRIS A | > IBNm y I_A es el índice de mayor valor.	Negativa, con alta probabilidad (n)

3.6 Determinación de los niveles críticos basado en los Índices DRIS

La determinación de los niveles críticos consistió en la determinación de valores óptimos de contenidos de nutrientes. Este método se fundamentó en la determinación de los modelos estadísticos de correlación entre los contenidos de nutrientes y los índices DRIS para luego encontrar el valor del elemento igualando el modelo a cero, teniendo como punto de partida que un elemento se encuentra en equilibrio cuando su Índice DRIS al valor mencionado.

3.7 Determinación de franjas de suficiencia basado en los índices DRIS.

La determinación de la franjas de suficiencia de Beaufils consistió en la determinación de franjas optimas de contenidos de nutrientes para la interpretación de los niveles de los nutrientes. Este método consiste en la determinación de las franjas por medio de los modelos estadísticos de correlación entre los contenidos de nutrientes y los índices DRIS, siendo que, Beaufils (1973) consideró que a partir de los valores óptimos de los índices DRIS se puede determinar los intervalos de desviación estándar de los índices DRIS para cada franja de evaluación del estado nutricional. Siguiendo ese criterio, la franja que comprendería los nutrientes en deficiencia son aquellos que se encuentra por debajo de - 4/3 de la desviación estándar (s) del índice para determinado elemento; tendencia a deficiencia entre - 4/3 a - 2/3 s; suficiente entre - 2/3 a 2/3 s; tendencia al exceso 2/3 a 4/3 s; exceso superior de 4/3 s. Posterior a la obtención de los nuevos índices se procedió a realizar el cálculo de contenido de nutriente usando las ecuaciones de los modelos obtenidos en los niveles críticos.

3.8 Establecimiento de las zonas de manejo agronómico

Los valores medios de las propiedades químicas del suelo y de tejido foliar de los diferentes puntos de muestreo fueron interpretados mediante el uso de herramientas de análisis multivariado, en este caso, el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de conglomerados o clúster (AC), recurriendo al paquete estadístico S.A.S. 9.2.

Los resultados de las propiedades químicas en suelo y planta son obtenidas en diferentes unidades, por lo que se hace necesario la estandarización de los datos (Manly, 1986), ya que tanto el análisis por componentes principales como el análisis clúster son influenciados por las unidades de medida de los atributos en cuestión.

Después de la estandarización de los datos se realizó el análisis de agrupamiento sobre la base de los atributos con el más alto poder de discriminación con el objetivo de agrupar las áreas que se asemejan en comportamiento. Para representar a los grupos, los dendogramas se construyeron utilizando la distancia euclidiana como medida de disimilitud y el método de Ward como algoritmo de clustering. Por otra parte, se consideró el método de estabilidad de

varianza intergrupal (Peñaranda y Navas 2005), como método para el punto de corte (línea de corte) para la determinación del número de grupos.

Posterior a la determinación del número de grupo y a la identificación de zonas por cada uno de los grupos, se estableció la matriz de correlación a fin de verificar el porcentaje de correlaciones significativas entre las variables y la relevancia de estas correlaciones para análisis posteriores. Paso seguido, para cada uno de los grupos obtenidos se efectuó el análisis por componentes principales mediante el método de extracción de componentes principales y de lo cual se creó el número de factores a extraer, con el fin de explicar el 70% de la varianza total (Raij et al., 1997).

4. Resultados y discusión

4.1 Análisis univariado de la zona de estudio

El análisis de frecuencias realizado para los macronutrientes y micronutrientes obtenidos en los resultados de los análisis de suelo y de tejido foliar para el área en estudio permite una visualización de la oferta y estado nutricional del suelo y del cultivo respectivamente.

Con excepción del Carbono Orgánico, Cobre, Zinc y Boro, todas las concentraciones medias (**Tabla 4-1**) de los nutrientes no se encuentran en el rango de suficiencia de acuerdo con el criterio de franjas de suficiencia propuesto por Múnevar (2001). El pH, Potasio, Calcio, Magnesio y Manganeso se encuentran en rangos bajos, mientras que el Fósforo, Azufre y Hierro en rangos altos (**Tabla 4-2**).

De manera general se puede decir que el pH del suelo se presenta como una limitación de primer orden para la obtención de altos rendimientos (Arias, 2004), presentando valores promedio de 4.24 en el pH, considerado como fuertemente acida (Pinzón, 2010; Meurer, 2007), estando el 83 % área muestreada bajo esta condición.

Esta condición de acidez es el resultado de los altos porcentajes de saturación de Aluminio y el bajo porcentaje de saturación de bases intercambiables (**Figura 4-1**), como consecuencia del proceso especifico de perdida de cationes por lixiviación (Bockheim y Gennadiyev, 2000) reflejado en el bajo valor de la CICE que es de 1.59 $cmol_c\ kg^{-1}$, el cual según Fairhurst y Hardter (2003) es considerado deficiente dentro de los parámetros de evaluación de tierras aptas para el cultivo de la Palma.

Respecto de las bases intercambiables se observa que los contenidos de Potasio, Calcio y Magnesio se encuentran en los rangos considerados como deficientes en 72 % de la muestras para el caso del Potasio, y en el 100 % para el Calcio y el Magnesio.

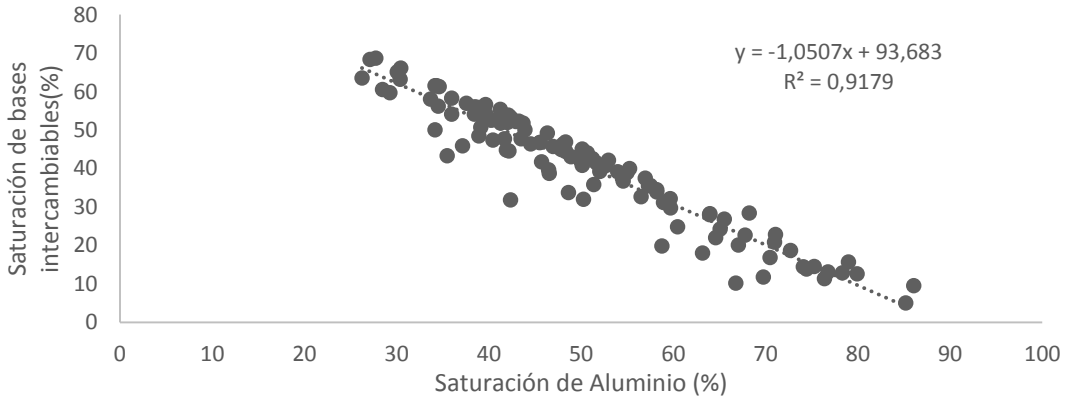
Tabla 4-1: Estadística descriptiva de las concentraciones de elementos (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Aluminio intercambiable, Sodio, Azufre, Cobre, Hierro, Zinc, Manganeso y Boro), pH, densidad aparente y Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) y producción de fruta fresca (RFF).

Variable	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	C.V. (%)	Curtosis
RFF	27,78	27,45	16,50	39,36	0,20	16,24	-0,06
pH	4,24	4,24	3,68	4,96	0,18	6,29	-0,27
C,E, (dS m^{-1})	0,12	0,08	0,01	0,5	2,13	72,09	5,17
C,O (%)	1,48	1,41	0,57	3,18	0,76	38,87	0,33
N (mg kg^{-1})	37,78	35,38	14,32	102,49	0,76	38,87	0,33
P (mg kg^{-1})	32,29	30,53	1,07	84,08	0,18	58,75	-0,38
Al ($cmol_c$ kg^{-1})	0,67	0,65	0,07	1,56	0,26	53,58	-0,57
Ca ($cmol_c$ kg^{-1})	0,50	0,49	0,23	0,79	0,39	21,99	-0,007
Mg ($cmol_c$ kg^{-1})	0,2	0,19	0,08	0,38	0,73	30,68	-0,04
Na ($cmol_c$ kg^{-1})	0,05	0,05	0,02	0,35	6,89	64,35	50,78
K ($cmol_c$ kg^{-1})	0,12	0,11	0,04	0,25	1,16	42,85	0,44
S (mg kg^{-1})	10,87	7,21	0,48	56,05	1,58	100,66	2,66
Cu (mg kg^{-1})	0,28	0,28	0,02	0,86	0,87	53,71	1,62
Fe (mg kg^{-1})	60,63	45,26	3,51	178,69	0,72	72,90	-0,38
Zn (mg kg^{-1})	1,38	1,24	0,28	2,98	0,75	39,58	0,11
Mn (mg kg^{-1})	0,79	0,64	0,1	3,06	1,26	67,35	1,86
B (mg kg^{-1})	0,31	0,3	0,02	0,72	0,58	54,66	-0,38
Da (g cc^{-1})	1,24	1,24	0,7	1,5	-1,12	12,87	1,27
CICE ($cmol_c$ kg^{-1})	1,59	1,58	0,73	2,84	0,13	27,04	-0,26

Tabla 4-2: Distribución de frecuencias de las concentraciones para las propiedades químicas del suelo

Variable	Valores bajos		Valores medios		Valores Altos	
	Rango	% Muestras	Rango	% Muestras	Rango	% Muestras
pH	<4,5	83,,19	4,5-5,5	16,81	>5.5	0,00
CO (%)	<1,16	31,13	1,6-2,3	57,55	>2.3	11,32
P (mg kg $^{-1}$)	<15	19,47	15-20	6,19	>20	74,34
K (cmolc kg-1)	<0,2	79,65	2-4	17,70	>4	2,65
Ca (cmolc kg-1)	<3	100,00	3-6	0,00	>6	0,00
Mg (cmolc kg-1)	<1	100,00	1-1,5	0,00	>1.5	0,00
S (mg kg $^{-1}$)	<10	54,46	10-15	14,29	>15	31,25
Fe (mg kg $^{-1}$)	<15	10,62	15-30	23,89	>30	65,49
B (mg kg $^{-1}$)	<0,25	43,36	0,26-0,5	40,71	>0.5	15,93
Zn (mg kg $^{-1}$)	<1	23,01	1,1-2	58,41	>2	18,58
Cu (mg kg $^{-1}$)	<0,5	88,50	0,51-1,5	9,73	>1.5	1,77
Mn (mg kg $^{-1)}$	<5	100,00	5-10	0,00	>10	0,00
Sat Al (%)	<25	20,35	25-50	47,79	>50	31,86
Sat Ca (%)	<20	6,19	20-40	68,14	>40	25,66
Sat Mg (%)	<10	23,01	10-20	72,57	>20	4,42
Sat K (%)	<3	0,00	3-6	27,43	>6	72,57

Figura 4-1: Correlación entre el porcentaje de Saturación de bases intercambiables y el porcentaje de saturación de Aluminio



El Carbono Orgánico (CO), presentó valores medios para el 57% e la muestras, y bajos para el 31%, conformes a zonas que presentan altas temperaturas y condiciones de buen drenaje (Da Silva, 2007). Los casos de contenidos altos se presentaron bajo condiciones de suelos con régimen de humedad ácuico que bajo alguna circunstancia permanecieron bajo saturación hídrica y en la actualidad presentan problemas de drenaje (Arias, 2004).

Para el caso del Fósforo, el 75 % del área experimental presenta contenidos superiores de 20 mg kg^{-1}, los cuales son superiores a los requeridos por el cultivo, pero su disponibilidad se puede ver afectada teniendo en cuenta el tipo de reacción del suelo y la formación de fosfatos insolubles con el Aluminio y el Hierro (Castro y Gómez, 2010). La toxicidad de Aluminio y la deficiencia de Fósforo son los mayores problemas nutricionales y los factores más limitantes del rendimiento en climas tropicales húmedos (Rahman, 2010).

En general las muestras de los suelos que se analizaron presentaron valores adecuados de Boro en un 40 %, mientras que el 43% de las muestras arrojaron valores deficientes, Sin embargo, el cultivo de la Palma de aceite requiere del suministro permanente de este elemento (Gutiérrez y Torres, 2013), por lo cual deben practicarse esquemas de manejo de dicho nutriente que garantice su suministro permanente, De otra parte, las cantidades de Boro requeridas para superar una deficiencia nutricional son muy pequeñas y existe un alto riesgo de ocasionar toxicidad (Arias, 2006).

El Hierro fue predominantemente alto en un 65% del área en estudio, comparado con los 70 mg kg^{-1}requeridos por el cultivo a nivel edáfico (Wanasuria et al*.,* 1999), mientras que el Zinc presentó un comportamiento más estable con un 58 % del área de muestreo con contenidos adecuados según lo reportado por Uexküll y Fairhurst (1999). Para el Cobre y el Manganeso se registraron las deficiencias más marcadas en toda el área de observación con un 88% y 100% de contenidos inferiores a los ideales respectivamente similar a lo reportado por Garzón (2005).

Por otra parte para el análisis de los resultados químicos en tejido foliar del total de 113 muestras, fueron diagnosticados situaciones contrastantes respecto a los mismos elementos a nivel del suelo con relación a lo también propuesto por Múnevar (2001).

La variabilidad expresada en la composición del tejido foliar, es menor, comparada con la variabilidad expresada por el suelo. A excepción del Zinc, todos los elementos presentaron coeficientes de variación inferiores del 50% (**Tabla 4-3**).

La concentración de Nitrógeno mostró un valor promedio de 2,85 %, el cual es superior al óptimo para este elemento (**Tabla 4-4**). Dicho comportamiento se observa para el área total teniendo en cuenta la baja variabilidad expresada en el coeficiente de variación. Esta condición se expresa de manera contraria respecto de los resultados a nivel edáfico que mostraban condiciones adecuadas. La alta concentración puede ser el resultado de la alta tasa de aplicación de fertilizantes Nitrogenados aplicados al cultivo (Kiang y Goh, 2007).

El Fósforo presenta condiciones de exceso en un 95% del área muestreada, esto como resultado de la alta presencia de este elemento en el suelo, pero se pueden llegar a presentar deficiencias con este elemento como resultado de la relación con las altas concentraciones de Nitrógeno, debido a la estrecha interdependencia entre estos elementos como fue enunciado por Rahman (2010).

El Potasio es el nutriente más absorbido por el cultivo de Palma (Calvache y López, 2008), por tal la importancia de la adecuada concentración de este elemento. Esto fue observado tan solo en el 25% de los resultados, con un porcentaje de deficiencia cercano al 45% de la población.

Tabla 4-3: Estadística descriptiva de las concentraciones de elementos Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Cloro, Sodio, Azufre, Cobre, Hierro, Zinc, Manganeso y Boro en el tejido foliar.

Variable	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	C.V. (%)	Curtosis
N (%)	2,85	2,86	2,64	2,98	-0,38	2,70	-0,41
P (%)	0,26	0,22	0,16	0,41	0,83	24,97	-0,64
K (%)	1,05	1,07	0,54	1,41	-0,28	19,38	-0,66
Ca (%)	0,55	0,55	0,27	0,86	-0,02	25,96	-0,43
Mg (%)	0,27	0,25	0,13	0,45	0,63	23,57	-0,22
Cl (%)	0,65	0,68	0,53	0,86	0,33	15,69	-1
Zn (mg kg $^{-1}$)	28,75	23,81	13,72	64,70	1,34	43,28	0,99
Cu(mg kg $^{-1}$)	6,43	6,49	1,23	14,87	0,48	44,86	-0,05
Fe (mg kg $^{-1}$)	127,41	123,91	55,68	212,52	0,30	27,31	-0,45
Mn(mg kg $^{-1}$)	223,65	233,07	119,36	352,95	-0,10	22,03	-0,35
S (%)	0,25	0,26	0,19	0,33	-0,07	11,10	-0,21
B (mg kg $^{-1}$)	23,17	22,80	7,73	39,67	0,26	32,69	-0,47

Tabla 4-4: Distribución de frecuencias de las concentraciones de los elementos en tejido foliar

Variable	Valores bajos		Valores medios		Valores Altos	
	Rango	% Muestras	Rango	% Muestras	Rango	% Muestras
N (%)	<2,33	0,00	2,34-2,59	0,00	>2,6	100,0
P (%)	<0,15	0,00	0,16-0,17	3,54	>0,18	96,5
K (%)	<1,07	48,67	1,08-1,19	25,66	>1,2	25,7
Ca (%)	<0,58	64,60	0,59-0,64	15,04	>0,65	20,4
Mg (%)	<0,24	38,39	0,25-0,27	25,89	>0,28	35,7
Cl (%)	<0,5	0,00	0,51-0,69	62,83	>0,7	37,2
Zn (mg kg $^{-1}$)	<13,4	0,00	13,5-14,9	1,77	>15	98,2
Cu(mg kg $^{-1}$)	<4,3	29,20	4,4-4,9	6,19	>5	64,6
Fe (mg kg $^{-1}$)	<71	3,54	72-79	3,54	>80	92,9
Mn(mg kg $^{-1}$)	<134	5,31	135-149	5,31	>150	89,4
S (%)	<0,22	11,50	0,23-0,25	48,67	>0,26	39,8
B (mg kg $^{-1}$)	<15	15,04	16-17	7,08	>18	77,9

En cuanto al Calcio y el Magnesio se observan condiciones inversamente proporcionales entre estos elementos, siendo la deficiencia de Calcio una condición marcada para el 64% de la población y el Magnesio presenta individuos en condiciones de exceso posiblemente por la aplicación excesiva de Sulfato de Magnesio.

En cuanto a los micronutrientes, en todos se observa condiciones de concentraciones altas, teniendo en cuenta que tan solo el Hierro presentaba sobre oferta a nivel del suelo, siendo el Cobre el menor con un 64% y el Zinc elemento mayor (100%) y con mayor variabilidad.

4.2 Análisis de la variabilidad espacial

La estadística descriptiva de los parámetros de suelo y el rendimiento de racimos de fruta fresca de Palma se muestra en las **Tabla 4-1**. La observación de la media, la mediana y la curtosis, así como la prueba de normalidad de kolmogorov smirnov (**Anexo A**), mostraron que las variables que se acercan a la distribución normal son: producción de fruta fresca, pH, Carbono orgánico (CO), Fósforo (P), Aluminio intercambiable (Al Int), Calcio (Ca) y Sodio (Na). Los resultados concuerdan con lo expuesto por Montezano et al., (2006), quien afirma que las propiedades que presentan mayor variabilidad espacial son aquellas que son sensibles al manejo del suelo.

Respecto de variabilidad de cada propiedad, fue definido en términos del coeficiente de variación (CV%), cuatro categorías de variables (Vásquez, et al., 2010; Zanão Junior et al.,2010) : relativamente homogéneas con CV%<20% (Producción de fruta fresca y pH), moderadamente heterogéneas con 20<CV%<40% (Calcio, Magnesio, CICE, Carbono orgánico y Zinc), normalmente heterogéneas 40<CV%<60% (Potasio, Aluminio Intercambiable, Cobre, Boro y Fosforo) y extremadamente heterogéneas CV%>60% (Azufre, Manganeso, Hierro y Conductividad Eléctrica). De lo anterior se deduce que con excepción de la producción y el pH, las propiedades químicas de los suelos del área experimental presentan niveles de variación altos asociados con una evidente heterogeneidad en toda el área de estudio. Este comportamiento es reportado por diferentes autores en estudios realizados en diferentes tipos de suelo de explotación agrícola (Camacho et al., 2008).

El coeficiente de variación (CV) del Hierro 72% y el Azufre con 100 % fueron los más dispersos con respecto del pH (6,29 %) y RFF (16,24%). Las medidas de dispersión de las dos últimas variables indican que la mayoría de los datos se concentran alrededor de su valor medio y por tanto la probabilidad de encontrar un valor cercano a éste aumenta (Webster y Oliver, 2001). Las medidas de dispersión de Calcio, Magnesio y CICE expresaron un moderado CV (27, 31 y 32 %).

El contenido de carbono orgánico (%) presentó un valor promedio de 1,48 considerado. El coeficiente de variación fue de 38,87 % con intervalos de variación de 0,57 % a 3,18 %. Esta variación puede ser atribuida tanto a la distribución no uniforme de residuos de cosecha como a la variabilidad espacial de la textura del suelo (Matus y Maire, 2000). El contenido medio de Fósforo estuvo con un valor promedio de 32,39 mg kg^{-1}. Las medidas de dispersión de esta variable mostraron un valor de CV cercano a 58 %, lo cual se correspondió con los intervalos que oscilaron desde valores muy bajos (1,07 mg kg^{-1}) a valores altos (84,08 mg kg^{-1}). La distribución de los datos de esta variable pudiera estar influenciada por errores en el momento del muestreo, y su respectiva toma en zonas en donde no es ubicado el fertilizante (Roberts y Henry, 2009).

En cuanto a la correlación entre las propiedades del suelo y la producción del cultivo de Palma, no se consiguió un grado significativo de asociación entre las variables evaluadas y el rendimiento, con excepción del contenido de Zinc con un R^2:-0,28 el cual fue negativamente relacionado ($p \leq 0,05$) con el rendimiento (**Anexo B**), sugiriendo que con mayor contenido de este elemento están asociadas con áreas de menor rendimiento, confirmando lo encontrado en los análisis de tejido foliar.

Algunos trabajos manifiestan correlación entre las propiedades del suelo y el rendimiento (Daniels et al., 2001; Johnson et al., 2002, mientras que otros señalan relaciones débiles o ninguna relación (Frogbrook et al., 2002). Tal respuesta es el resultado de la influencia en el rendimiento que depende de la interacción de diferentes factores (Ecofisiológicos, genéticos y geográficos) que en algunas oportunidades pudiera estar ejerciendo una mayor influencia (Lopes y Guimaraes, 2007).

Los semivariogramas presentados en el **Anexo C**, y los parámetros geoestadísticos presentados en la **Tabla 4-5,** describen que los atributos estudiados presentaron carácter transicional, con incrementos en los valores de semivarianza con la distancia hasta alcanzar un máximo (Umbral), donde la semivarianza se hace estable, ocurriendo una

transición de una condición de dependencia espacial a otra donde esta desaparece, lo cual indica la ocurrencia de correlación espacial entre observaciones (Rey y Ovalles, 2001).

Tabla 4-5: Modelo y parámetros estimados de los semivariogramas ajustados de las propiedades químicas de la finca el Samán.

Variable	Modelo	Co	Co+C	Rango (m)	R^2	CVC	Normalidad
pH	Exp	0,019	0,059	264	0,876	0,602	Si
RFF	Esf	1,47	20,93	59	0,93	1,08	Si
C.O.	Exp	0,086	0,336	597	0,94	0,873	Si
P	Exp	50	339	54	0,292	0,523	Si
Al	Exp	0,018	0,133	249	0,714	0,611	Si
Ca	Esf	0,007	0,0105	42	0,291	0,247	Si
Na	EPP	0,00012	0,0001	-	-	-	Si
Cu	EPP	0,0159	0,0159	-	-	-	No
Mg	EPP	0,0002	0,0003	-	-	-	No
K	EPP	9,7E-05	0,0013	-	-	-	No
S	EPP	93,507	93,507	-	-	-	No
Fe	Exp	835	3036	9102	0,862	0,98	No
Zn	Gausiano	0,0001	0,259	150,688	0,839	0,269	No
Mn	EPP	0,185	0,185	-	-	-	No
B	Exp	0,004	0,027	39	0,329	0,98	No

Los parámetros evaluados se ajustaron a modelos exponenciales, esféricos y gaussianos, El efecto pepita (Co) establecido para las variables Zinc, Aluminio intercambiable, Fósforo y Boro, estuvieron muy por debajo de la varianza total con porcentajes de 0,03%, 7,02 %, 13,53%, 14,74% y 14,81 % respectivamente, con una elevada dependencia espacial (< 25 %), según Cambardella et al., (1994). Esta variación espacial depende de los procesos y factores formadores del suelo y del manejo a que se haya sometido, por tanto, pueden ser rangos menores como los reportados (Silva et al., 2008), y por Muñoz et al., (2006) o rangos mayores como los encontrados por Funakawa et al., (2006).

El semivariograma del producción de fruta fresca y sus parámetros se ajustaron a un modelo esférico con un alcance de 59 m y una elevada dependencia espacial (7,02 %) sugiriendo una elevada dependencia a distancias muy cortas. La estructura espacial del

rendimiento presentó una buena similitud con la estructura de las propiedades químicas anteriormente nombradas.

Los semivariogramas de Carbono orgánico (CO), Hierro, pH y Calcio mostraron alcance de 597, 9102, 264 y 42 m. Al observar los niveles de dependencia espacial para estas variables se presentaron valores entre 25,59% y 66,66%, sugiriendo una moderada dependencia a distancias muy cortas.

Los mapas de variabilidad espacial de las propiedades del suelo y rendimiento fruto fresco de Palma se muestran en las **Figura 4-2** a **4-5**, En dichos mapas se puede visualizar que los valores más altos del pH, Calcio y Carbono orgánico se presentan hacia la zona norte y hacia la parte central del área en estudio y los menores en la parte sur, teniendo un comportamiento inverso con la producción de fruta fresca y Aluminio intercambiable, lo cual es esperable al ser inversamente proporcionales estas variables (Múnevar, 1998). Dichas relaciones fueron confirmadas mediante las correlaciones, arrojando valores de R^2:-0,55 para el Aluminio y pH, de 0,17 para el Calcio y pH, y de -0,1 para Aluminio y Calcio.

El mapa de pH del suelo muestra valores que oscilan de 3,7 a 4,9. Gran parte de la superficie del área experimental registró valores de 4,3 con pequeños regiones cuyos valores de pH estuvieron por encima de 4,7 hasta llegar el valor máximo de 4,9. Los resultados de esta variable caen dentro de un rango donde la mayoría de los nutrientes pueden estar limitados para la absorción por las plantas (Dechen y Nachtigall, 2006).

La representación de las estimaciones del Carbono orgánico muestra que gran parte del área presenta valores entre 0,6 y 1,8%, con pequeños agregados distribuidos de manera aleatoria con valores superiores de 3%. La distribución de esta variable presentó una estructura espacial parecida al rendimiento del cultivo y siguió características similares al pH (Lora, 2010).

En relación al Fósforo y al Calcio, cuando se visualiza el mapa de distribución, no se observan patrones definidos. Sin embargo, se observa que el Fósforo presenta una distribución más uniforme hacia la parte Este, con valores entre 20 y 40 mg kg^{-1}, con algunas zonas aisladas con contenidos inferiores de 10 mg kg^{-1}. El Ca presenta los mayores valores en la zona norte del lote y su contenido en el suelo disminuye hacia el centro y la zona sur.

Continuando con el análisis de la variación espacial de estas propiedades se encuentra que existen áreas dentro del lote que tienen deficiencias nutricionales y otras que por el contrario presentan condiciones apropiadas e incluso en algunos casos excesivas. Por ejemplo el Boro cuyo valor medio es apropiado para el cultivo muestra en algunas zonas valores muy bajos (menores a 0,2) o muy altos (mayores a 0,72) que resultan limitantes (Munevar, 2004).

El Hierro presenta valores de concentración alto hacia la parte norte con contenidos superiores de 105 mg kg^{-1}. Sin embargo es de resaltar la correlación negativa entre este elemento y el pH (R^2: -0,2), confirmando el efecto del pH sobre la disponibilidad de este elemento (Sposito, 2008).

Finalmente, la distribución espacial de la producción de fruto fresco de Palma presentó valores que fluctuaron de 18-39 t ha^{-1}. Gran parte de la parcela registro rendimientos que oscilaron cerca de las 30 t ha-1, mostrando alguna distribución en pequeños agregados, cuyos valores están por encima de los promedios de rendimiento de la zona (38 t ha^{-1}). Distintas causas pueden incidir en la variación del rendimiento, pero fundamentalmente se puede clasificar en dos; las que se pueden manipular y las que no (Johnson et al., 2002). En este caso el rendimiento presentó correlación negativa con el Zinc (-0,28),

Figura 4-2: Mapas de variabilidad espacial para las propiedades de Producción de Fruta fresca de Palma, pH y Aluminio intercambiable.

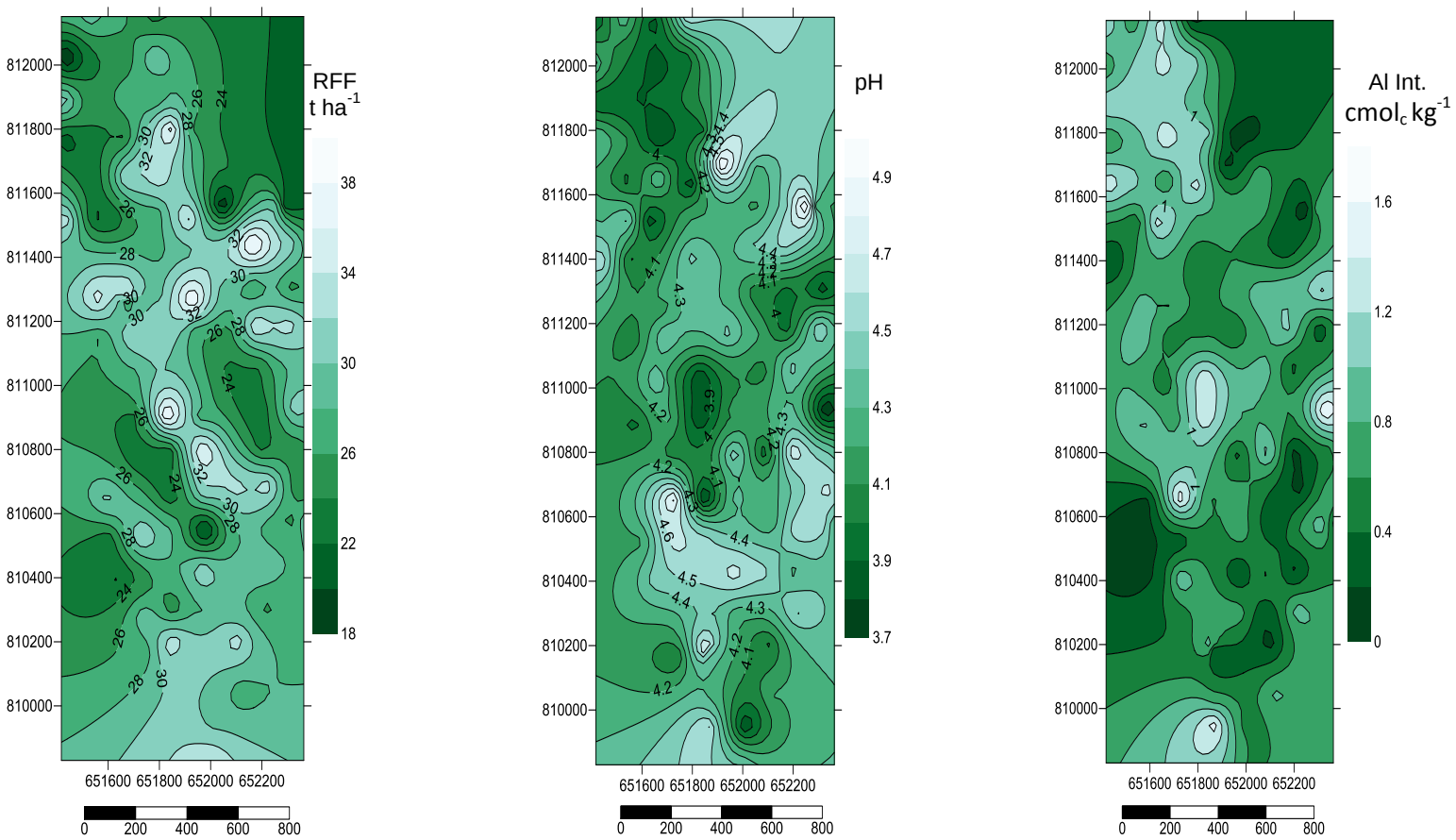


Figura 4-3: Mapas de variabilidad espacial para Carbono orgánico, Calcio y Fósforo.

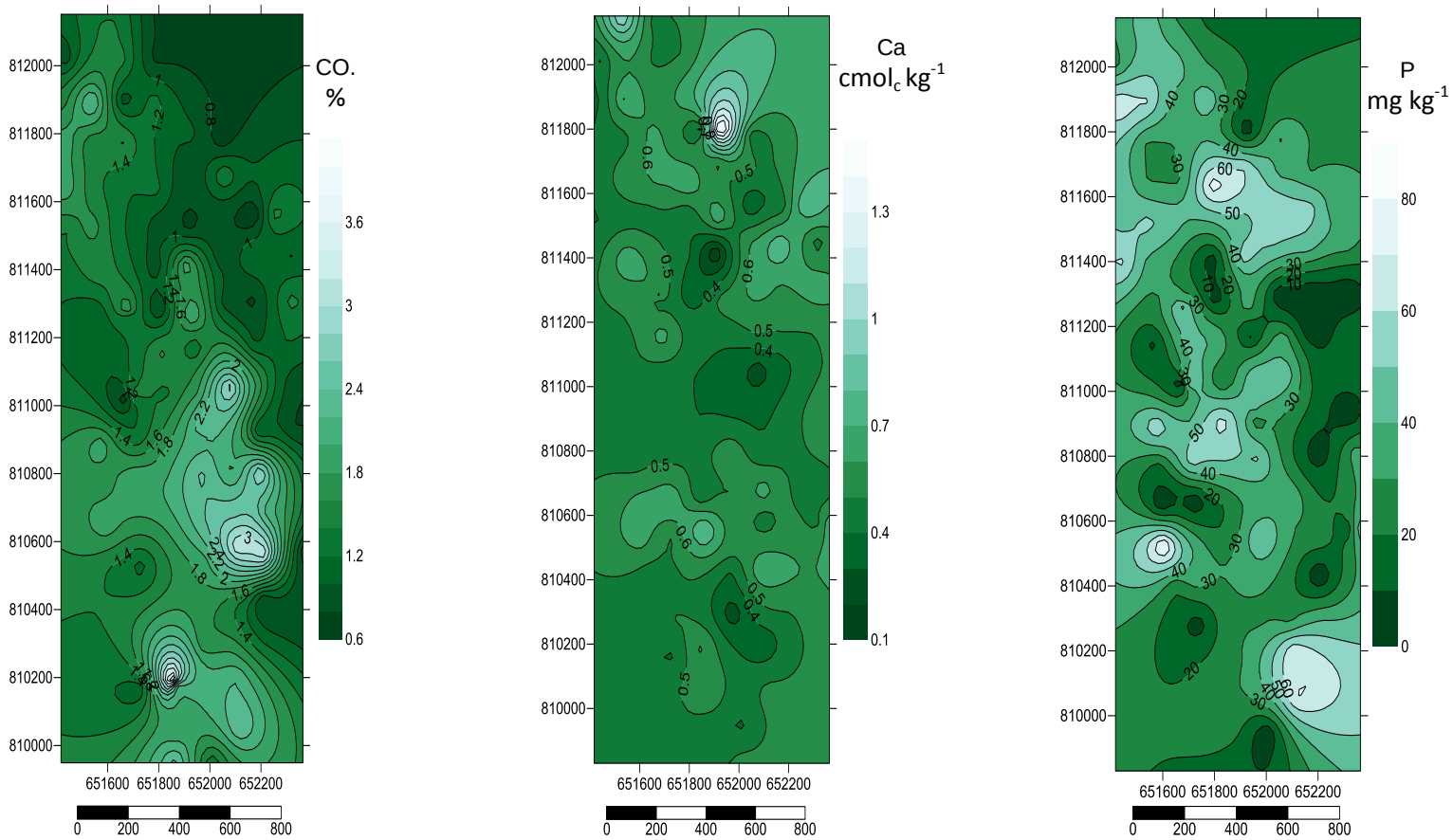
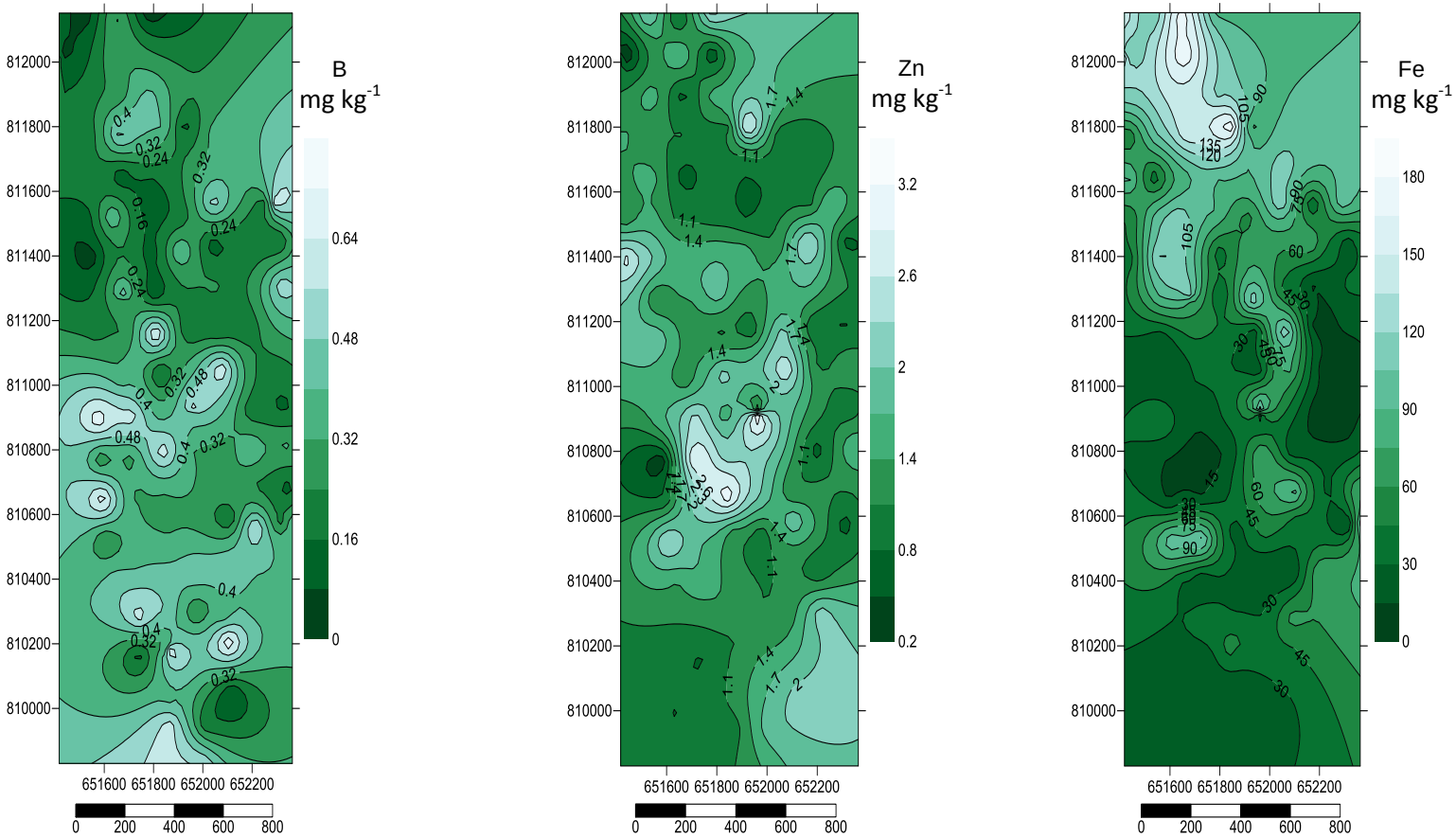


Figura 4-4: Mapas de variabilidad espacial para Boro, Zinc y Hierro.

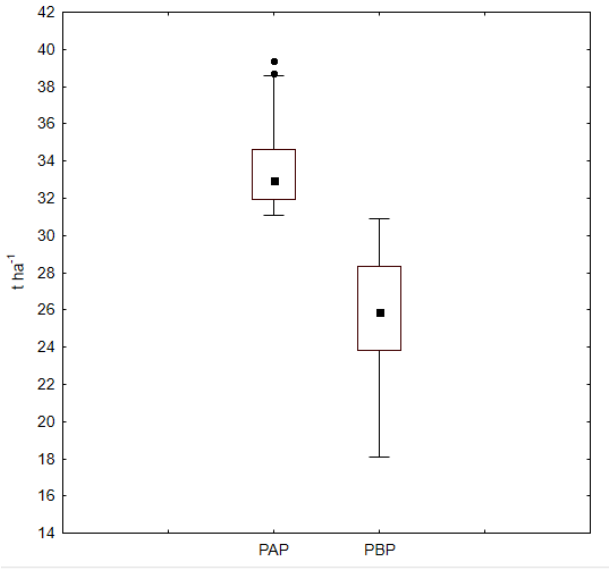


4.3. Determinación de la población de referencia

Los datos de producción que oscilaron entre valores de 16,5 hasta 39,3 t ha^{-1}, junto con sus respectivos niveles de nutrientes en tejido foliar, formaron el banco de datos que fue dividido en dos grupos, considerando como criterio para la separación de la población de alta productividad (población de referencia) y la baja productividad las producciones superiores a 30,1 t ha^{-1}, lo cual correspondió al 25% de las muestras, conforme sugirió Beaufils (1973).

Esta selección cumple con las condiciones señaladas por Letzsch & Sumner (1984), quienes consideran que la población de alta producción debe estar conformada al menos por el 10% de las observaciones de la base de datos global, lo que garantiza una población de alta producción con diferencias significativas respecto a la población de baja producción, esto indica que la base de datos propuesta para la obtención de las normas es adecuada.

Figura 4-5: Dispersión de producción para las poblaciones, (CV (%) 9,1 y 5,1 respectivamente), PAP: Población de alta productividad; PBP: Población de baja productividad.



En la **Figura 4-5**, Se puede observar como los datos de producción de fruta fresca de Palma para la población de baja productividad, el 75 % de los datos obtenidos, se encuentran ubicados hacia el límite superior, caso contrario de la población de alta productividad donde el mismo porcentaje de datos están ubicados hacia el límite inferior, presentando mayor concentración de datos en el segundo cuartil lo que significa producciones entre 32,98 y 34,64 t ha^{-1}.

Los valores de los promedios, la desviación estándar y los coeficientes de variación para las concentraciones de nutrientes en el tejido foliar, para la poblaciones de alta y baja productividad, indican que en general, la población de baja productividad presenta en su mayoría valores similares a los obtenidos en la población de alta productividad, excepto para elementos como Zinc, Hierro y Manganeso (**Tabla 4-6**).

Tabla 4-6: Valores medios, desviación estándar y coeficiente de variación para la concentración de nutrientes en tejido foliar para las poblaciones de alta y de baja productividad.

Elemento	Población Alta Producción			Población Baja Producción		
	Media	Desviación estándar	CV (%)	Media	Desviación estándar	CV (%)
N (%)	2,85	0,14	4,99	2,85	0,08	2,78
P (%)	0,27	0,05	20,52	0,25	0,07	26,45
K (%)	1,02	0,19	18,2	1,06	0,21	19,74
Ca (%)	0,53	0,15	27,47	0,56	0,16	27,96
Mg (%)	0,28	0,09	32,25	0,27	0,08	29,97
Cl (%)	0,68	0,11	16,14	0,64	0,1	15,36
Na (%)	0,02	0,01	31,27	0,02	0,01	46,21
Zn (mg kg^{-1})	68,40*	116,55	170,38	28,99*	19,35	66,77
Cu(mg kg^{-1})	6,65	4,94	74,31	6,85	3,14	45,82
Fe (mg kg^{-1})	157,15*	45,07	28,68	120,74*	33,49	27,73
Mn(mg kg^{-1})	218,8	74,49	34,05	236,44	69,91	29,57
S (%)	0,27*	0,03	10,46	0,25*	0,03	11,81
B (mg kg^{-1})	23,09	9,48	41,08	23,92	8,22	34,36

* = Significancia (P<0,05).

Igualmente se puede observar que para las dos poblaciones de referencia el contenido de Nitrógeno en tejido foliar presentó los coeficientes de variación más bajos 5 y 3,2% respectivamente, demostrando la estabilidad del elemento en toda la población.

En el caso del Zinc, el cual es uno de los elementos que presenta diferencia en los contenidos de las dos poblaciones usadas como referencia, se observa una alta variabilidad en la población de alta productividad con un coeficiente de variación de 170 %, por lo cual este elemento puede ser uno de los más impactantes en la variabilidad de la producción de fruta fresca de Palma.

4.4. Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS)

4.4.1. Determinación de las Normas DRIS foliares

Los valores medios de las relaciones entre los nutrientes de las poblaciones de alta y de baja productividad, y sus respectivos coeficientes de variación y varianzas se encuentran en la **Tabla 4-7**. El criterio para la selección de la norma entre el par de nutrientes (N/P o P/N), estuvo basado en la relación entre las varianzas de los grupos de productividad (Silva, 2005). Según Payne et al (1990), las relaciones entre elementos que presentan alta razón entre varianzas confieren mayor seguridad para el diagnóstico nutricional.

Con este procedimiento se logra la determinación de normas con mayor precisión (Caldwell et al., 1994), aumentando la distinción entre plantas nutricionalmente equilibradas y desequilibradas (Walworth et al., 1986; Walworth & Sumner, 1987).

De las 156 relaciones posibles se seleccionaron 78, según el criterio de mayor relación entre varianzas. Al comparar las normas con la relaciones de la población de bajo rendimiento se observa que 53 tienen una varianza menor, 52 poseen diferencias en la media y 42 poseen ambas características, Los coeficientes de variación (CV) oscilan entre 10 y 125%, con 25 normas que presentan un CV mayor de 50%.

La gran cantidad de normas con diferencias ya sea en la varianza o en la media respecto a la población de bajo rendimiento, sugiere que las normas son confiables y pueden indicar diferencias en la productividad derivadas de desequilibrios nutricionales (Ruiz, 2002).

De igual manera cuando se tiene una varianza muy baja para una norma en la población de alto rendimiento (valores de F altos, mayores a 2) y la media varía poco (coeficientes de variación menores al 25%) se puede afirmar que el cultivo es susceptible a que un cambio pequeño en ese elemento cause desbalance (Reis, 2003).

En las normas presentadas, las relaciones K/S y 100S/Fe presentan estas condiciones, lo que sugiere que cambios pequeños en las concentraciones de Azufre tienen un alto impacto sobre el rendimiento. Con las normas obtenidas se realizó el cálculo de las funciones por cada elemento y sus respectivos índices DRIS, con el fin de identificar la posible incidencia positiva o negativa por deficiencias, excesos o desbalances de cada uno de los elementos de acuerdo con la metodología reportada por Beaufils (1973), Sumner (2000) y Mourão-Filho (2004), se pueden interpretar los índices DRIS, como en equilibrio, exceso y deficientes, si este es igual, mayor o menor de cero (**Anexo D**).

Basado en lo anterior una primera aproximación a la interpretación del resultado del diagnóstico nutricional indica que el orden de menor a mayor limitación se encuentran: Hierro, Zinc, Azufre, Fósforo, Cloro, Magnesio, Boro, Sodio, Potasio, Calcio, Cobre, Manganeso y Nitrógeno. El valor promedio de los índices se presenta en la (**Tabla 4-8**).

En el total de la población los índices de los macronutrientes presentaron valores positivos para Nitrógeno (27,59), Potasio (2,93) y Calcio (3,78) y negativos para Fósforo (-1,29), Magnesio (-0,69) y Azufre (-2,05). Esto podría implicar que los rendimientos bajos pueden estar limitados más que por la deficiencia nutricional, por el exceso en el contenido, basado en que los nutrientes presentan equilibrio nutricional entre más cercano de cero se encuentre su índice DRIS (Sharma, 2005). Los elementos que se encuentran en condiciones de exceso como Nitrógeno, Potasio y Calcio se suministran normalmente a las plantas por la fertilización, teniendo en cuenta que fuentes como Urea, Cloruro de Potasio y materiales encalates son las más usadas en el cultivo (González, 2010).

Tabla 4-7: Relaciones y normas seleccionadas para Palma de aceite IRHO en la zona central de Colombia.

Forma de Expresión	PAP				PBP				
	Media	s	CV (%)	s^2_A	Media	s	CV (%)	s^2_B	s^2_B/s^2_A
N/P	11,16	2,25	20,20	5,08	11,98	2,66	22,21	7,07	1,39**
N/K	2,90	0,61	21,17	0,38	2,81	0,68	24,15	0,46	1,22**
N/Cl	4,30	0,70	16,40	0,50	4,53	0,68	15,09	0,47	0,94**
100N/Zn	7,95	4,18	52,56	17,46	11,88	3,91	32,93	15,30	0,87**
100N/Cu	62,63	39,50	63,07	1560,27	53,44	33,61	62,89	1129,42	0,72**
100N/Fe	1,95	0,57	29,07	0,32	2,55	0,75	29,57	0,57	1,76**
100N/Mn	1,43	0,42	29,78	0,18	1,35	0,74	54,79	0,55	3,02**
N/S	10,45	1,11	10,66	1,24	11,61	1,32	11,37	1,74	1,403**
100N/B	14,23	5,70	40,08	32,51	13,58	5,65	41,60	31,91	0,98**
P/K	0,27	0,09	33,32	0,01	0,26	0,13	49,33	0,02	1,98**
P/Cl	0,40	0,12	29,25	0,01	0,40	0,11	27,90	0,01	0,88**
100P/Zn	0,75	0,48	63,54	0,23	1,05	0,48	45,92	0,23	1,03**
100P/Cu	5,65	3,36	59,35	11,26	4,90	3,93	80,31	15,46	1,37**
100P/Fe	0,18	0,07	37,49	0,00	0,22	0,08	36,43	0,01	1,40**
100P/Mn	0,14	0,06	43,37	0,00	0,12	0,07	58,09	0,00	1,38**
P/S	0,97	0,21	21,80	0,04	1,02	0,25	24,35	0,06	1,36**
K/Ca	2,01	0,52	25,74	0,27	1,97	0,44	22,16	0,19	0,71**
K/Cl	1,53	0,36	23,50	0,13	1,69	0,43	25,55	0,19	1,43**
100K/Zn	2,74	1,36	49,53	1,84	4,38	1,61	36,72	2,59	1,40**
100K/Cu	22,24	14,77	66,42	218,20	19,44	11,90	61,24	141,70	0,64**
100K/Fe	0,69	0,24	34,41	0,06	0,95	0,34	35,78	0,11	2,01**
100K/Mn	0,50	0,16	31,28	0,02	0,50	0,32	62,87	0,10	4,04**
K/S	3,72	0,69	18,64	0,48	4,36	1,15	26,46	1,33	2,76**
100K/B	4,96	1,80	36,31	3,25	5,09	2,56	50,40	6,57	2,02**
Ca/N	0,19	0,05	28,01	0,00	0,20	0,06	27,99	0,00	1,09**

CV coeficiente de variación, F (Sb/Sa) relación entre varianzas de las poblaciones de alto y baja producción respectivamente, Los elementos N, P, K, Ca, Mg, Cl, Na y S en porcentaje, los demás en mg kg^{-1}, **Norma seleccionada.

Tabla 4-7. Continuación…

Forma de Expresión	PAP				PBP				
	Media	s	CV (%)	s^2_A	Media	s	CV (%)	s^2_B	s^2_B/s^2_A
Ca/P	2,15	0,79	36,99	0,63	2,44	0,95	38,79	0,89	1,42**
100Ca/Zn	1,40	0,66	47,50	0,44	2,28	0,86	37,82	0,74	1,68**
100Ca/Fe	0,36	0,12	33,63	0,01	0,50	0,20	40,18	0,04	2,81**
100Ca/Mn	0,26	0,07	28,94	0,01	0,27	0,21	79,11	0,05	8,11**
Ca/S	1,94	0,48	24,69	0,23	2,29	0,66	28,96	0,44	1,91**
100Ca/B	2,64	1,36	51,59	1,85	2,68	1,35	50,56	1,83	0,99**
Mg/N	0,10	0,03	33,62	0,00	0,10	0,03	29,47	0,00	0,74**
Mg/P	1,05	0,30	28,86	0,09	1,11	0,24	21,27	0,06	0,61**
Mg/K	0,28	0,10	36,25	0,01	0,28	0,12	43,42	0,01	1,38**
Mg/Ca	0,57	0,28	49,09	0,08	0,54	0,28	50,70	0,08	0,98**
Mg/Cl	0,42	0,14	33,29	0,02	0,43	0,13	29,90	0,02	0,86**
Mg/Na	17,04	8,59	50,37	73,71	16,02	8,19	51,09	67,02	0,90**
100Mg/Zn	0,79	0,54	68,29	0,29	1,15	0,50	43,10	0,25	0,84**
100Mg/Cu	5,79	4,17	72,13	17,42	5,19	4,01	77,21	16,04	0,92**
100Mg/Fe	0,19	0,09	46,97	0,01	0,24	0,09	36,77	0,01	1,00**
100Mg/Mn	0,14	0,07	47,88	0,00	0,13	0,07	51,90	0,00	0,98**
Mg/S	1,01	0,34	33,46	0,12	1,11	0,31	27,54	0,09	0,81**
100Mg/B	1,37	0,71	51,67	0,50	1,30	0,61	46,66	0,37	0,73**
Cl/Ca	1,36	0,41	30,08	0,17	1,25	0,49	38,94	0,24	1,41**
100Cl/Zn	1,87	0,98	52,40	0,96	2,70	1,02	37,78	1,04	1,08**
100Cl/Cu	15,11	10,46	69,22	109,45	11,93	7,28	61,04	53,00	0,48**
100Cl/Fe	0,47	0,16	34,85	0,03	0,58	0,19	32,64	0,04	1,33**
100Cl/Mn	0,34	0,11	33,31	0,01	0,30	0,14	48,19	0,02	1,61**
100Cl/S	2,49	0,50	19,84	0,25	2,63	0,54	20,39	0,29	1,17**
Na/N	0,01	0,00	30,66	0,00	0,01	0,00	45,73	0,00	2,73**
Na/P	0,07	0,03	38,04	0,00	0,09	0,05	55,35	0,00	3,11**

CV coeficiente de variación, F (Sb/Sa) relación entre varianzas de las poblaciones de alto y baja producción respectivamente, Los elementos N, P, K, Ca, Mg, Cl, Na y S en porcentaje, los demás en mg kg^{-1}, ******Norma seleccionada.

Tabla 4-7. Continuación…

Forma de Expresión	PAP				PBP				
	Media	s	CV (%)	s^2_A	Media	s	CV (%)	s^2_B	s^2_B/s^2_A
Na/K	0,02	0,01	31,16	0,00	0,02	0,01	51,43	0,00	3,16**
Na/Ca	0,04	0,01	35,75	0,00	0,04	0,02	45,30	0,00	1,76**
Na/Cl	0,03	0,01	34,84	0,00	0,03	0,01	46,35	0,00	2,4**
100Na/Zn	0,05	0,03	59,46	0,00	0,08	0,04	49,21	0,00	1,81**
100Na/Fe	0,01	0,01	42,61	0,00	0,02	0,01	47,20	0,00	2,45**
100Na/Mn	0,01	0,00	39,38	0,00	0,01	0,01	67,56	0,00	3,19**
Na/S	0,07	0,02	31,67	0,00	0,08	0,04	45,70	0,00	3,17**
100Na/B	0,09	0,05	52,46	0,00	0,10	0,07	72,11	0,01	2,28**
Cu/100Ca	0,13	0,09	66,26	0,01	0,13	0,07	55,49	0,01	0,71**
Cu/100Na	4,57	5,73	125,22	32,82	3,91	2,58	66,00	6,65	0,20**
Cu/Zn	0,17	0,13	79,16	0,02	0,28	0,14	49,95	0,02	1,09**
Cu/Fe	0,04	0,02	56,26	0,00	0,06	0,03	49,10	0,00	1,55**
Cu/100S	0,24	0,14	61,18	0,02	0,28	0,14	50,07	0,02	0,95**
Fe/Zn	33,09	21,29	64,33	453,09	22,80	17,54	76,96	307,77	0,67**
Fe/Mn	0,76	0,22	28,47	0,05	0,59	0,50	84,28	0,25	5,29**
Mn/Zn	6,01	3,71	61,68	13,74	9,93	4,24	42,65	17,94	1,30**
Mn/Cu	45,09	25,51	56,57	650,52	42,37	25,58	60,37	654,32	1,00**
100S/Zn	0,74	0,36	48,69	0,13	1,02	0,34	32,83	0,11	0,87**
100S/Fe	0,18	0,04	22,97	0,00	0,22	0,07	29,63	0,00	2,38**
100S/Mn	0,14	0,04	29,19	0,00	0,12	0,08	63,37	0,01	3,55**
B/100P	0,90	0,36	40,34	0,13	1,01	0,42	42,11	0,18	1,36**
B/100Cl	0,35	0,14	41,17	0,02	0,38	0,14	37,79	0,02	1,01**
B/Zn	0,64	0,39	61,61	0,15	0,98	0,43	43,52	0,18	1,18**
B/Cu	4,82	3,22	66,92	10,40	4,40	3,03	68,81	9,17	0,88**
B/Fe	0,16	0,08	51,76	0,01	0,22	0,10	47,49	0,01	1,56**
B/Mn	0,11	0,05	48,30	0,00	0,11	0,09	79,97	0,01	2,82**
B/100S	0,84	0,34	39,66	0,11	0,97	0,34	35,17	0,12	1,03**

CV coeficiente de variación, F (Sb/Sa) relación entre varianzas de las poblaciones de alto y baja producción respectivamente, Los elementos N, P, K, Ca, Mg, Cl, Na y S en porcentaje, los demás en mg kg^{-1}, ******Norma seleccionada.

Para los micronutrientes Cobre y Manganeso se encontraron valores superiores de cero siendo el Manganeso el elemento que presentó mayor índice con un valor de 5,74, El Boro presentó un índice de 0,99, lo que indica que está en relativo equilibrio, Esto como consecuencia de las frecuentes aplicaciones de este elemento que se hacen en el cultivo (Arias, 2004),

Tabla 4-8: Índices DRIS foliares, para el cultivo de Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO para la plantación Palmeras de Santander.

Nutriente	Índice
N	27,59
P	-1,29
K	2,93
Ca	3,78
Mg	-0,69
Cl	-0,76
Na	2,64
Zn	-6,80
Cu	5,25
Fe	-7,14
Mn	5,74
S	-2,05
B	0,99
IBN	67,67
IBNm	5,21

En caso contrario para Hierro y Zinc, se encontraron valores negativos, -7,14 y -6,80, respectivamente, lo que indica que la producción de fruto fresco de Palma está siendo limitada por la deficiencia de estos dos elementos.

Desde otro punto de vista, pasando de lo general a lo particular, en las **Figuras 4-6 y 4-7** se observan las distribuciones de frecuencias de los elementos agrupados por las clases no limitante (NL), limitante por falta (LF) y limitante por exceso (LE), para las poblaciones de alta y de baja productividad.

Se observa que para las dos poblaciones el Azufre, Boro y Calcio se encuentran en condiciones no limitantes, además que presentan valores similares en los dos grupos;

superiores al 80% para el caso del Azufre, mayores del 70% para el Boro y en promedio el 62% para Calcio.

Contrario a los elementos no limitantes, los elementos limitantes por falta o deficientes presentaron diferencias en las dos poblaciones diferenciadas. En la población de alta producción presentó que su limitación nutricional es afectada por el Magnesio y por el Cobre en un 27% y 28% respectivamente, mientras que la población de baja producción se encuentra limitada por las deficiencias de Zinc y de Hierro en un 40% y un 34% respectivamente.

El Nitrógeno y el Cobre también presentaron una condición similar en la población de alta y de baja producción, estando bajo la condición de limitante por exceso, en un 68 % en promedio para Nitrógeno y Cobre valores superiores del 30%, confirmando que así como las deficiencias en las concentraciones en tejido foliar de cualquier elemento impacta de manera negativa la producción de los cultivos, los excesos también tienen el mismo efecto deletéreo en la producción (Mengel y Kirkby, 2000).

Figura 4-6: Distribución de frecuencias para los contenidos nutricionales en los diferentes elementos minerales: No limitante (NL), limitante por falta (LF) y limitante por exceso (LE) en la población de alta productividad por la metodología DRIS foliar.

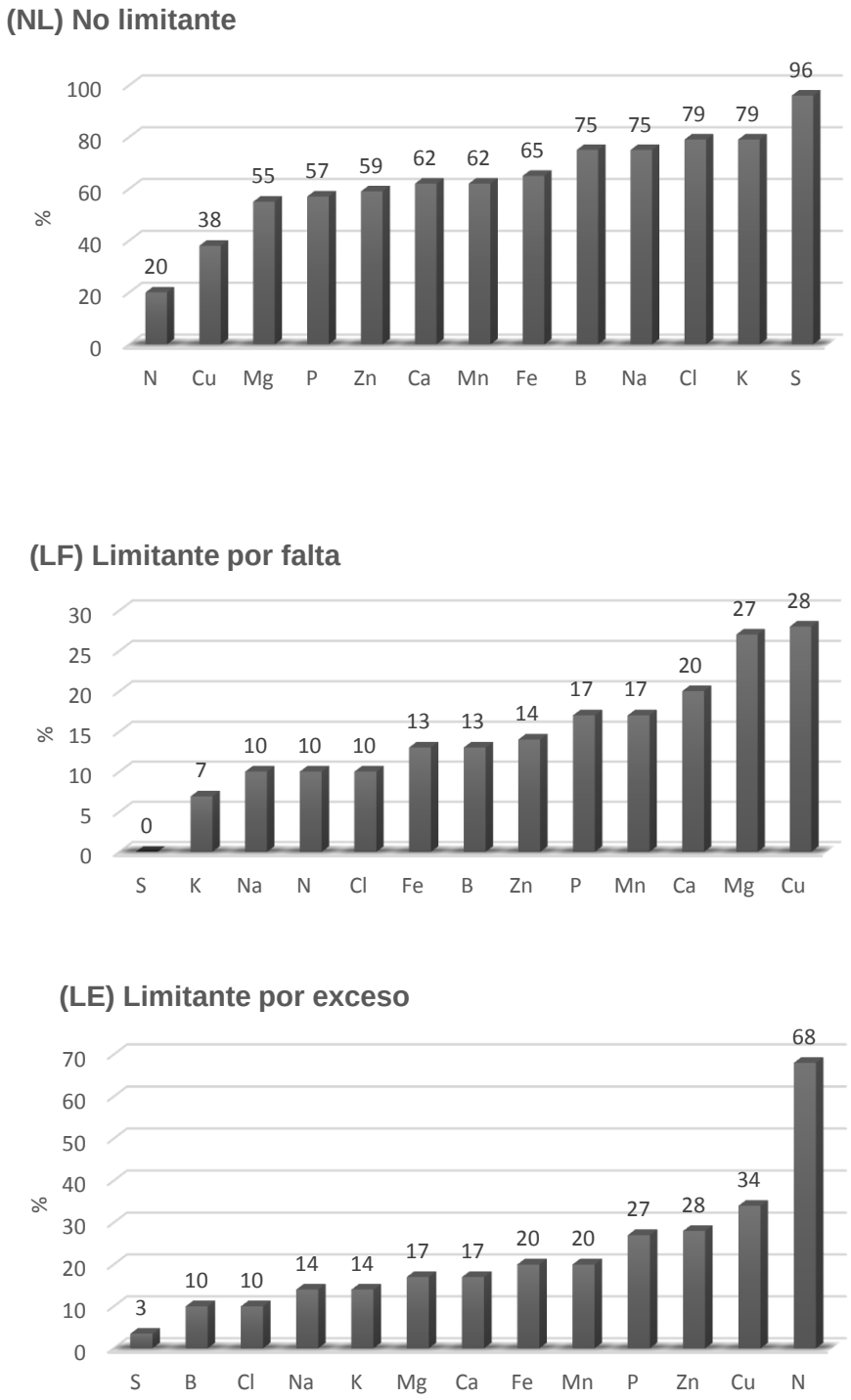
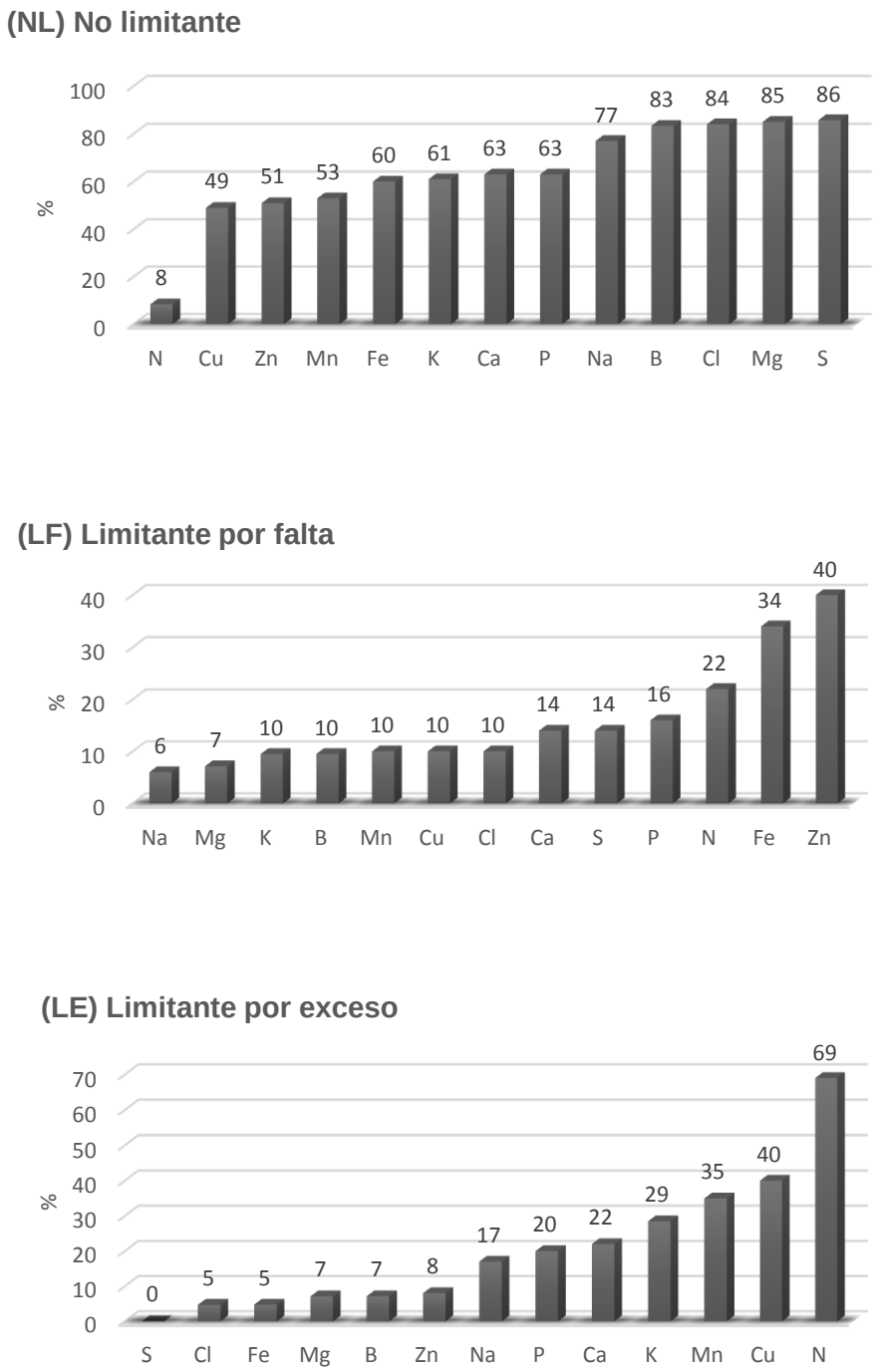


Figura 4-7: Distribución de frecuencias para los contenidos nutricionales en los diferentes elementos minerales: Limitante por falta (LF), limitante por exceso (LE) y no limitante (NL) en la población de baja productividad por la metodología DRIS foliar.



4.4.1.1. Probabilidad de respuesta a la aplicación de nutrientes basado en el DRIS foliar

Teniendo como punto de partida el balance nutricional obtenido mediante el calculó de los índices DRIS, también fue calculado el potencial de respuesta a la aplicación de nutrientes mediante fertilizantes, como se puede observar en la **Tabla 4-9**, a excepción del Nitrógeno y el Cobre, todos los elementos presentan probabilidad de respuesta nula, con valores superiores al 50%, lo que permite inferir que las cantidades usadas de fertilizantes para estos elementos en la plantación han sido las adecuadas.

El Hierro es el único elemento con alta probabilidad de respuesta positiva a la aplicación (21,24%). Es decir la inclusión o el incremento de la dosis de este elemento tendrán efecto positivo en la producción de fruto fresco de Palma, como efecto del cumplimiento de la ley del mínimo (Mengel y Kirkby, 2010).

Similar al Hierro, el Zinc también presenta respuesta positiva, pero en este caso la probabilidad de respuesta es baja, lo que por una parte nos confirma la condición deficitaria de este elemento, y por otra parte, esta condición no es homogénea en toda el área experimental.

De manera particular se observa, que aunque el Fósforo y el Potasio presentan una alta probabilidad de respuesta nula, estos dos elementos de igual forma, tienen una probabilidad de respuesta negativa del 21% y el 23% respectivamente. Esto señala que cualquier incremento de estos elementos en la concentración en tejido foliar, por cualquiera que fuera su causa, tendrá efectos adversos en la producción, esto como consecuencia de un posible consumo de lujo o en consecuencias más severas antagonismos con otros elementos (Owen, 1993). En este orden de respuesta se observa también que el Manganeso y el Cobre, presentan una probabilidad de tener efectos tóxicos en el cultivo con valores del 24% y el 30%, corroborando las condiciones de exceso encontradas en diagnóstico realizado en la obtención de los índices DRIS.

El último elemento, clasificado como de respuesta negativa, pero en esta oportunidad con alta probabilidad de ocurrencia es el Nitrógeno, indicando que las concentraciones actuales de este elemento en tejido foliar podrían estar afectando los componentes de rendimiento del cultivo, como consecuencia de un sobre crecimiento como fue reportado por Goh (2012).

Tabla 4-9: Frecuencia (%) del potencial de respuesta a la aplicación de nutrientes.

Elemento	Positiva, con alta probabilidad (P)	Positiva, con baja probabilidad (Pz)	Respuesta Nula (z)	Negativa, con baja probabilidad (Nz)	Negativa, con alta probabilidad (N)
		%			
N	12,39	7,08	11,50	7,08	61,95
P	4,42	12,39	61,06	21,24	0,88
K	3,54	5,31	66,37	23,01	1,77
Ca	7,96	7,96	62,83	15,93	5,31
Mg	3,54	8,85	77,88	7,96	1,77
Cl	1,77	8,85	83,19	5,31	0,88
Na	3,54	3,54	76,99	12,39	3,54
Zn	9,73	23,89	53,10	7,96	5,31
Cu	8,85	6,19	46,02	30,09	8,85
Fe	21,24	7,96	61,95	8,85	0,00
Mn	4,42	7,96	55,75	24,78	7,08
S	4,42	6,19	88,50	0,00	0,88
B	7,08	3,54	81,42	7,08	0,88

4.4.1.2. Determinación de los niveles críticos foliares

Para la determinación de los niveles críticos, fue usado el análisis de regresión para ajustar modelos lineales, logarítmicas y cuadráticas (Guindani et al*.,* 2009; Silveira et al*.,* 2005) que relacionaran los índices DRIS con la concentración de minerales, esta última como variable independiente. Los modelos estadísticos entre las concentraciones foliares de los minerales y los respectivos índices son presentados en las **Figuras 4-8 a 4-12**. Todos los índices aumentaron con sus respectivas concentraciones de minerales, lo que aumenta la fiabilidad de las normas DRIS (Harger, 2008). Esto demuestra que existe una mayor dependencia de los índices DRIS sobre el contenido del elemento mismo que en los otros nutrientes que participan en el cálculo de los índices DRIS,

En la **Tabla 4-10** se observa que los coeficientes de determinación fueron satisfactorios, a excepción de Nitrógeno y Sodio que presentaron valores de 0,14 y 0,04, indicando menor relación entre los índices obtenidos y la concentración de estos nutrientes. Por otro lado, para el resto de elemento se observa una buena relación entre estos parámetros.

La correlación entre productividad y concentración de nutrientes en la planta es fundamental para usar el análisis de tejido foliar como criterio de diagnóstico. En este sentido, los Índices DRIS pueden ser usados para realizar el diagnostico nutricional, debido a la alta correlación encontrada entre estas variables y como fundamento base para el cálculo de los DRIS.

Al observar los modelos ajustados entre las concentraciones de minerales y sus respectivos índices, se constata que en determinado punto de la función el índice DRIS es igual a cero (**Figuras 4-8 a 4-12**). En ese punto, la concentración foliar no estaría limitando nutricionalmente la capacidad productiva del cultivo de Palma. Como consecuencia de los anterior, el nivel crítico es el valor óptimo para un elemento corresponde a la concentración del mismo cuando su índice DRIS es igual a cero, como lo afirman Wadt et al., (1998), Silva (2001), Reis Junior et al., (1999), Reis Júnior y Monnerat (2002), Kurihara (2004) y Kuriraha et al., (2008).

Dicha concentración para el caso del Nitrógeno es de 2,71% con R^2 como ya se había mencionado de 0,14, coincidiendo con la baja correspondencia encontrada para este elemento por Silveira et al., (2005), Nachtigall y Dechen (2007), y Guindani et al., (2009) para soja y por Santacruz et al (2004) para el cultivo de Palma. El nivel crítico encontrado para este elemento difiere de lo reportado por Múnevar (2004) y por Owen (1992), quienes manifiestan que concentraciones superiores de 2,6% son consideradas como exceso.

El Fósforo ajusta a un modelo de regresión lineal con un R^2 de 0,89, y un nivel crítico calculado de 0,25 %, siendo superior al reportado por Rahman, (2010), Santacruz (2004), quienes encontraron valores adecuados para este elemento de 0,18%.

Los valores encontrados para los cationes Potasio, Calcio y Magnesio aunque también tienen diferencia respecto de lo reportado Ross (2004), Santacruz (2004) y Múnevar (2004), no se sigue la misma tendencia para los tres elementos. Para el caso de Potasio y Calcio, los valores encontrados (**Tabla 4-10**) son inferiores al 1,2% y 0,65% sugerido por los autores anteriormente nombrados, Para Magnesio el valor encontrado de 0,65% es superior respecto de lo reportado por la literatura.

Los micronutrientes Manganeso, Hierro, Boro y Cobre presentan adecuado ajuste a matemático a un modelo logarítmico a diferencia del Zinc que ajusta de manera

lineal. El valor encontrado par el Cobre puede ser considerado como adecuado y acorde con lo reportado por Owen (1994). Los elementos Zinc, Boro, Hierro y Manganeso son significativamente diferentes de lo reportado por Santacruz (2004) para el caso del Manganeso (350 mg kg^{-1}), de lo reportado por Múnevar (2004), para Zinc y Hierro (15 y 80 mg kg^{-1} respectivamente) y por Broschat (2007) para Boro.

Tabla 4-10: Ecuaciones de regresión entre el índice del elemento y la concentración del elemento en tejido foliar.

Elemento	Modelo	R^2	Nivel critico
	%		
N	y = 190,74x - 518,19	0,1491	2,71
P	y = 150,68x - 39,138	0,8975	0,25
K	$y = -20,708x^2 + 83,687x - 62,046$	0,8328	0,97
Ca	y = 74,201x - 37,96	0,8608	0,51
Mg	y = 29,333ln(x) + 37,622	0,7739	0,27
Cl	y = 61,104x - 40,274	0,769	0,65
Na	y = 6,5143ln(x) + 6,1314	0,0433	0,39
S	$y = -1425,8x^2 + 888,61x - 134,01$	0,635	0,25
	mg kg^{-1}		
Zn	y = 0,6x - 23,581	0,8993	39,3
Cu	y = 24,322ln(x) - 38,822	0,9354	4,95
Fe	y = 32,752ln(x) - 163,05	0,8238	145,23
Mn	y = 33,707ln(x) - 176,59	0,8329	188,47
B	y = 18,01ln(x) - 55,166	0,869	21,39

Figura 4-8: Correlación de los Índices DRIS y las concentraciones de los elementos mayores Nitrógeno, Fosforo y Potasio en tejido foliar Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia.

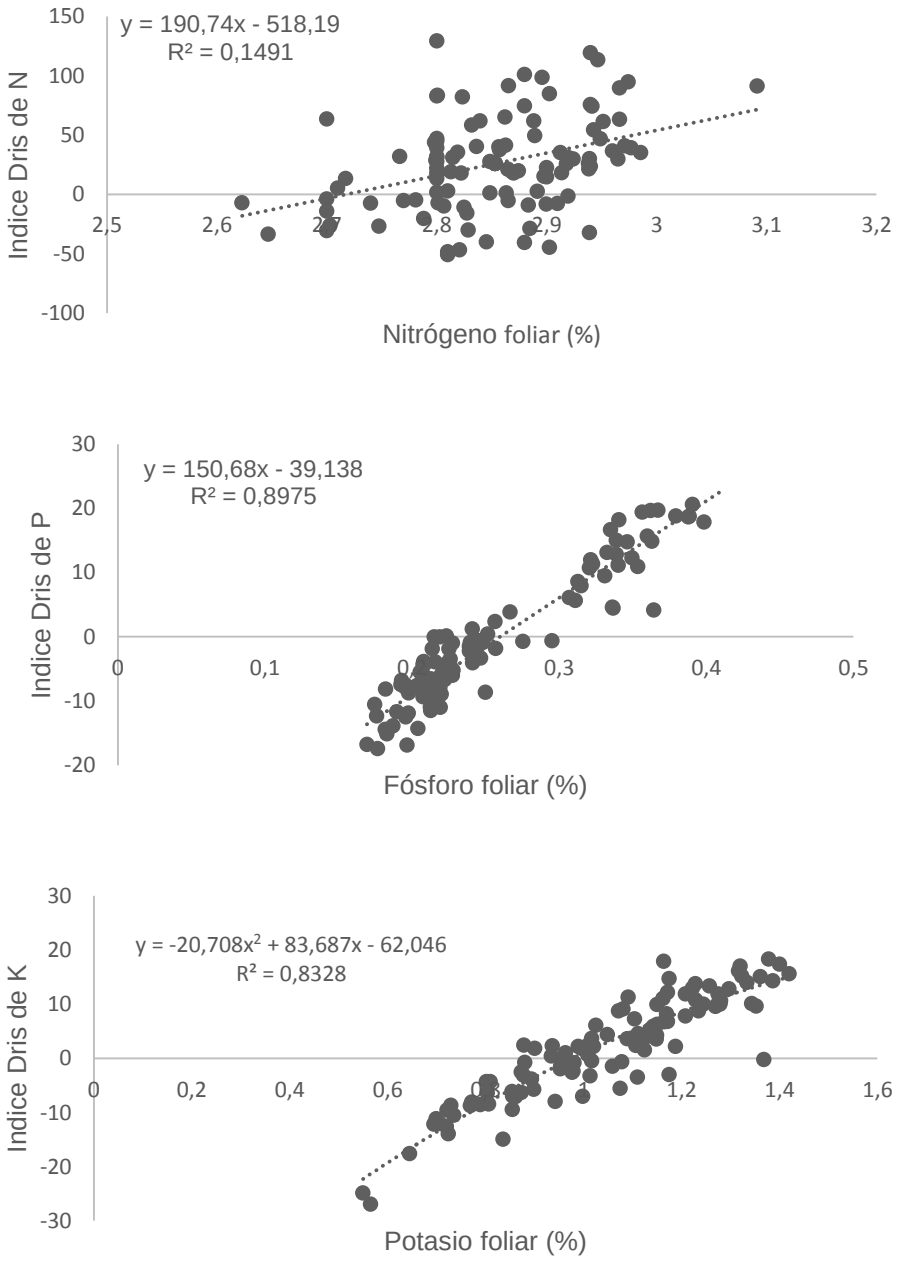


Figura 4-9: Correlación de los Índices DRIS y las concentraciones de los elementos secundarios Calcio, Magnesio y Azufre en tejido foliar Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia.

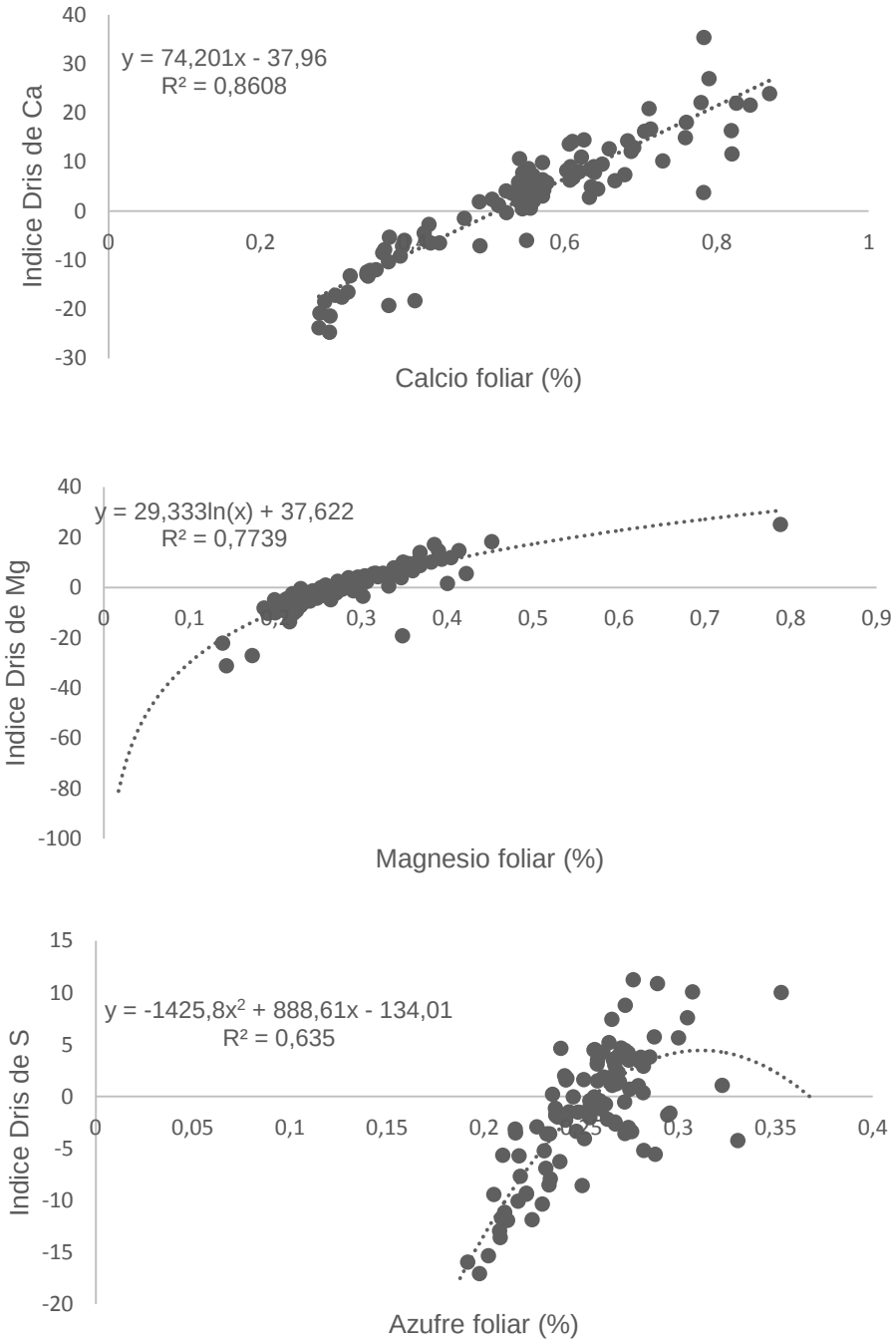
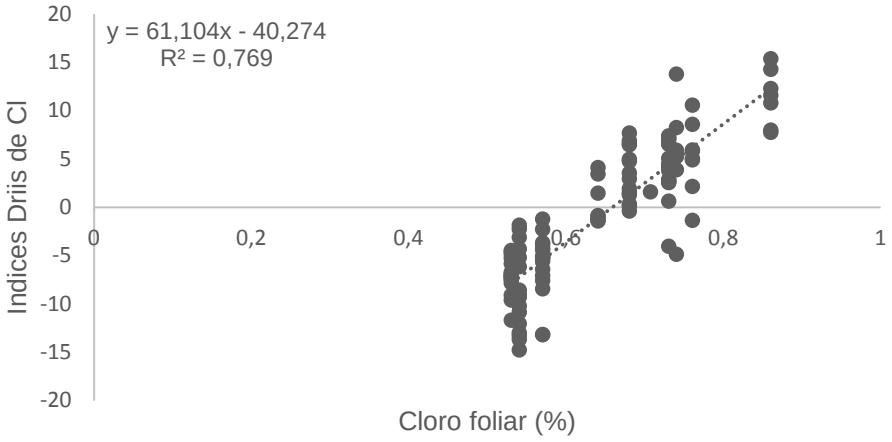


Figura 4-10: Correlación de los Índices DRIS y las concentraciones de Cloro y Sodio en tejido foliar Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia.



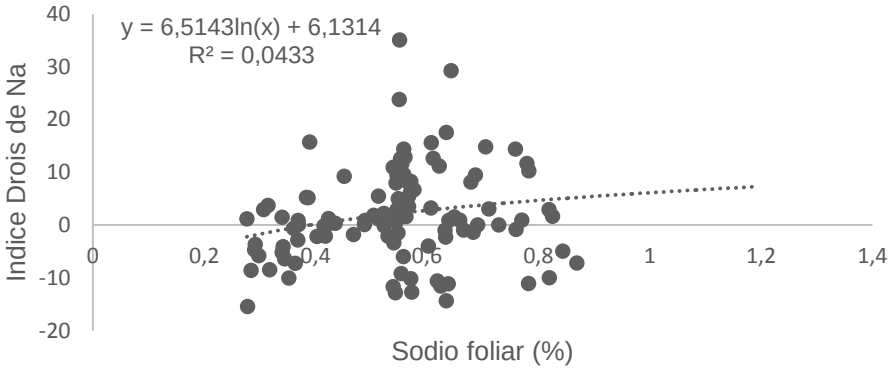


Figura 4-11: Correlación de los Índices DRIS y las concentraciones de Zinc, Cobre y Hierro en tejido foliar Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia.

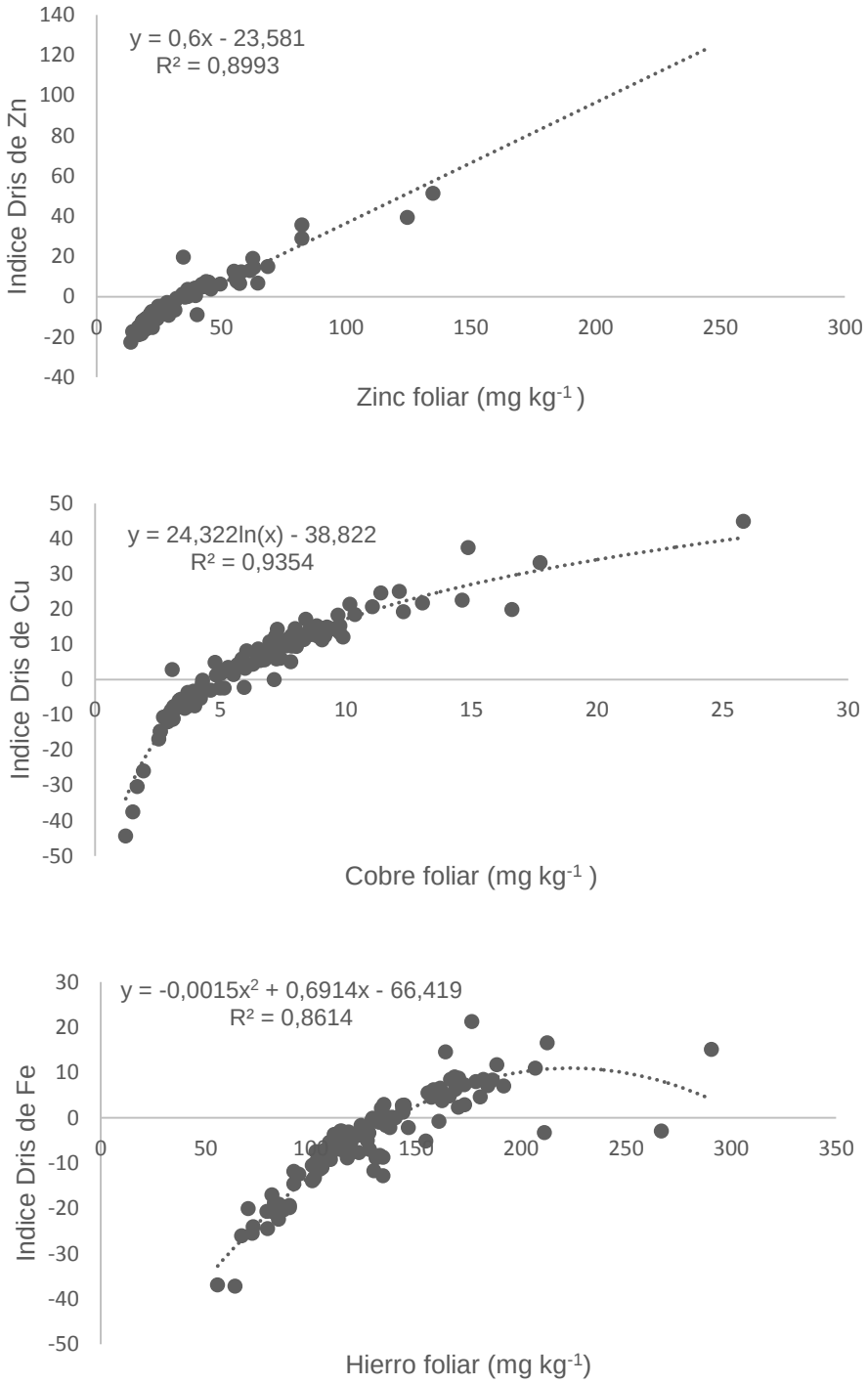
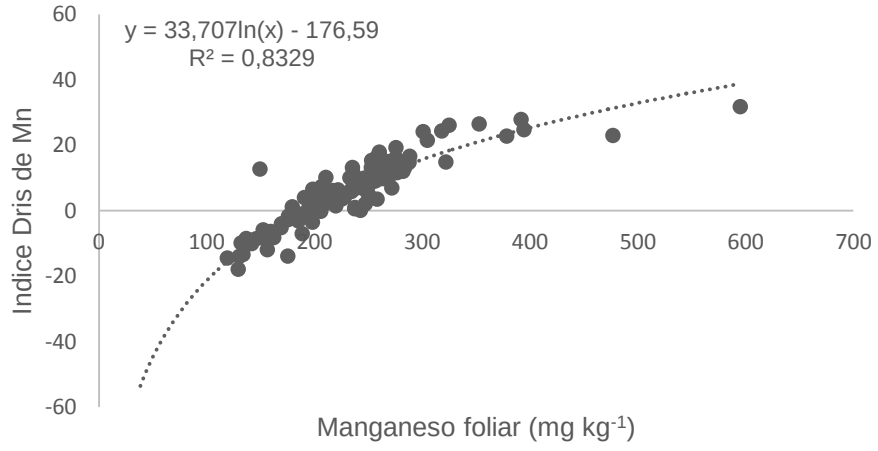
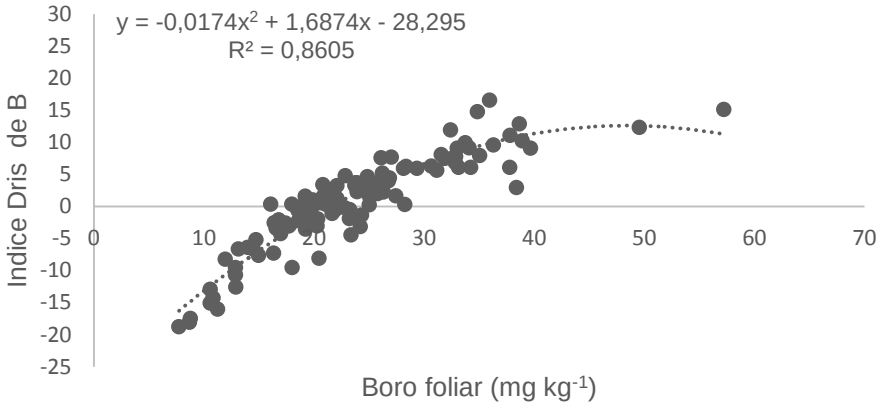


Figura 4-12: Correlación de los Índices DRIS y las concentraciones Boro y Manganeso en tejido foliar Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia.





4.4.1.3. Determinación de las franjas de suficiencia en tejido foliar

En el intento de reforzar las herramientas de diagnóstico nutricional fueron desarrolladas franjas de suficiencia como procedimiento adicional. Las franjas de suficiencia fueron establecidas utilizando el procedimiento propuesto por Beaufils (1973) y Oliveira y Sousa (1993), a partir de los modelos de regresión entre las concentraciones de los nutrientes y los índices DRIS conforme Alvarez y Leite (1999). Las tablas de interpretación ajustadas son presentadas en la **Tabla 4-11**, y se puede verificar que las franjas de suficiencia o niveles adecuados encontrados en el presente trabajo difieren de las disponibles en la literatura **(Tabla 2-2)**.

Tabla 4-11: Franjas de Suficiencia de nutrientes para la interpretación del análisis foliar en el cultivo de Palma de aceite hibrido IRHO.

Elemento	Deficiente	Tendencia a deficiencia	Suficiente	Tendencia a exceso	Exceso
			%		
N	<2,52	2,52-2,62	2,62-2,81	2,81-2,9	>2,90
P	<0,18	0,18-0,22	0,22-0,3	0,3-0,33	>0,33
K	<0,79	0,79-0,88	0,88-1,08	1,08-1,2	>1,2
Ca	<0,32	0,33-0,42	0,42-0,60	0,6-0,69	>0,69
Mg	0.18	0,18-0,22	0,22-0,34	0,34-0,42	>0,42
Cl	<0,499	0,5-0,58	0,58-0,74	0,74-0,71	>0,81
Na	<0,09	0,09-0,19	0,19-0,81	0,81-1,67	>1,67
S	<0,21	0,21-0,23	0,23-0,29	0,29-0,32	>0,32
			$mg*kg^{-1}$		
Zn	<11,21	11,22-25,27	25,27-53,33	53,34-67,38	>67,38
Cu	<2,00	2-3,14	3,14-7,75	7,75-12,18	>12,18
Fe	<100,67	100,68-120,92	120,92-174,43	174,43-209-49	>209,49
Mn	<121,20	121,21-151,15	151,15-235,03	235,03-293,07	>293,07
B	<11,58	11,59-15,75	15,75-29,07	29,07-39,49	>39,49

Los niveles de Nitrógeno tomados como valores altos de acuerdo con el método tradicional, pasaron a ubicarse como suficientes, cuando se considera la franja de suficiencia calibrada por el método DRIS. Para el Fósforo, Calcio, Cloro, Zinc, Hierro y

Manganeo, los valores interpretados como adecuados y altos, pasaron a indicar una tendencia a deficiencia nutricional. Estos resultados enfatizan la conveniencia de determinar niveles de suficiencia locales/regionales, a fin de corregir distorsiones que surgen de criterios de interpretación generales compilados en la literatura y que muchas veces son relacionados a zonas edafoclimaticas y de manejo diferentes (Resende, 2008).

El Potasio presenta condición contraria a los elementos ya mencionados. Para este elemento, los valores encontrados en el presente trabajo son calificados como deficientes según los rangos trabajados para Colombia y propuestos por Múnevar (2004). Lógicamente y continuando con el mismo análisis los valores utilizados convencionalmente serian clasificados en el rango de tendencia a exceso. Finalmente Magnesio, Boro y Cobre no presentaron modificaciones respecto de los reportes utilizados para el manejo del cultivo.

4.4.2. Determinación de las Normas DRIS para suelo

Los valores medios, desviaciones estándar y coeficientes de variación de las concentraciones de nutrientes en el suelo indican que la población de referencia y la baja productividad (**Tabla 4-12**) durante la fase de producción, muestran concentraciones medias de nutrientes no satisfactorias para todos los elementos en comparación de lo reportado por Owen (1992). Igualmente se observa como tendencia que el coeficiente de variación para los elementos de la población de baja productividad es menor respecto de los mismos elementos en la población de referencia, además que se observan diferencias significativas en los contenidos de Nitrógeno, Hierro y Boro para las dos poblaciones.

Al igual que las normas DRIS foliares, las normas DRIS de suelo obtenidas obedecen al criterio de productividad (Santana et al*.,* 2008). Para esto fueron empleados lo resultados de la muestras de suelo de la población superior a 30,1 t ha^{-1}, sirviendo como base para el cálculo del valor medio de la relaciones entre nutrientes. La determinación de las relaciones para el establecimiento de la norma fue realizada mediante el método de la mayor relación de varianzas o Prueba F (Serra et al., 2012), obteniendo como resultado la selección de 78 normas.

De acuerdo con la **Tabla 4-13,** se observa que los mayores valores medios de las normas son encontrados en las relaciones que involucran al Boro, Cobre; Manganeso y

Zinc de forma inversa, es decir en el denominador, esto como resultado de los bajos contenidos de estos elementos en el suelo. Para el coeficiente de variación se observa que el Fósforo y el Magnesio son los elementos con mayores valores cuando se encuentra igualmente de manera inversa, conforme Walworth y Sumner (1987) quien manifiesta que este parámetro de las variables resultantes en una población refleja la variación real de los respectivos valores.

Con el establecimiento de los índices (**Anexo E**), posterior al establecimientos de las normas se puede determinar el orden por la cuales los nutrientes están limitando la producción, teniendo como punto de partida que el elemento se encuentra en equilibrio cuando su valor es próximo de cero (Pérez, 2008; Sema et al., 2010).

Tabla 4-12: Valores medios, desviación estándar y coeficiente de variación para la concentración de nutrientes en suelo para las poblaciones de alta y de baja productividad.

Elemento	Población Alta Producción			Población Baja Producción		
	Media	Desviación estándar	CV (%)	Media	Desviación estándar	CV (%)
N (mg kg $^{-1}$)	34,24*	14,05	41,04	49,78*	41,09	82,55
P (mg kg $^{-1}$)	34,27	17,65	51,50	31,6	19,45	61,57
Ca ($cmol_c$ kg^{-1})	0,57	0,23	40,65	0,49	0,12	24,83
Mg ($cmol_c$ kg^{-1})	0,20	0,07	37,52	0,19	0,06	31,82
Na ($cmol_c$ kg^{-1})	0,04*	0,009	21,01	0,05*	0,03	66,60
K ($cmol_c$ kg^{-1})	0,13	0,05	44,06	0,14	0,08	63,43
S (mg kg $^{-1}$)	14,83	15,55	104,86	21,20	44,30	208,93
Cu (mg kg $^{-1}$)	0,31	0,27	74,31	0,67	3,14	45,82
Fe (mg kg $^{-1}$)	87,35*	45,39	51,96	51,47*	40,08	77,95
Zn (mg kg $^{-1}$)	1,94	2,21	114,01	1,58	0,85	53,61
Mn (mg kg $^{-1}$)	0,97	0,16	64,95	0,79	0,55	69,57
B (mg kg $^{-1}$)	0,25*	0,16	64,95	0,48*	0,86	180,04

* = Significancia (P<0,05).

Tabla 4-13: Relaciones y normas para suelos seleccionadas para Palma de aceite IRHO en la zona central de Colombia.

Forma de Expresión	PAP				PBP				
	Media	S	CV (%)	S^2a	Media	S	CV (%)	S^2b	S^2b/S^2a
N/P	2,11	3,61	170,86	13,01	4,75	11,38	239,39	129,45	9,95**
N/K	0,74	0,36	47,97	0,13	1,14	1,29	113,33	1,67	13,18**
N/Ca	0,33	0,15	46,46	0,02	0,53	0,42	79,69	0,18	7,65**
N/Na	3,29	1,26	38,24	1,59	4,10	2,94	71,82	8,66	5,46**
N/Zn	25,84	13,63	52,76	185,89	39,49	38,29	96,95	1465,84	7,88**
N/Fe	0,77	1,06	138,33	1,12	1,96	2,53	129,30	6,39	5,69**
N/Mn	50,68	24,91	49,16	620,55	102,57	126,40	123,24	15978,07	25,74**
N/S	9,99	13,53	135,36	182,99	14,95	29,70	198,65	882,07	4,82**
P/Ca	0,35	0,23	65,54	0,05	0,35	0,34	94,74	0,11	2,18**
P/Fe	0,61	0,69	113,58	0,48	0,91	0,97	106,88	0,95	1,98**
K/P	2,77	3,55	128,31	12,61	4,14	6,11	147,59	37,28	2,95**
K/Ca	0,49	0,22	45,27	0,05	0,58	0,36	62,66	0,13	2,67**
K/Zn	36,54	15,75	43,11	248,12	44,41	37,15	83,65	1380,03	5,56**
K/Fe	1,01	1,17	114,97	1,36	2,01	2,44	121,05	5,94	4,36**
K/Mn	82,74	62,36	75,37	3888,17	114,22	129,59	113,45	16792,64	4,31**
Ca/Fe	2,46	3,66	149,24	13,43	3,87	4,37	112,89	19,09	1,42**
Mg/N	0,81	0,39	48,83	0,15	0,67	0,43	63,64	0,18	1,19**
Mg/P	1,19	1,60	134,86	2,56	2,01	3,40	168,67	11,54	4,50**
Mg/K	0,52	0,22	41,85	0,05	0,53	0,23	43,13	0,05	1,10**
Mg/Ca	0,24	0,10	42,69	0,01	0,25	0,13	50,02	0,02	1,53**
Mg/Cl	0,74	0,77	103,44	0,59	0,59	0,53	89,34	0,28	0,46**
Mg/Zn	18,95	12,23	64,52	149,51	19,13	11,12	58,10	123,59	0,82**
Mg/Fe	0,53	0,79	150,83	0,63	0,86	0,89	103,53	0,78	1,24**
Mg/Mn	42,38	34,44	81,28	1186,17	47,48	36,48	76,83	1330,65	1,12**
Mg/B	201,28	246,49	122,46	60756,22	87,37	57,56	65,88	3313,18	0,05**
Cl/N	1,61	1,00	62,06	0,99	1,45	0,73	50,71	0,54	0,54**

CV coeficiente de variación, F (Sb/Sa) relación entre varianzas de las poblaciones de alto y baja producción respectivamente, Los elementos N, P, K, Ca, Mg, Cl, Na y S en porcentaje, los demás en mg kg^{-1}, ******Norma seleccionada.

Tabla 4-13. Continuación…

Forma de Expresión	PAP				PBP				
	Media	S	CV (%)	S^2a	Media	S	CV (%)	S^2b	S^2b/S^2a
Cl/P	2,77	4,07	146,75	16,53	4,48	8,61	192,37	74,15	4,48**
Cl/K	1,10	0,58	52,42	0,33	1,46	1,10	75,09	1,21	3,60**
Cl/Ca	0,53	0,37	69,45	0,13	0,71	0,67	94,94	0,45	3,38**
Cl/Na	5,16	3,40	65,83	11,55	5,57	4,09	73,30	16,69	1,44**
Cl/Zn	42,03	30,37	72,24	922,14	49,14	35,44	72,12	1255,94	1,36**
Cl/Fe	0,99	1,20	121,55	1,45	2,29	2,44	106,75	5,95	4,10**
Cl/Mn	87,57	99,44	113,56	9889,26	127,79	120,25	94,10	14459,89	1,46**
Cl/S	15,98	26,30	164,62	691,80	19,09	38,32	200,74	1468,46	2,12**
Na/P	0,80	1,61	200,41	2,58	1,23	2,23	180,28	4,95	1,91**
Na/K	0,23	0,10	42,42	0,01	0,30	0,22	74,13	0,05	4,90**
Na/Ca	0,10	0,04	35,64	0,00	0,14	0,08	59,57	0,01	5,19**
Na/Zn	8,20	4,11	50,11	16,90	10,37	7,00	67,50	49,04	2,90**
Na/Fe	0,26	0,47	184,81	0,23	0,51	0,56	109,91	0,31	1,38**
Na/Mn	18,03	12,83	71,13	164,52	26,02	21,63	83,16	468,05	2,84**
Na/S	3,36	4,51	134,23	20,39	3,45	4,46	129,19	19,91	0,97**
Zn/P	0,13	0,23	173,66	0,05	0,15	0,29	197,05	0,0858	1,67**
Zn/Fe	0,04	0,05	138,25	0,00	0,07	0,13	192,91	0,02	5,95**
Cu/N	0,01	0,01	71,51	0,000	0,02	0,06	386,50	0,00	82,16**
Cu/P	0,03	0,07	243,89	0,005	0,16	1,16	742,31	1,35	295,97**
Cu/K	0,01	0,01	83,67	0,000	0,02	0,10	529,13	0,01	325,51**
Cu/Ca	0,003	0,00	84,81	0,000	0,01	0,03	397,77	0,001	163,04**
Cu/Mg	0,04	0,14	359,82	0,019	0,03	0,16	489,63	0,03	1,31**
Cu/Cl	0,01	0,01	96,30	0,000	0,01	0,02	214,80	0,001	8,45**
Cu/Na	0,03	0,02	79,57	0,001	0,06	0,30	472,96	0,09	163,83**
Cu/Zn	0,22	0,17	78,45	0,029	0,64	3,46	541,57	11,95	408,58**
Cu/Fe	0,01	0,01	166,42	0,000	0,04	0,21	591,59	0,04	267,49**

CV coeficiente de variación, F (Sb/Sa) relación entre varianzas de las poblaciones de alto y baja producción respectivamente, Los elementos N, P, K, Ca, Mg, Cl, Na y S en porcentaje, los demás en mg kg^{-1}, ******Norma seleccionada.

Tabla 4-13.Continuación…

Forma de Expresión	PAP				PBP				
	Media	S	CV (%)	S^2a	Media	S	CV (%)	S^2b	S^2b/S^2a
Cu/Mn	0,47	0,44	92,49	0,19	2,03	12,68	625,50	160,74	835,16**
Cu/S	0,16	0,28	172,68	0,08	0,11	0,18	156,12	0,03	0,40**
Mn/P	0,05	0,09	166,74	0,01	0,06	0,12	196,17	0,01	1,93**
Mn/Ca	0,01	0,01	78,56	0,00005	0,01	0,01	108,93	0,0001	2,14**
Mn/Zn	0,59	0,31	52,93	0,10	0,58	0,43	74,29	0,18	1,90**
Mn/Fe	0,02	0,02	123,44	0,00	0,03	0,04	161,88	0,002	3,88**
S/P	0,53	0,73	138,82	0,54	1,94	5,83	300,88	34,00	63,41**
S/K	0,35	0,47	134,70	0,22	0,44	0,74	168,47	0,54	2,47**
S/Ca	0,15	0,20	126,83	0,04	0,22	0,48	215,90	0,23	6,04**
S/Mg	0,66	0,71	106,66	0,50	0,82	1,22	148,78	1,48	2,97**
S/Zn	12,42	14,53	116,93	211,05	17,34	32,38	186,76	1048,37	4,96**
S/Fe	0,59	2,30	387,79	5,28	0,95	2,66	281,95	7,10	1,34**
S/Mn	27,54	43,15	156,69	1862,33	38,08	66,27	174,04	4392,13	2,35**
B/N	0,01	0,01	72,85	0,00	0,01	0,01	72,52	0,0001	1,47**
B/P	0,02	0,07	291,05	0,00	0,08	0,46	576,83	0,21	43,72**
B/K	0,01	0,00	83,34	0,00	0,01	0,02	157,76	0,00	11,63**
B/Ca	0,003	0,00	75,57	0,00	0,00	0,01	140,16	0,00005	12,04**
B/Cl	0,01	0,01	105,20	0,00	0,01	0,01	123,55	0,0001	2,76**
B/Na	0,02	0,01	60,07	0,00	0,03	0,04	110,73	0,001	6,84**
B/Zn	0,21	0,17	79,51	0,03	0,34	0,42	124,68	0,18	6,48**
B/Cu	1,41	1,65	116,80	2,72	2,30	4,39	190,60	19,26	7,08**
B/Fe	0,01	0,01	145,26	0,00	0,02	0,06	280,17	0,003	48,27**
B/Mn	0,46	0,47	102,65	0,22	0,94	1,56	165,05	2,43	10,83**
B/S	0,06	0,10	156,16	0,01	0,10	0,14	145,53	0,02	2,00**

CV coeficiente de variación, F (Sb/Sa) relación entre varianzas de las poblaciones de alto y baja producción respectivamente, Los elementos N, P, K, Ca, Mg, Cl, Na y S en porcentaje, los demás en mg kg^{-1}, ******Norma seleccionada.

El orden de Mayor a menor de los índices DRIS, se puede observar en la **Tabla 4-14**. Con este criterio se tiene que en el total de la población las mayores limitaciones por deficiencia están siendo presentadas por lo micronutrientes a excepción de Zinc, siendo el más deficiente el Cobre (-9,41), seguido por Boro (-2,06). Por el contrario, en las limitaciones por exceso se encuentra en primer lugar el Zinc (5,87), seguido por Fósforo (5,04), Potasio (4,51) y Nitrógeno (4,41). Con esto se observa el desbalance entre Macronutrientes y Micronutrientes como resultado de las grandes aplicaciones de fertilizantes NPK en el cultivo (Witt et al., 2006), y la baja frecuencia de aplicación de elementos menores (Yépes, 2014).

En las **Figuras 4-13 y 4-14**, se presenta la distribución de frecuencias para los diferentes elementos del suelo clasificados en no limitantes (NL), limitantes por falta (LF) y limitantes por exceso (LE) para las poblaciones de alta y baja producción. En ella se observa que para las dos poblaciones el Magnesio y el Nitrógeno se encuentran en condiciones no limitantes, además que presentan valores similares en los dos grupos; superiores al 80% para el caso del Magnesio y del 69% para Nitrógeno. Además es evidente que en este segmento de clasificación difieren Boro y Potasio en la población de alta producción respecto de Cobre y Hierro para la población de baja productividad.

Para los elementos limitantes por falta o deficientes se presenta similitud en las dos poblaciones diferenciadas, coincidiendo el Cobre, Boro y Manganeso. La población de alta producción además presentó limitación con el Nitrógeno (31%) y la población de bajos rendimientos con Azufre (29%), teniendo en cuenta que la frecuente aplicación de fertilizantes concentrados de Fósforo y Nitrógeno pueden causar deficiencia de Azufre y provocar el desbalance de aniones (Cravo, 1989).

Condición similar a la anterior se presentó para los elementos limitantes por exceso, siendo igual la limitación para las dos poblaciones con el Fósforo y Azufre y diferente para Nitrógeno y Hierro, confirmando la interacción y/o antagonismo que se puede presentar Fosforo-Azufre como lo manifestó Martins y Kaminski (1997).

Tabla 4-14: Índices DRIS de suelo, para el cultivo de Palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO en la zona central palmera de Colombia.

Nutriente	Índice
N	4,41
P	5,04
K	4,51
Ca	4,15
Mg	-0,36
Al	-0,04
Na	0,05
Zn	5,87
Cu	-9,41
Fe	4,01
Mn	-0,40
S	2,49
B	-2,06
IBN	164,98
IBNm	12,69

Figura 4-13: Distribución de frecuencias para los contenidos nutricionales en los diferentes elementos minerales: No limitante (NL), limitante por falta (LF) y limitante por exceso (LE) en la población de alta productividad por la metodología DRIS para suelo.

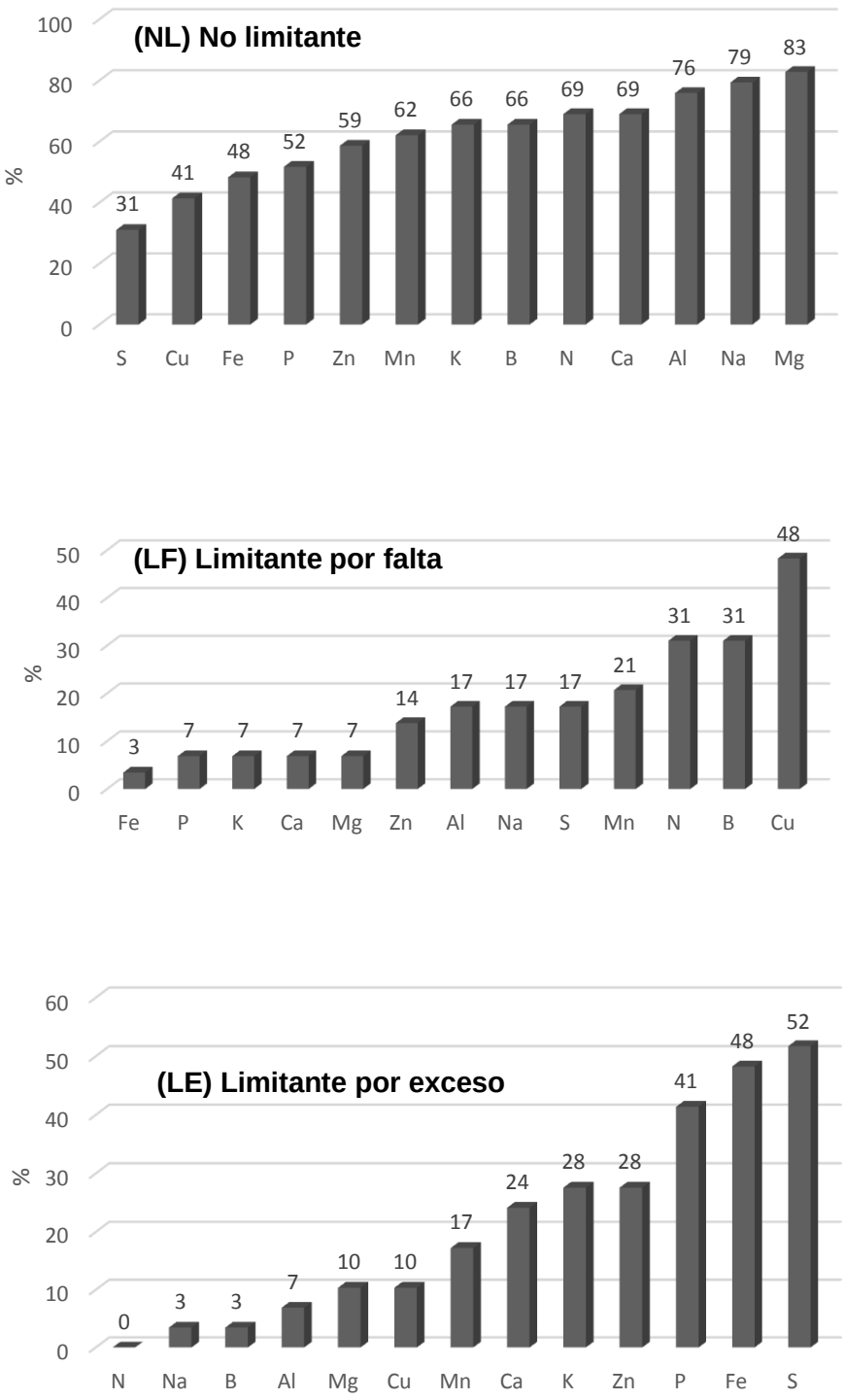
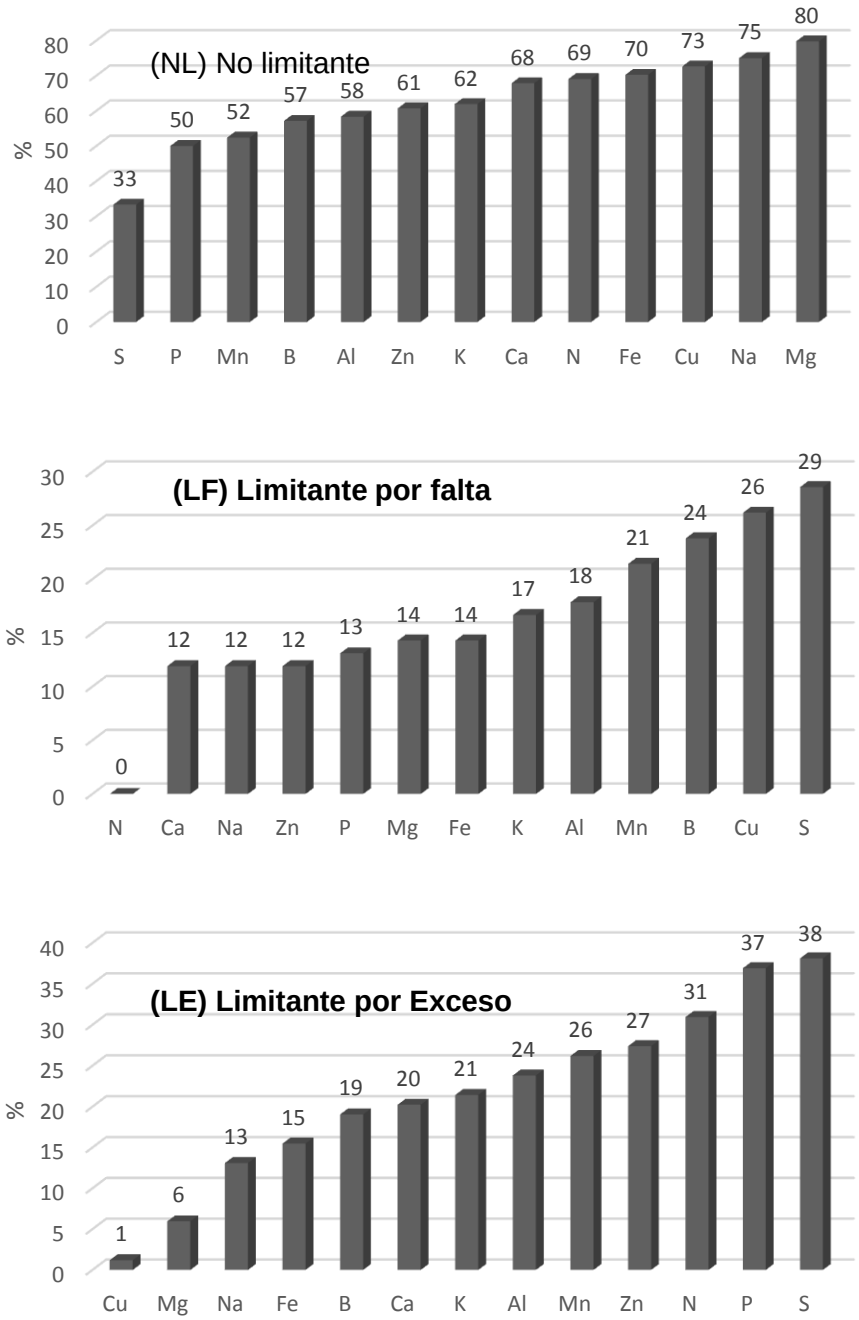


Figura 4-14: Distribución de frecuencias para los contenidos nutricionales en los diferentes elementos minerales: No limitante (NL), limitante por falta (LF) y limitante por exceso (LE) en la población de alta productividad por la metodología DRIS para suelo.



4.4.2.1. Probabilidad de respuesta a la aplicación de nutrientes basado en el DRIS para suelo

Analizando el potencial de respuesta a la aplicación de nutrientes calculado con base a los índices DRIS, se observa en la **Tabla 4-15**, que el elemento con mejor comportamiento es el Magnesio registrando el 80 % de probabilidad de repuesta nula, lo que traduce que un aumento en la dosis del elemento difícilmente presentará efecto en el aumento del rendimiento del cultivo, resultante de las frecuentes aplicaciones de Kieserita (Webb, 2009; Ross, 2007). De la misma manera se observa que todos los elementos presentan alto porcentaje de probabilidad de repuesta nula, a excepción del Azufre que presenta un porcentaje del 32%, pero este elemento también presenta alta probabilidad de respuesta positiva (20%) y negativa (21%), lo que confirma la variabilidad encontrada en el área experimental en los capítulos anteriores.

Coincidiendo con su estado de limitante por falta, el Cobre presenta el mayor valor (20%) de alta probabilidad con respuesta positiva, al igual que positiva respuesta con baja probabilidad de ocurrencia con un porcentaje del 11%. También se observa que el Manganeso y el Boro tienen baja probabilidad de tener un efecto positivo en la producción de fruto fresco de Palma.

Tabla 4-15: Frecuencia (%) del potencial de respuesta a la aplicación de nutrientes basado en el DRIS de suelo.

Elemento	Positiva, con alta probabilidad (P)	Positiva, con baja probabilidad (Pz)	Respuesta Nula (z)	Negativa, con baja probabilidad (Nz)	Negativa, con alta probabilidad (N)
			%		
N	1,770	5,310	69,912	13,274	9,735
P	4,425	7,080	50,442	26,549	11,504
K	5,310	8,850	62,832	13,274	9,735
Ca	3,540	7,080	68,142	16,814	4,425
Mg	5,310	7,080	80,531	6,195	0,885
Cl	7,080	10,619	62,832	15,929	3,540
Na	4425	8,850	76,106	8,850	1,770
Zn	2,655	9,735	60,177	15,929	11,504
Cu	20,354	11,504	64,602	2,655	0,885
Fe	1,770	9,735	64,602	15,044	8,850
Mn	7,965	13,274	54,867	12,389	11,504
S	20,354	5,310	32,743	20,354	21,239
B	11,504	14,159	59,292	10,619	4,425

Los elementos Fósforo, Zinc y Hierro por el contrario, corren el riesgo de causar consumos de lujo o efectos tóxicos en el cultivo (Zhang et al., 2012), debido a que son los nutrientes que aunque presentan baja probabilidad de ocurrencia su respuesta es negativa con valores de 26 % para el Fósforo y del 15 % para Zinc y Hierro. Para el caso del elemento Fósforo esta situación se puede estar presentado como consecuencia de la acumulación o fijación de este nutriente tras la aplicaciones frecuentes de este elemento (Wiit et al*.,* 2006) y la baja eficiencia agronómica que presenta (Kihara, 2013).

4.4.2.2. Determinación de los niveles críticos en suelo

La relación entre el índice de DRIS y el contenido de nutrientes en el suelo permitió la obtención de ecuaciones lineales, logarítmicas y cuadráticas, (**Figuras 4-15 a 4-19**), Silveira et al., (2005) y Guindani et al., (2009), manifiestan que los mejores modelos ajustados son los lineales y logarítmicos.

Los macronutrientes, Nitrógeno, Fósforo, Azufre tuvieron un mayor coeficiente de determinación (R^2) superior de 0,75, $p < 0,05$, así como los micronutrientes Hierro, Manganeso y Boro más de 0,70, $p < 0,05$, lo que demuestra que hay una mayor dependencia de los índices DRIS sobre el contenido del elemento mismo que en los otros nutrientes que participan en el cálculo de los índices DRIS (Nachtigall y Dechen, 2002).

Igualmente se observó que la relación entre los índices DRIS y concentraciones foliares fue significativa ($p < 0,05$) para todos los nutrientes. Los índices DRIS más bajos se relaciones con los contenidos de nutrientes más bajos en el suelo, lo que aumenta la fiabilidad de las normas DRIS, ya que los enfoques indican las limitaciones nutricionales correctamente (**Figuras 4-15 a 4-19**). Sin embargo, Calcio y Magnesio fueron los elementos con coeficiente de determinación más bajos (**Tabla 4-16)**.

Para la determinación de los niveles críticos se procedió a igualar la ecuación a cero y posteriormente se despejó para determinar el valor del elemento. En ese sentido el nivel crítico para nitrógeno edáfico encontrado es 36,31 mg kg^{-1}, siendo superior a los reportados en la literatura Colombiana (**Tabla 2-2**).

Figura 4-15: Correlación de los Índices DRIS y las concentraciones de los elementos Nitrógeno, Fósforo y Potasio en suelo para la zona central palmera de Colombia.

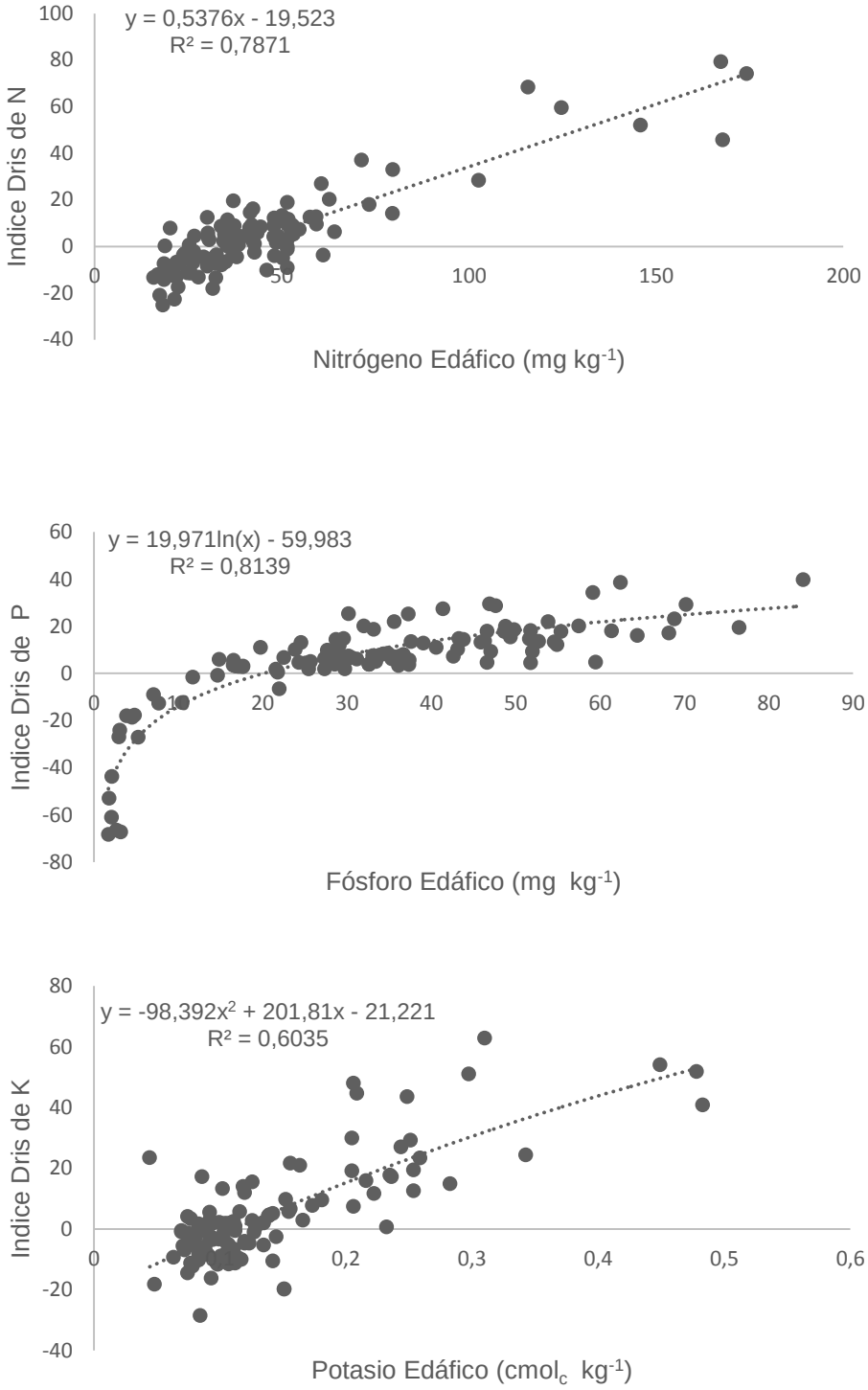


Figura 4-16: Correlación de los Índices DRIS y las concentraciones de los elementos Calcio, Magnesio y Aluminio en suelo para la zona central palmera de Colombia.

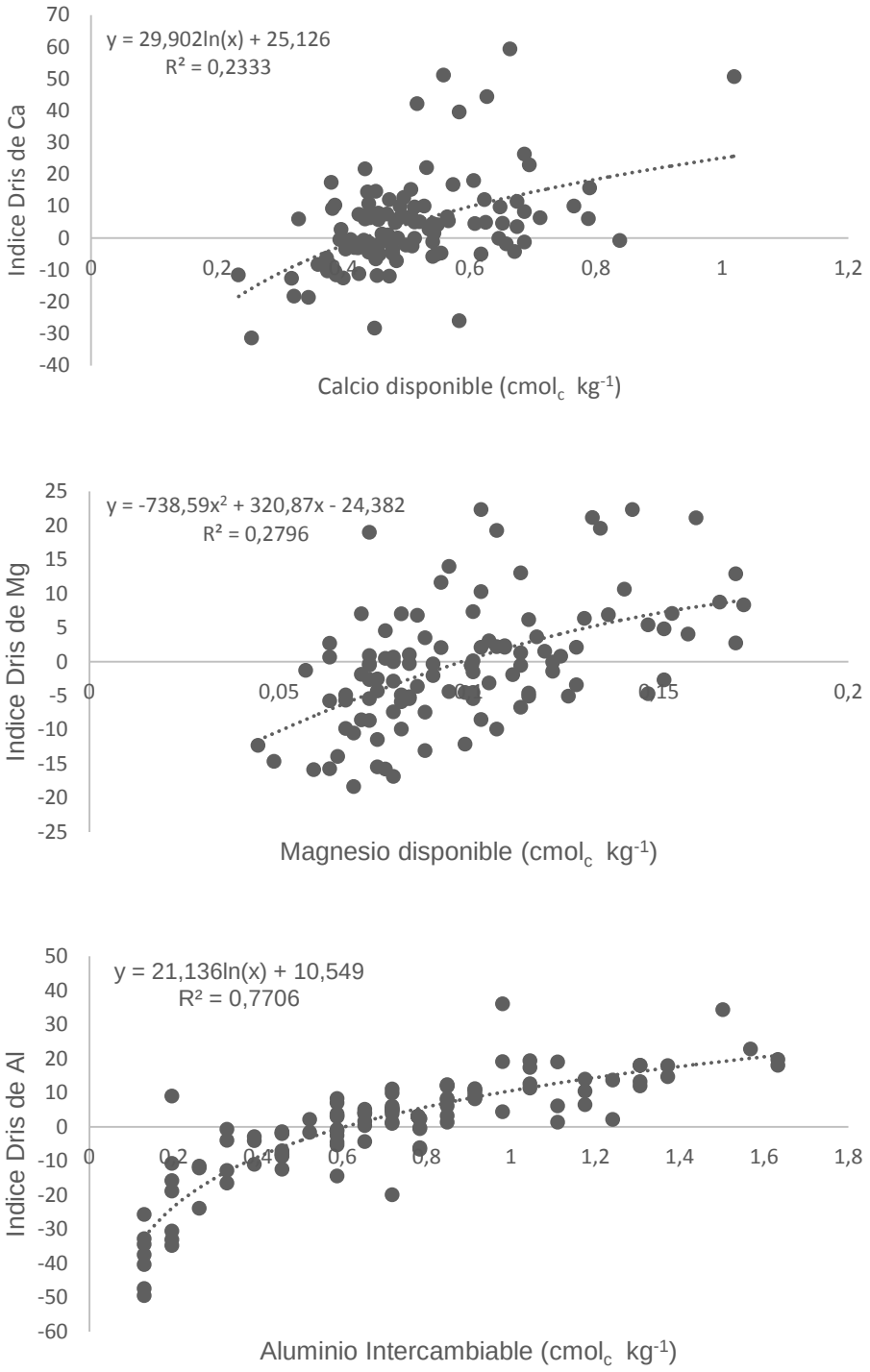


Figura 4-17: Correlación de los Índices DRIS y las concentraciones de los elementos Sodio, Azufre y Zinc en suelo para la zona central palmera de Colombia.

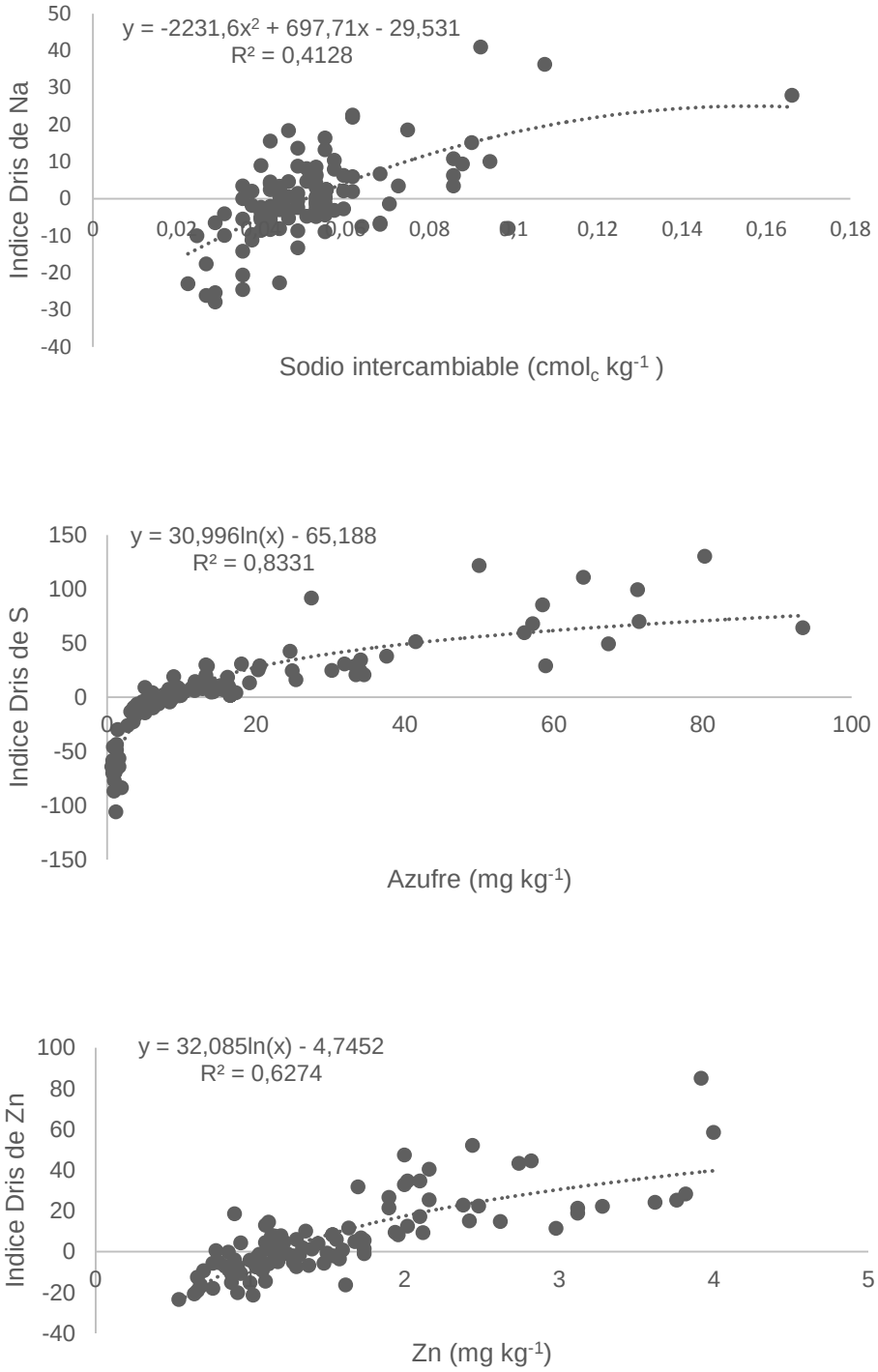


Figura 4-18: Correlación de los Índices DRIS y las concentraciones de los elementos Cobre, Hierro y Manganeso en suelo para la zona central palmera de Colombia.

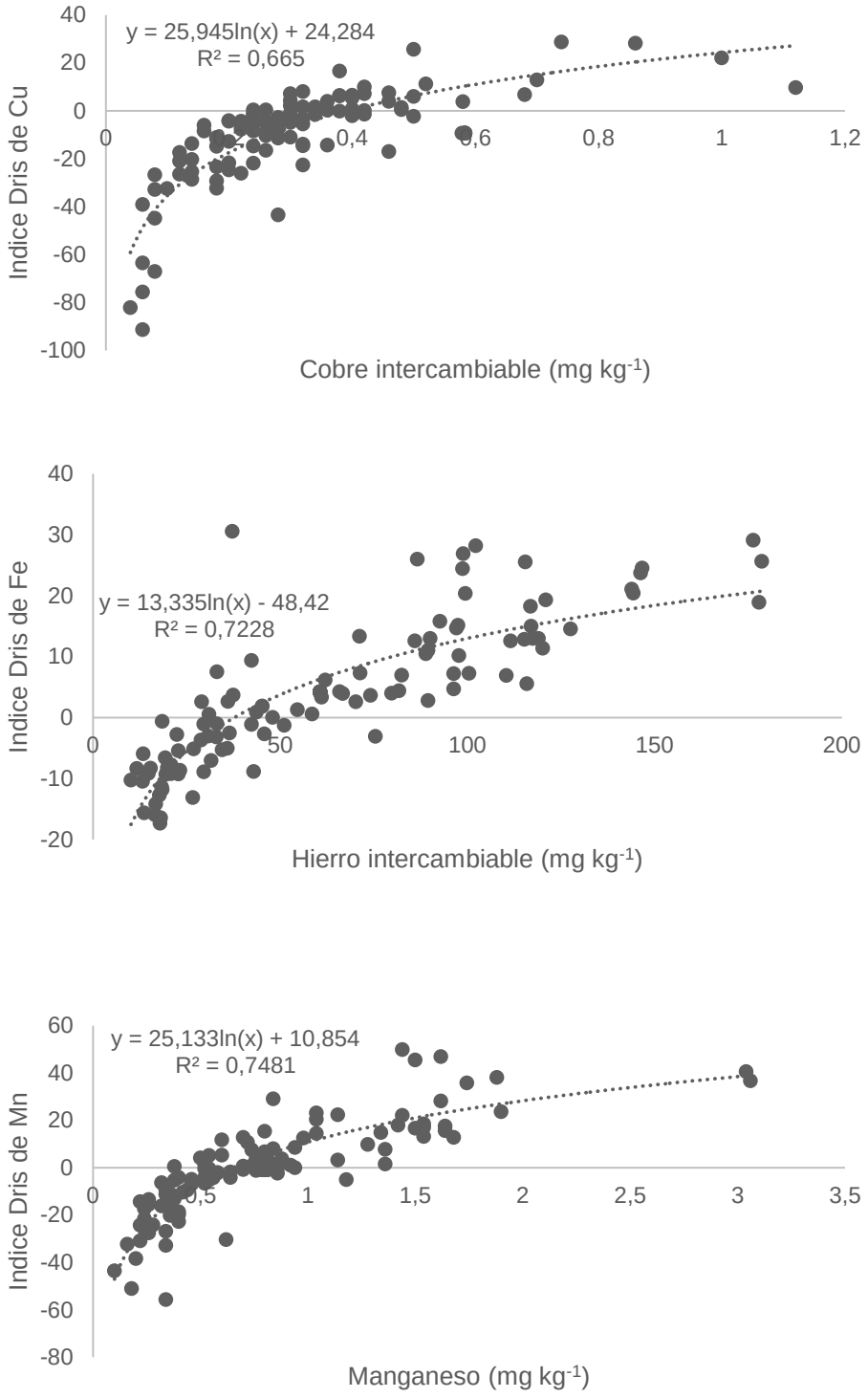
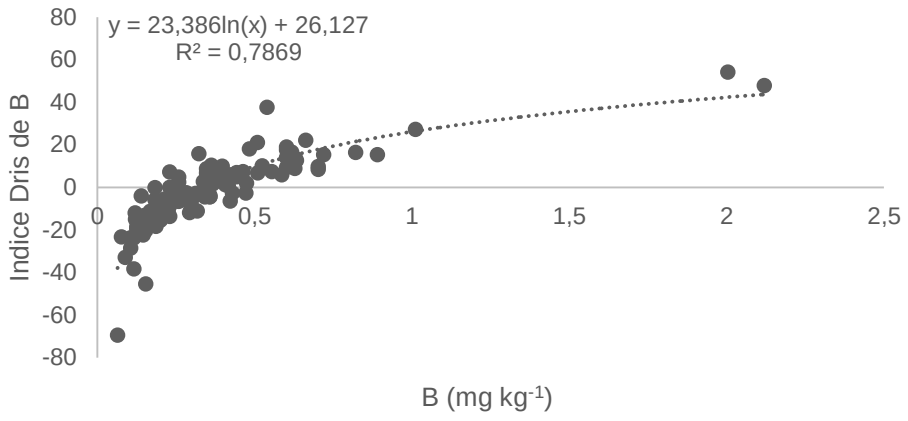


Figura 4-19: Correlación de los Índices DRIS y las concentraciones del elemento Boro en suelo para la zona central palmera de Colombia.



El Fósforo ajusta a un modelo de regresión logarítmico con un R^2 de 0,8, y presenta un nivel crítico calculado de 20 mg kg^{-1}, contrario de lo reportado por Arias (2004). Los valores encontrados para los cationes Potasio, Calcio y Magnesio registran diferencia respecto de lo reportado por Múnevar (2004). Los valores encontrados son significativamente menores, aunque los coeficientes de determinación para el caso de Calcio y Magnesio no presentan adecuado ajuste con valores de 0,23 y 0,27 respectivamente. El potasio se ajusta de manera aceptable a un modelo cuadrático con un R^2 de 0,6.

Todos los micronutrientes presentaron adecuado ajuste matemático a un modelo logarítmico, con R^2 superior a 0,7 para Hierro, Manganeso y Boro, y mayores de 0,6 para Zinc y Cobre. Comparando los valores obtenidos con los presentados en la **Tabla 2-2,** se observa la diferencia encontrada en los diferentes elementos. Para el caso del Boro y del Zinc, el resultado encontrado concuerda con el nivel medio de referencia. El nivel crítico encontrado para Manganeso difiere sustancialmente considerando que el valor obtenido es de 0,39 mg kg^{-1}, en comparación de los 5 mg kg^{-1} reportados por la literatura, y para el Hierro los 37 mg kg^{-1} encontrados en la presente investigación son superiores a los contenidos altos utilizados como parámetro de referencia.

Tabla 4-16: Ecuaciones de regresión entre el índice del elemento y la concentración del elemento en suelo

Elemento	Modelo	R^2	Nivel critico
	mg kg^{-1}		
N	y = 0,5376x - 19,523	0,7871	36,31
P	y = 19,971ln(x) - 59,983	0,8139	20,15
S	y = 30,996ln(x) - 65,188	0,8331	8,191
	$cmol_c$ kg^{-1}		
K	$y = -98,392x^2 + 201,81x - 21,221$	0,6035	0,11
Ca	y = 29,902ln(x) + 25,126	0,2333	0,43
Mg	$y = -738,59x^2 + 320,87x - 24,382$	0,2796	0,098
Al	y = 21,136ln(x) + 10,549	0,7706	0,6
Na	$y = -2231,6x^2 + 697,71x - 29,531$	0,41	0,05
	mg kg^{-1}		
Zn	y = 32,085ln(x) - 4,7452	0,622	1,15
Cu	y = 25,945ln(x) + 24,284	0,665	0,39
Fe	13,335ln(x) - 48,42	0,7228	37,75
Mn	y = 25,133ln(x) + 10,854	0,74	0,64
B	y = 23,386ln(x) + 26,127	0,7869	0,32

4.4.2.3. Determinación de las franjas de suficiencia en suelo

En Colombia las franjas de suficiencia normalmente empleadas en el cultivo de la Palma como punto de referencia en cuanto al estatus de fertilidad del suelo, son las reportadas por Múnevar (2004). Al observar la clasificación realizada por este autor se observa en primera medida, que son tres clases o agrupamientos los que se encuentran en comparación de las cinco clases propuesta por Wadt (1996). En segundo lugar los niveles catalogados como deficientes encontrados no presentan concordancia con el nivel bajo, así como los niveles de exceso con los niveles altos. Y por último, los rangos obtenidos de las franjas de suficiencia por la metodología de Beaufils (1973), empleada por Wadt (1996), son más amplios en comparación de los presentados en la **Tabla 2-2**.

En ese orden de ideas, los niveles de Nitrógeno tomados como valores altos de acuerdo con el método tradicional, pasaron a ubicarse como suficientes, cuando se considera la

franja de suficiencia calibrada por el método DRIS. Para el Fósforo, Cobre y Hierro los valores interpretados como adecuados y altos, pasaron a indicar una tendencia a deficiencia nutricional.

El Potasio presenta condición contraria a los elementos ya mencionados. Para este elemento, los valores encontrados en el presente trabajo son calificados como deficientes según los rangos trabajados para Colombia y propuestos por Múnevar (2004). Finalmente Zinc y Boro no presentaron modificaciones respecto de los reportes utilizados para el manejo del cultivo.

Tabla 4-17: Fajas de Suficiencia de nutrientes para la interpretación del análisis foliar en el cultivo de Palma de aceite hibrido IRHO.

Elemento	Deficiente	Tendencia a deficiencia	Suficiente	Tendencia a exceso	Exceso
			mg kg-^{1}		
N	<11,61	11,61-23,96	23,96-48,66	48,66-61-0,1	>61,01
P	<5,75	5,75-10,76	10,76-37,73	37,73-70,67	>70,67
S	<1,49	1,49-3,5	3,5-19,2	19,2-44,9	>44,9
			$cmol_c$ kg^{-1}		
K	<0,0005	0,0005-0,054	0,054-0,17	0,17-0,23	>0,23
Ca	<0,22	0,22-0,31	0,31-0,59	0,59-0,83	>0,83
Mg	<0,06	0,06-0,07	0,07-0,13	0,13-0,19	>0,19
Al	<0,25	0,25-0,39	0,39-0,94	0,94-1,46	>1,46
Na	<0,22	0,22-0,31	0,31-0,48	0,48-0,57	>0,57
			mg kg^{-1}		
Zn	<0,52	0,52-0,77	0,77-1,7	1,7-2,55	>2,55
Cu	<0,086	0,086-0,18	0,18-0,83	2,55-1,77	>1,77
Fe	<12,23	12,23-21,49	21,49-66,30	66,3-116,44	>116,44
Mn	<0,29	0,29-0,43	0,43-0,96	0,96-1,42	>1,42
B	<0,15	0,15-0,22	0,22-0,47	0,47-0,68	>0,68

4.5. Determinación de las unidades homogéneas de manejo

Se desarrolló un análisis de agrupamiento o clúster por punto de observación (ACPO) para validar la relación entre las propiedades químicas del suelo, los contenidos de nutrientes en tejido foliar y los rendimientos del cultivo, para establecer agrupamientos con características similares.

Mediante el uso de la distancia euclidiana como una medida de disimilitud, cuando se estabilizó la varianza intragrupal se encontraron tres grupos para los resultados de suelo al igual que para los resultados de la propiedades químicas en tejido foliar (**Figura 4-20** y **Figura 4-22**), (**Anexo F**) (Peñaranda y Navas, 2005), siendo 29,78 la distancia euclidiana en donde se realizó el corte para el clúster de suelos y 31,18 para el clúster foliar.

En la **Tabla 4-19**, se observa el resumen del análisis por componentes principales, destacándose los obtenidos en cada área de manejo con base en los resultados edáficos, fundamentados en el método de rotación varimax, los valores propios o auto valores, la varianza total y la varianza acumulada para cada uno de ellos, Sobre la base de los criterios antes mencionados, se optó por fijar el número de componentes basados en el porcentaje de varianza acumulada hasta alcanzar el 70%.

Figura 4-20: Dendograma resultante del análisis clúster para suelos y producción,

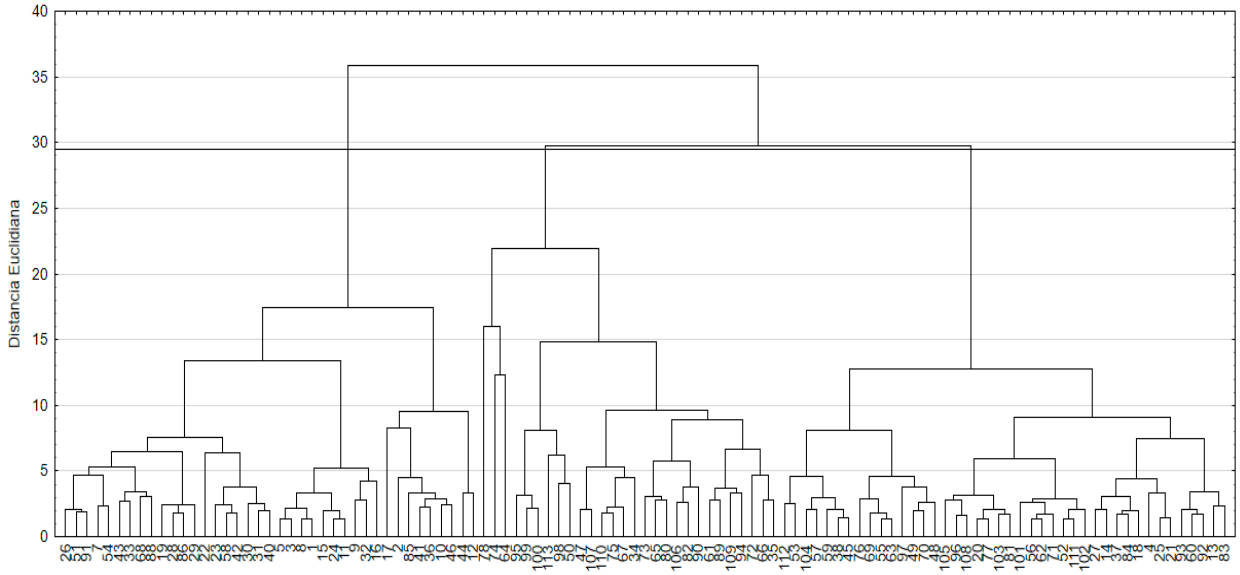


Tabla 4-18: Valores medios para las diferentes propiedades químicas del suelo y rendimiento para los diferentes grupos de manejo.

Propiedad	Grupo 1			Grupo 2			Grupo 3		
	Media	Desviación estándar	CV (%)	Media	Desviación estándar	CV (%)	Media	Desviación estándar	CV (%)
pH	4,20	0,29	6,91	4,18	0,21	5,13	4,31	0,26	6,17
N (mg kg^{-1})	33,51a	10,7	32,1	68,38b	41,8	61,2	37,36a	23,8	63,7
P (mg kg^{-1})	43,07a	15,2	35,3	33,41a	21,2	63,5	22,46b	15,2	67,5
K ($cmol_c$ kg^{-1})	0,17a	0,1	49,7	0,17a	0,1	63,5	0,09b	0,0	29,8
Ca ($cmol_c$ kg^{-1})	0,56a	0,2	37,1	0,49ab	0,1	22,4	0,48b	0,1	25,8
Mg ($cmol_c$ kg^{-1})	0,23a	0,1	25,2	0,19b	0,1	34,6	0,17b	0,1	29,6
Al ($cmol_c$ kg^{-1})	0,61a	0,3	47,0	0,94b	0,4	42,6	0,55a	0,3	58,5
Na ($cmol_c$ kg^{-1})	0,04a	0,0	20,3	0,07b	0,1	81,5	0,04a	0,0	48,5
Zn (mg kg^{-1})	1,42a	0,8	54,1	2,25b	1,1	46,7	1,29a	0,5	37,4
Cu (mg kg^{-1})	0,30a	0,2	69,2	0,34a	0,2	48,5	0,26a	0,2	61,8
Fe (mg kg^{-1})	101,30 a	40,2	39,7	36,38b	25,2	69,3	40,92b	30,4	74,2
Mn (mg kg^{-1})	1,03a	0,8	76,7	0,80ab	0,6	78,0	0,69b	0,5	67,2
S (mg kg^{-1})	19,80a	20,5	103,8	29,57a	69,0	233,4	13,28a	21,7	163,6
B (mg kg^{-1})	0,26a	0,1	51,5	0,54b	0,4	71,7	0,31a	0,3	94,2
% Sat. Potasio	10,63a	4,98	46,81	9,2ab	5,72	62,22	7,54c	3,04	40,40
% Sat. Calcio	35,06a	10,00	28,53	27,93b	9,84	35,24	37,81a	11,34	30,01
% Sat. Magnesio	15,05a	4,74	31,51	10,92ab	4,09	37,51	13,01b	4,07	31,31
% Sat, Aluminio	36,11a	13,06	36,19	48,03b	15,76	32,81	37,79a	15,42	40,82
CICE ($cmol_c$ kg^{-1})	1,63a	0,35	21,51	1,87b	0,4	21,58	1,35c	0,38	28,35
Rendimiento (t kg^{-1})	29,87a	4,0	13,5	26,42b	4,0	15,0	26,83b	4,7	17,4

*= Significancia (P<0,05)

En el grupo 1, los cinco primeros factores fueron responsables de auto valores que explican 70% de la varianza, obteniendo los dos primeros porcentajes de 20% y 16% respectivamente, Los vectores propios (**Tabla 4-19**) indican que el componente principal uno (CP1) explica con mayor fuerza lo que ocurre de manera directa con las variables Aluminio, % Sat. Aluminio, CICE, Hierro y rendimiento y de forma inversa lo que sucede con % Sat. Potasio, % Sat. Calcio y % Sat. Magnesio; En cuanto al segundo componente se observa que las propiedades que presentaron mayor peso en el componente tienen efecto negativo, los cuales son Calcio, Zinc, Cobre y Manganeso.

En la **Figura 4-24a** está representado el plano factorial formado por los CP1 y CP2 y la disposición de los valores de las diferentes propiedades evaluadas y el efecto positivo

entre varias de ellas. En primer lugar se observa el efecto entre el rendimiento y el Aluminio. Esto se puede explicar desde la base que la intensidad de la toxicidad por este elemento depende de la tolerancia del cultivo (Mossor 2001), como fue demostrado por Supena (2013) específicamente en el cultivo de la Palma de aceite.

El efecto negativo de los porcentajes de saturación de Calcio, Magnesio y Potasio, encontrados en el CP1, confirman la remoción de cationes del suelo tanto por lixiviación como por el cultivo, en consecuencia, de esto resulta el aumento de formas intercambiables de Aluminio en la fase de cambio favoreciendo mayores contenidos de este en la solución del suelo (Brunet, 1993; De Sousa et al*.,* 2007) como se observa en la correlación de 0,74 entre el Aluminio y la CICE, representando además un indicador del grado de acidez (Kass, 1998), igualmente teniendo en cuenta que los cationes son adsorbidos con diferente intensidad en el coloide, siguiendo el principio de energía de retención Al^{+3}> Fe^{+3}>Ca^{+3}>K^{+}>$NH4^{+}$ para suelos desaturados (Maschner, 1995; Castro y Gómez, 2010).

Por último el Aluminio está en posiciones opuestas al Calcio y al pH, lo que muestra la relación inversa del pH y el contenido de Calcio en el suelo con respecto al contenido de Aluminio, caso que es común y ha sido reportado por diferentes autores (Cristancho et al 2009; Casierra & Aguilar, 2007; Echart & Cavalli-Molina, 2001; Zapata, 2004).

En la **Tabla 4-18**, se encuentran registrados los valores medios para cada una de las propiedades estudiadas. En ella se observa que el Hierro, presenta un contenido promedio de 101,3 mg kg^{-1}, el cual es considerado como alto respecto de lo reportado por Múnevar (2004) y de lo encontrado en el presente trabajo, y es corroborado por su efecto en el CP1, teniendo en cuenta que la disponibilidad de este aumenta con la disminución del pH, impactando la acidez activa (Espinosa y Molina, 1999).

Figura 4-21: Análisis de factores por componentes principales para las subpoblaciones de las unidades de manejo: A) Grupo 1, B) Grupo 2 y C) Grupo 3,

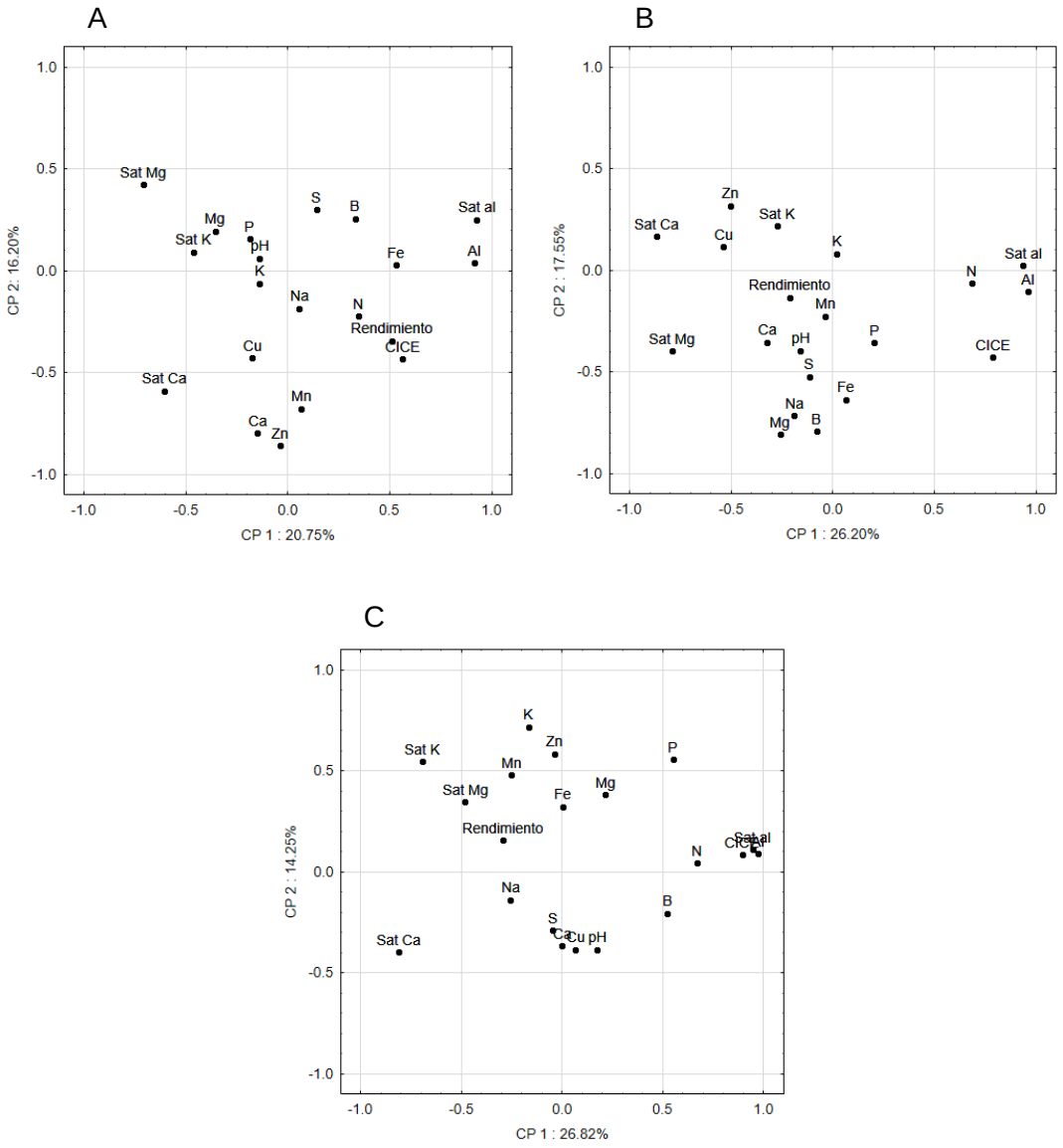


Tabla 4-19 Análisis de factores por componentes principales para las subpoblaciones de las unidades de manejo: Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3.

Propiedad	Grupo 1						Grupo 2						Grupo 3					
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	Com	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	Com	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	Com
pH	-0,07	0,03	-0,14	-0,11	-0,16	0,02	-0,07	-0,21	-0,16	-0,01	-0,46	0,026	0,08	-0,23	0,15	0,24	0,14	0,03
N (mg kg^{-1})	0,17	-0,12	0,15	-0,35	0,23	0,12	0,30	-0,03	0,26	-0,18	-0,14	0,47	0,29	0,03	0,13	0,12	-0,03	0,45
P (mg kg^{-1})	-0,09	0,09	0,31	-0,09	0,19	0,04	0,09	-0,19	-0,27	0,32	0,14	0,04	0,24	0,33	-0,18	-0,14	0,04	0,30
K ($cmol_c$ kg^{-1})	-0,07	-0,04	0,50	0,22	0,10	0,02	0,01	0,04	0,51	0,25	-0,19	0,00	-0,07	0,43	-0,04	0,00	0,05	0,03
Ca ($cmol_c$ kg^{-1})	-0,07	-0,44	-0,14	0,32	0,14	0,02	-0,14	-0,19	0,09	-0,40	-0,33	0,10	0,00	-0,22	-0,53	-0,10	-0,15	0,00
Mg ($cmol_c$ kg^{-1})	-0,18	0,11	0,07	0,31	-0,54	0,13	-0,11	-0,43	0,14	0,12	-0,03	0,07	0,09	0,23	-0,45	0,39	0,19	0,05
Al ($cmol_c$ kg^{-1})	0,45	0,02	0,09	0,21	-0,12	0,84	0,42	-0,06	-0,09	-0,03	-0,06	0,92	0,42	0,05	0,03	0,00	0,00	0,95
Na ($cmol_c$ kg^{-1})	0,03	-0,10	0,35	0,07	0,07	0,00	-0,08	-0,38	0,09	-0,10	0,23	0,04	-0,11	-0,08	-0,13	0,44	-0,38	0,07
Zn (mg kg^{-1})	-0,02	-0,48	0,09	-0,19	-0,21	0,00	-0,22	0,17	-0,29	-0,01	0,18	0,26	-0,02	0,35	0,08	0,04	0,03	0,00
Cu (mg kg^{-1})	-0,09	-0,24	0,28	-0,10	-0,38	0,03	-0,24	0,06	-0,18	0,03	-0,31	0,29	0,03	-0,23	-0,10	-0,04	0,40	0,00
Fe (mg kg^{-1})	0,26	0,02	-0,14	-0,18	-0,01	0,28	0,03	-0,34	-0,21	-0,23	-0,20	0,00	0,00	0,19	-0,32	-0,40	-0,04	0,00
Mn (mg kg^{-1})	0,03	-0,38	0,13	-0,38	-0,24	0,00	-0,02	-0,12	-0,22	0,42	-0,13	0,00	-0,11	0,28	0,26	0,09	-0,38	0,06
S (mg kg^{-1})	0,07	0,17	0,23	0,05	0,09	0,02	-0,05	-0,28	0,07	0,33	0,20	0,01	-0,02	-0,17	0,10	0,26	0,36	0,00
B (mg kg^{-1})	0,16	0,14	0,18	-0,33	-0,16	0,11	-0,04	-0,42	0,07	-0,14	0,29	0,01	0,23	-0,12	-0,16	-0,07	-0,35	0,27
Rendimiento (t kg_{-1})	0,25	-0,19	-0,15	-0,01	-0,13	0,26	-0,09	-0,07	-0,20	0,29	-0,41	0,05	-0,13	0,09	-0,03	-0,31	0,41	0,09
CICE ($cmol_c$ kg^{-1})	0,28	-0,24	0,13	0,47	-0,08	0,32	0,34	-0,23	0,12	-0,06	-0,17	0,62	0,39	0,05	-0,22	0,05	-0,03	0,80
% Sat, Potasio	-0,23	0,05	0,40	-0,01	0,16	0,21	-0,12	0,12	0,45	0,29	-0,17	0,08	-0,30	0,32	0,11	-0,02	-0,01	0,48
% Sat, Calcio	-0,30	-0,33	-0,21	0,03	0,23	0,37	-0,38	0,09	-0,01	-0,27	-0,04	0,75	-0,35	-0,24	-0,18	-0,17	-0,11	0,66
% Sat, Magnesio	-0,35	0,23	-0,04	-0,03	-0,39	0,50	-0,35	-0,21	0,08	0,09	0,10	0,62	-0,21	0,20	-0,28	0,42	0,18	0,23
% Sat, Aluminio	0,45	0,14	0,01	0,01	-0,10	0,86	0,41	0,01	-0,19	0,06	0,00	0,88	0,41	0,06	0,18	-0,02	0,07	0,89
Var, Total %	20,7	16,2	14,2	8,9	7,9		26,2	17,5	13,0	10,6	6,6		26,82	14,25	10,88	8,50	7,18	
Var, Acu %	20,7	36,9	51,2	60,1	68,0		26,20	43,74	56,73	67,34	73,91		26,82	41,07	51,95	60,45	67,64	
Auto Valor	4,1	3,2	2,8	1,8	1,6		5,24	3,51	2,60	2,12	1,31		5,36	2,85	2,18	1,70	1,44	

Zinc, Cobre y Manganeso presentan vectores propios negativos en el CP2 y correlación inversa con el Nitrógeno (**Anexo G**). Partiendo de que el Nitrógeno fue cuantificado con base al contenido de materia orgánica en el suelo, se observa antagonismos entre estos elementos y la materia orgánica como consecuencia de la formación de complejos organometálicos (Burbano, 2002; Li et al*.,* 2007), acentuando el dominio de Al^{+3} o Fe^{+3}, lo que limita su disponibilidad (Ferraris, 2013).

Los vectores propios de Fósforo y Potasio en CP3 explican el efecto de estas variables sobre el rendimiento, así como su ubicación opuesta en la **Figura 4-21a** y la correlación negativa de -0,26 y -0,19 respectivamente, contrario de la respuesta en rendimiento según lo reportado para estos elementos por Rahman (2010) y González y Romero (2010).

Para el Grupo 2 en la **Tabla 4-19**, se observa que los cinco primeros componentes principales fueron los responsables de explicar el 73% de la varianza total de la población. Las propiedades Nitrógeno, Aluminio y Calcio fueron las más importantes para la determinación del CP1, que explicó el 26,2% de la varianza, El CP2 explicó el 17,5% de la varianza y tiene a Magnesio, Hierro y Boro como propiedades más importantes. Para el CP3 el Potasio se muestra como la propiedad con mayor peso en este componente.

El Nitrógeno presenta mayor peso vectorial para este grupo teniendo en cuenta que tiene mayor contenido en el suelo en comparación de los grupos 1 y 3 como se presenta en la **Tabla 4-18,** así mismo se observa la ubicación opuesta entre este elemento y el rendimiento.

Este grupo registra contenidos de Aluminio intercambiable en promedio de 0,9 $cmol_c\ kg^{-1}$, que es significativamente diferente del grupo anterior, afectando el rendimiento de fruta fresca de Palma como se demuestra en la correlación inversa presentada en el **Anexo G**. Igualmente se observa, que el Aluminio está ubicado en posiciones opuestas al Calcio, Fósforo y al pH, lo que muestra la relación inversa entre estas variables (Brunet, 1993; Devau et al*.,* 2001; Garófalo et al*.,* 2007).

Por último, para el grupo 2 se observa como el rendimiento, Calcio, Magnesio, pH, Boro y Hierro se encuentra en el mismo cuadrante factorial, denotando el efecto sinérgico entre estas variables lo que se confirma por los coeficientes de correlación del **Anexo G**,

coincidiendo con lo reportado por Gutiérrez y Torres (2013), Führs (2013) Broschat, 2007 y Rankine y Fairhurst (1999).

En el último grupo conformado mediante el análisis clúster (grupo 3), los cinco primeros componentes principales fueron los responsables de explicar el 67.64% de la varianza total de la población como se observa en la **Tabla 4-19**. El Aluminio, CICE, % Sat. de Aluminio y Boro con efecto positivo y % Sat. de Potasio, % Sat. de Calcio y % Sat. de Magnesio con efecto negativo fueron las propiedades con mayor efecto en el CP1, explicando el 26,82% de la varianza. El CP2 explicó el 14,25% de la varianza y tiene a Magnesio, Potasio y Zinc como propiedades más importantes. Para el CP3 el Calcio y Magnesio se muestran como las propiedades con mayor peso en este componente y con efecto negativo.

En el plano factorial presentado en la **Figura 4-21c** se observa la conformación de tres subgrupos opuestos. El primer grupo conformado por la CICE, Aluminio intercambiable y % Sat. de Aluminio. El segundo grupo por Calcio, Cobre y pH, y el tercer grupo formado por el rendimiento, Magnesio, Potasio, Zinc, Hierro, % Sat. de Magnesio y % Sat. de Potasio.

En el primer subgrupo se observa, al igual que la unidad de manejo número 1, que el Aluminio de cambio tiene relación directa con la CICE y en respuesta de esto presenta un porcentaje de saturación mayor respeto de las bases intercambiable. Con esto se refleja que a pesar que el grupo uno y tres presentan contenidos similares de Aluminio, el grupo tres presenta menores niveles de Calcio, Magnesio y Potasio y por tanto mayor saturación de Potasio, por tanto, la toxicidad para el cultivo será mayor (Gomes de Sousa et al*.,* 2007).

Por otra parte se observa el efecto negativo del pH sobre el rendimiento (**Anexo G**), así como el efecto directo de Potasio y el porcentaje de saturación de Potasio y Magnesio, lo que implica que a menor pH, se presentará menor disponibilidad de nutrientes (Ibarra et al*.,* 2009), y por otra parte señala que, a mayor saturación de base se presentará mejor disponibilidad de los mismos y en consecuencia mejor absorción debido al proceso difusivo como son tomados (Novais y Vargas de Melo, 2007).

De manera concluyente se observa que en términos de manejo, el grupo dos debe tratar de forma diferenciada el aporte de la dosis de Nitrógeno, así como los materiales encalantes a

usar en comparación del grupo uno y tres. Para el caso del Fósforo, el manejo diferencial se debe hacer para el grupo tres de la misma forma que para el Potasio.

En cuanto a lo micronutrientes el Hierro presenta valores excesivos, por lo cual el suspenderlo del plan de fertilización se hace necesario para el grupo uno, Zinc y Boro para el grupo dos deben presentar una disminución de la dosis aplicada teniendo en cuenta sus contenidos y no generar efectos tóxicos al cultivo.

Para las propiedades químicas en tejido foliar, posterior a la obtención de los tres grupos (**Figura 4-22**), como ya había sido mencionado, se procedió a realizar el análisis de componentes principales para cada uno de ellos. Para la unidad de manejo o grupo 1, se encontró que los seis primeros componentes principales explican el 71,26% de la varianza total (**Tabla 4-21**). El efecto positivo de los vectores propios de Fósforo, Zinc y rendimiento, y negativo de Potasio y Cobre fueron las propiedades más importantes para la determinación del componente principal 1, que explica el 21,56% de la varianza. Para el CP 2, el efecto negativo del Boro fue la propiedad de mayor peso en este factor, explicando el 14,3% de la varianza y para el CP 3 con un 11,2% de la varianza, el vector con mayor importancia fue el Magnesio.

En el plano factorial presentado en la **Figura 4-23a**, se observa la posición conjunta presentada por el Zinc y el rendimiento, lo que se traduce en el incremento de la producción a medida que se presentan incrementos en la concentración de Zinc en la Palma dadas las funciones metabólicas de este elemento, por ejemplo: la regulación del metabolismo de proteínas y carbohidratos y su función como precursor de la producción de auxinas (Hasani et al*.,* 2012). Este resultado concuerda con lo reportado por Obi y Thomas en el cultivo de Palma de aceite en Nigeria.

De igual manera el rendimiento y el Nitrógeno están ubicados en posiciones opuestas, lo que muestra la relación inversa entre estas variables. En la **Tabla 4-20** se presenta el valor medio de este elemento para el grupo 1, el cual es considerado como alto teniendo en cuenta el nivel crítico encontrado de 2,71 %, al igual que lo reportado por Owen, 1992. El exceso de Nitrógeno puede traducirse en un excesivo crecimiento y además incrementa la incidencia de deficiencia de Boro (Ranking y Fairhurst, 2004), lo cual explica el efecto negativo de este elemento en el CP 2.

Figura 4-22: Dendograma resultante del análisis clúster para análisis foliares y producción.

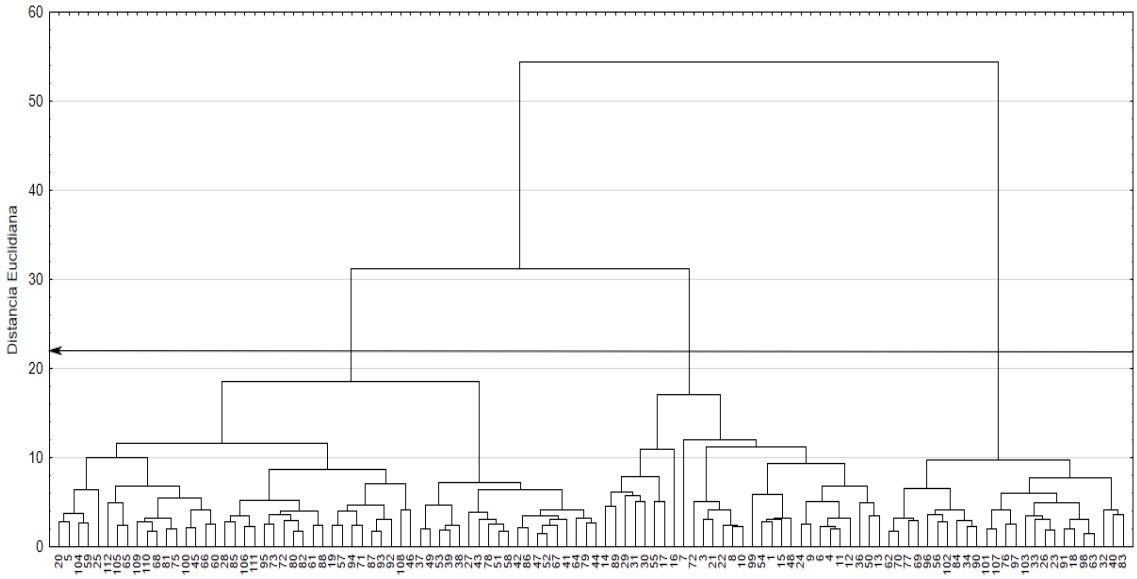


Tabla 4-20: Valores medios para las diferentes propiedades químicas en tejido foliar y rendimiento para los diferentes grupos de manejo.

Propiedad	Grupo 1			Grupo 2			Grupo 3		
	Media	Desviación Estándar	CV (%)	Media	Desviación Estándar	CV (%)	Media	Desviación Estándar	CV (%)
N (%)	2,83a	0,10	3,61	2,84ª	0,09	3,28	2,87a	0,09	3,11
P (%)	0,21a	0,03	13,19	0,251b	0,05	19,38	0,35c	0,02	7,00
K (%)	1,14a	0,15	13,59	1,04b	0,13	12,43	0,78c	0,11	14,51
Ca (%)	0,59a	0,09	15,27	0,62ª	0,14	21,62	0,35b	0,06	16,33
Mg (%)	0,24a	0,06	22,79	0,26ª	0,06	24,46	0,33b	0,05	14,95
Cl (%)	0,65a	0,10	15,48	0,63ª	0,11	17,06	0,65a	0,11	16,15
Na (%)	0,01a	0,01	30,49	0,02ab	0,02	71,32	0,015b	0,00	17,91
Zn (mg kg^{-1})	27,53a	10,24	37,17	47,32b	17,65	37,29	24,03a	13,72	57,09
Cu (mg kg^{-1})	6,40a	2,61	40,77	6,78ª	3,85	56,76	5,57a	2,48	44,60
Fe (mg kg^{-1})	118,80a	32,64	27,47	164,94b	25,64	15,54	118,22a	21,79	18,43
Mn (mg kg^{-1})	229,13a	51,95	22,67	224,30ª	74,32	33,13	219,79a	62,93	28,63
S (%)	0,24a	0,02	10,23	0,277b	0,04	12,84	0,26a	0,02	6,03
B (mg kg^{-1})	23,49a	8,13	34,61	27,65ª	11,69	42,26	21,24a	5,05	23,78
Rendimiento (t ha^{-1})	27,25a	4,41	16,17	29,57ª	3,49	11,79	27,81a	4,70	16,89

*= Significancia (P<0,05)

Para la unidad de manejo dos o grupo dos, cinco componentes principales expresaron el 75,48% de la varianza total de la población, con auto valores que explican el CP1 y el CP2, el 22,32% y el 19,35 respectivamente. En el primer componente, las propiedades que mostraron mayor carga factorial fueron Cobre, Boro y Magnesio, con resultado negativo, siendo estos considerados como los más relevantes en el componente. En cuanto al CP 2, el rendimiento y el Zinc, con valores positivos y el Nitrógeno con magnitudes negativas, contribuyen a la formación de este. En este caso se observa que presenta la misma tendencia de relación rendimiento, Nitrógeno y Zinc del grupo 1.

Por último, el grupo número tres donde el 69,5% de la variabilidad de los datos es representada por cinco componentes principales. El CP1 y el CP2 explican el 20,62% y el 19,65% de la varianza respectivamente. En el CP 1 el Hierro, Zinc y Azufre, presentan los mayores pesos vectoriales en la conformación del CP (**Tabla 4-21**). Para el CP2, el Fósforo con efecto negativo y Manganeso con su interacción positiva.

Para el presente grupo el Nitrógeno presenta correlación directa con el rendimiento, a pesar de presentar valores en concentración similares a los grupos anteriores (**Tabla 4-20**). Para este grupo se observa la disposición opuesta del rendimiento respecto del Fósforo (**Tabla 4-23c**) (**Anexo F**), lo cual puede ser consecuencia de la mayor concentración de este elemento respecto de los grupos anteriores, encontrándose en valores superiores al nivel crítico reportado para el elemento.

De igual forma se observa en los valores vectoriales del Azufre y Hierro el efecto positivo en el rendimiento así como con el Nitrógeno para el caso del Azufre (**Anexo H**) debido a la función más importante del Azufre es su participación en la estructura de las proteínas como integrante de los aminoácidos sulfurados cistina, cisteína y metionina. Su función también está ligada con vitaminas sulfuradas como la biotina, la tiamina y la coenzima A, (Vitti et al., 2006).

De manera concluyente, se puede decir que el manejo de la fertilización Nitrogenada debe ser de manera diferenciada entre el grupo uno y dos, respecto del tres. Esto indica que las unidades de Nitrógeno aplicadas a estos grupos deber ser menores de la convencionalmente utilizadas debido al efecto detrimentico que este elemento causa en la producción. De igual forma debe ser el manejo del Fosforo, el cual presenta concentraciones de exceso en el grupo tres.

Para el Zinc su aplicación debe continuar si diferenciación de dosis debido a su efecto positivo en tres grupos, Por último se debe reconsiderar la aplicación de Boro en toda el área del cultivo teniendo en cuenta que para los tres grupos se observa efecto antagónico con el rendimiento de fruta fresca cosechada.

Figura 4-23: Análisis de factores por componentes principales para las subpoblaciones de las unidades de manejo: A) Grupo 1, B) Grupo 2 y C) Grupo 3,

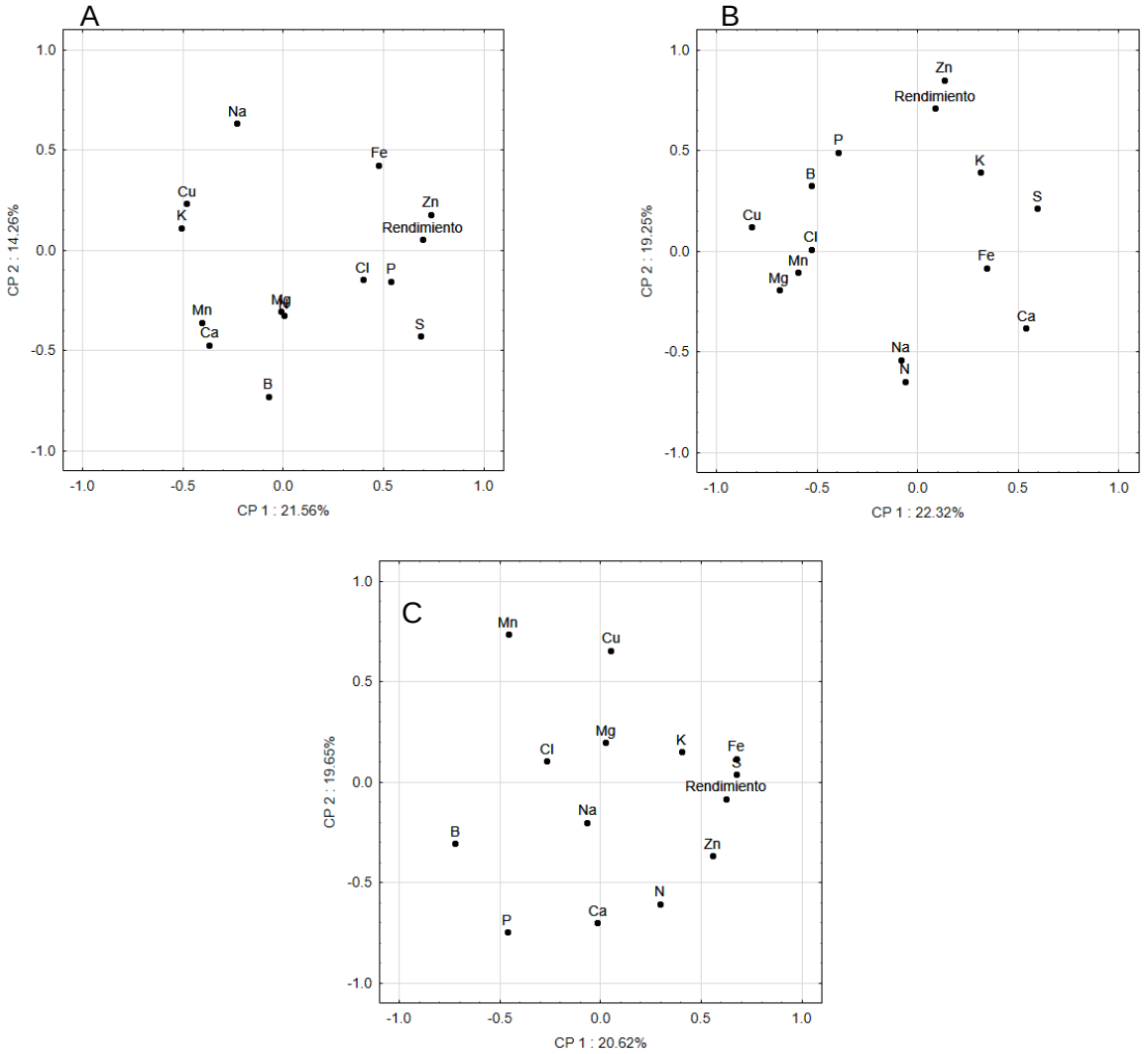


Tabla 4-21: Análisis de factores por componentes principales para las subpoblaciones de las unidades de manejo: Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3.

Propiedad	Grupo 1							Grupo 2						Grupo 3					
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	Com	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	Com	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	Com
N (%)	0,00	-0,23	-0,46	0,07	-0,31	0,44	0,00	-0,04	-0,39	-0,31	0,03	-0,18	0,00	0,17	-0,36	0,16	0,02	-0,26	0,09
P (%)	0,31	-0,11	0,50	0,25	0,06	0,01	0,29	-0,22	0,30	-0,35	0,01	-0,29	0,16	-0,27	-0,45	0,08	0,19	-0,04	0,22
K (%)	-0,29	0,08	0,16	0,14	0,39	0,40	0,26	0,17	0,24	-0,23	-0,22	0,12	0,10	0,24	0,09	-0,31	0,49	-0,02	0,16
Ca (%)	-0,21	-0,33	-0,06	-0,55	0,11	0,00	0,14	0,30	-0,23	0,13	0,18	-0,42	0,29	-0,01	-0,42	-0,35	0,02	-0,07	0,00
Mg (%)	-0,01	-0,22	0,60	-0,01	-0,30	-0,08	0,00	-0,39	-0,12	-0,07	0,21	-0,43	0,48	0,01	0,12	-0,54	-0,14	0,25	0,00
Cl (%)	0,23	-0,10	-0,30	0,36	0,06	-0,38	0,16	-0,30	0,01	0,40	-0,20	-0,32	0,28	-0,16	0,06	0,04	0,63	0,48	0,07
Na (%)	-0,13	0,45	0,11	-0,24	-0,35	0,02	0,05	-0,05	-0,33	-0,03	-0,56	0,02	0,01	-0,04	-0,12	-0,53	0,12	-0,13	0,00
Zn (mg kg^{-1})	0,42	0,13	0,13	-0,25	0,15	0,19	0,54	0,07	0,52	0,22	-0,19	0,00	0,02	0,33	-0,22	0,32	0,22	0,33	0,31
Cu (mg kg^{-1})	-0,28	0,16	0,02	0,21	-0,30	-0,34	0,23	-0,47	0,07	-0,09	0,20	0,06	0,68	0,03	0,40	0,03	0,28	-0,41	0,00
Fe (mg kg^{-1})	0,27	0,30	-0,08	-0,05	0,49	-0,14	0,23	0,19	-0,05	-0,02	0,64	0,23	0,12	0,40	0,07	-0,18	-0,21	0,05	0,45
Mn (mg kg^{-1})	-0,23	-0,25	0,05	-0,39	0,24	-0,42	0,16	-0,34	-0,06	0,43	0,10	0,07	0,36	-0,27	0,44	0,12	-0,01	-0,08	0,21
S (%)	0,39	-0,30	0,04	-0,19	-0,16	0,22	0,47	0,34	0,13	-0,17	-0,02	-0,55	0,35	0,40	0,02	0,03	0,31	-0,47	0,46
B (mg kg^{-1})	-0,04	-0,52	0,00	0,28	0,11	-0,11	0,01	-0,30	0,20	-0,47	0,00	0,10	0,28	-0,43	-0,18	0,00	0,08	-0,33	0,52
Rendimiento (t ha^{-1})	0,40	0,04	-0,16	-0,23	-0,25	-0,30	0,48	0,05	0,43	0,20	0,18	-0,20	0,01	0,37	-0,05	0,12	-0,14	0,03	0,39
Var, Total %	21,6	14,3	11,2	9,2	7,9	7,2		22,32	19,25	14,03	11,21	8,67		20,62	19,65	14,14	7,88	7,26	
Var, Acu %	21,56	35,82	46,97	56,20	64,10	71,26		22,32	41,57	55,60	66,81	75,48		20,62	40,27	54,41	62,30	69,56	
Auto Valor	3,0	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0		3,13	2,69	1,96	1,57	1,21		2,89	2,75	1,98	1,10	1,02	

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El área de estudio presentó variabilidad espacial para diferentes propiedades de suelo, como para la producción de fruto fresco de Palma, cumpliendo con uno de los principios base para la construcción del modelo DRIS, lo que le da confiabilidad a las normas obtenidas.

El orden decreciente de las limitantes por deficiencia para concentraciones en tejido foliar es Fe>Zn>S>P>Cl>Mg>B>Na>K>Ca>Cu=Mn>N y para concentraciones de elementos en suelo es Cu>B>Mn=Mg>Al=Na>S>Fe=Ca=N=K>P>Zn.

Una de las principales limitaciones encontradas desde el punto de vista nutricional, es el exceso de Nitrógeno, así como la limitación por deficiencia de Zinc y su respuesta positiva en el rendimiento. El Boro, uno de los elemento aplicados con mayor frecuencia en las zonas palmeras, presenta equilibrio en su concentración foliar y deficiencia en su concentración edáfica.

Los niveles críticos pueden ser estimados a partir de modelos de regresión entre los niveles de nutrientes y los índices DRIS, determinado el valor del nutriente cuando el índice es igual a cero. Basado en lo anterior, los niveles críticos encontrados en el presente trabajo muestran notorias diferencias respecto de lo publicado en la literatura.

Las franjas de suficiencia, obtenidas con base al nivel crítico, resultante de la correlación del índice DRIS y la concentración de nutrientes, presentan rangos menos amplios en comparación de los empleados convencionalmente.

Los métodos de estadística multivariada, con base en los atributos químicos del suelo y tejido foliar en comparación del rendimiento del cultivo, detectan diferencias entre las áreas de manejo. El uso del análisis clúster por punto observado, en conjunto con el

análisis por componentes principales permitió visualizar las zonas con características similares y por ende su respectivo manejo.

Para las unidades de manejo basadas en los análisis de suelo como en los de tejido foliar, se presentó el manejo diferencial que se debe hacer para elementos como Nitrógeno, Fosforo y Potasio, así como de Zinc y Boro, Igualmente dejó en evidencia la tolerancia del cultivo a la acidez y como resultado de esto el manejo de las enmiendas de manera diferente para los grupos.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda la implementación de trabajos de campo enfocados en tratamientos de fertilización con diseños experimentales que permitan comprobar y ajustar las normas obtenidas en este trabajo tanto a nivel foliar, como de suelos.

Se recomienda realizar trabajos en otras zonas del país y con otros materiales con el fin de validar los resultados obtenidos.

A. Anexo: Pruebas de normalidad

Variable: pH

N	89	Sumar pesos	89
Media	4.24179775	Observ suma	377.52
Desviación std	0.24692455	Varianza	0.06097173
Asimetría	-0.0911619	Curtosis	-0.5070876
SC no corregida	1606.729	SC corregida	5.36551236
Coef. variación	5.82122393	Media error std	0.02617395

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.985309	Pr < W	0.4160
Kolmogorov-Smirnov	D	0.059556	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.061691	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq	0.433027	Pr > A-Sq	>0.2500

Variable: C.O.

N	88	Sumar pesos	88
Media	43.2860633	Observ suma	3809.17357
Desviación std	29.5550282	Varianza	873.49969
Asimetría	2.65634829	Curtosis	7.87236391
SC no corregida	240878.601	SC corregida	75994.4731
Coef. variación	68.2783924	Media error std	3.15057659

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.699046	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.217856	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	1.256785	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	7.469912	Pr > A-Sq	<0.0050

Variable: P

N	89	Sumar pesos	89
Media	31.4603649	Observ suma	2799.97248
Desviación std	19.0085105	Varianza	361.32347
Asimetría	0.1496434	Curtosis	-0.5647609
SC no corregida	119884.621	SC corregida	31796.4653
Coef. variación	60.4205021	Media error std	2.01489808

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.967244	Pr < W	0.0239
Kolmogorov-Smirnov	D	0.074232	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.070382	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq	0.648104	Pr > A-Sq	0.0906

Variable: K

N	89	Sumar pesos	89
Media	0.13910619	Observ suma	12.3804511
Desviación std	0.08224995	Varianza	0.00676505
Asimetría	1.9598332	Curtosis	4.49963889
SC no corregida	2.31752225	SC corregida	0.59532483
Coef. variación	59.1274569	Media error std	0.00871848

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.788838	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.202029	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	1.120336	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	5.977348	Pr > A-Sq	<0.0050

Variable: Ca

N	89	Sumar pesos	89
Media	0.52633816	Observ suma	46.8440966
Desviación std	0.16409384	Varianza	0.02692679
Asimetría	2.54510394	Curtosis	14.969171
SC no corregida	27.0253933	SC corregida	2.36955746
Coef. variación	31.1765048	Media error std	0.01739391

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.811729	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.119259	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	0.395665	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	2.550396	Pr > A-Sq	<0.0050

Variable: Mg

N	89	Sumar pesos	89
Media	0.20061956	Observ suma	17.8551409
Desviación std	0.06417783	Varianza	0.00411879
Asimetría	0.39557572	Curtosis	0.5691055
SC no corregida	3.94454439	SC corregida	0.36245387
Coef. variación	31.9898171	Media error std	0.00680284

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.963996	Pr < W	0.0143
Kolmogorov-Smirnov	D	0.083758	Pr > D	0.1251
Cramer-von Mises	W-Sq	0.156704	Pr > W-Sq	0.0202
Anderson-Darling	A-Sq	1.063529	Pr > A-Sq	0.0085

Variable: Al

N	89	Sumar pesos	89
Media	0.67774955	Observ suma	60.31971
Desviación std	0.37449116	Varianza	0.14024363
Asimetría	0.35820087	Curtosis	-0.3714457
SC no corregida	53.2230956	SC corregida	12.3414393
Coef. variación	55.2550951	Media error std	0.03969598

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.960519	Pr < W	0.0084
Kolmogorov-Smirnov	D	0.07409	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.080787	Pr > W-Sq	0.2074
Anderson-Darling	A-Sq	0.722755	Pr > A-Sq	0.0595

Variable: Na

N	89	Sumar pesos	89
Media	0.05648768	Observ suma	5.02740322
Desviación std	0.03773508	Varianza	0.00142394
Asimetría	5.71993143	Curtosis	41.7538754
SC no corregida	0.40929269	SC corregida	0.12530636
Coef. variación	66.8023154	Media error std	0.00399991

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.502243	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.253367	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	1.870573	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	10.22816	Pr > A-Sq	<0.0050

Variable: Zn

N	88	Sumar pesos	88
Media	1.56681818	Observ suma	137.88
Desviación std	0.86669082	Varianza	0.75115298
Asimetría	1.3003289	Curtosis	1.09189154
SC no corregida	281.3832	SC corregida	65.3503091
Coef. variación	55.315341	Media error std	0.09238955

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.862617	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.166846	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	0.68024	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	4.063081	Pr > A-Sq	<0.0050

Variable: Cu

N	87	Sumar pesos	87
Media	0.30206897	Observ suma	26.28
Desviación std	0.18388658	Varianza	0.03381427
Asimetría	1.51357457	Curtosis	4.4173372
SC no corregida	10.8464	SC corregida	2.90802759
Coef. variación	60.8756943	Media error std	0.01971471

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.895325	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.123493	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	0.278102	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	1.787776	Pr > A-Sq	<0.0050

Variable: Fe

N	89	Sumar pesos	89
Media	60.0824481	Observ suma	5347.33788
Desviación std	44.3058155	Varianza	1963.00529
Asimetría	0.68418331	Curtosis	-0.5291853
SC no corregida	494025.616	SC corregida	172744.465
Coef. variación	73.7416948	Media error std	4.69640705

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.905883	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.155894	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	0.513057	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	2.974189	Pr > A-Sq	<0.0050

Variable: Mn

N	89	Sumar pesos	89
Media	0.85033708	Observ suma	75.68
Desviación std	0.68156979	Varianza	0.46453739
Asimetría	2.06701176	Curtosis	5.70322718
SC no corregida	105.2328	SC corregida	40.8792899
Coef. variación	80.1528961	Media error std	0.07224625

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.795717	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.179737	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	0.852088	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	4.833298	Pr > A-Sq	<0.0050

Variable: S

N	89	Sumar pesos	89
Media	21.418024	Observ suma	1906.20414
Desviación std	43.2771483	Varianza	1872.91157
Asimetría	6.33895027	Curtosis	49.7119471
SC no corregida	205643.344	SC corregida	164816.218
Coef. variación	202.059482	Media error std	4.58736855

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--	-----P-valor------

Shapiro-Wilk	W	0.42375	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.31428	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	2.455205	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	12.84694	Pr > A-Sq	<0.0050

Variable: B

N	88	Sumar pesos	88
Media	0.36450068	Observ suma	32.0760597
Desviación std	0.32782448	Varianza	0.10746889
Asimetría	3.39154625	Curtosis	15.2239585
SC no corregida	21.041539	SC corregida	9.34979346
Coef. variación	89.9379617	Media error std	0.03494621

Tests para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.676505	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.182758	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	1.030144	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	6.189531	Pr > A-Sq	<0.0050

Variable: Rendimiento

N	89	Sumar pesos	89
Media	27.8838967	Observ suma	2481.66681
Desviación std	4.36322649	Varianza	19.0377454
Asimetría	0.13606546	Curtosis	-0.2152637
SC no corregida	70873.8625	SC corregida	1675.32159
Coef. variación	15.6478362	Media error std	0.46250108

Tests para normalidad

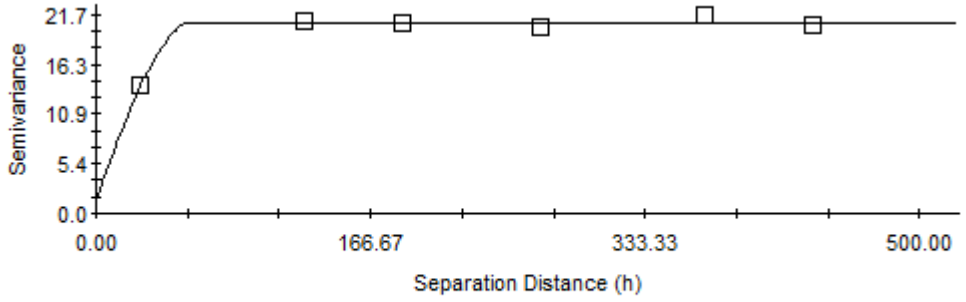
Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.993914	Pr < W	0.9582
Kolmogorov-Smirnov	D	0.044374	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.015318	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq	0.113199	Pr > A-Sq	>0.2500

B. Anexo: Correlación lineal entre las propiedades químicas del suelo y producción de racimos de fruta fresca de Palma

	pH	CE	CO	P	Al Int	Ca	Mg	Na	K	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Pn
pH	1															
CE	-0,23	1,00														
CO	0,10	0,09	1,00													
P	-0,09	0,31	0,19	1,00												
Al Int	-0,55	0,19	0,02	0,05	1,00											
Ca	0,17	0,11	-0,08	-0,08	-0,10	1,00										
Mg	0,10	0,34	-0,02	0,33	0,07	0,22	1,00									
Na	0,13	0,43	0,22	0,07	-0,07	0,17	0,27	1,00								
K	0,00	0,63	-0,03	0,26	0,12	0,06	0,28	0,13	1,00							
S	-0,09	0,47	0,11	0,18	0,10	-0,01	0,33	0,24	0,11	1,00						
Cu	0,05	-0,06	0,08	-0,13	-0,15	0,04	-0,05	-0,03	-0,07	0,08	1,00					
Fe	-0,20	0,05	-0,10	0,37	0,17	0,12	0,29	-0,08	0,08	-0,05	-0,10	1,00				
Zn	-0,03	-0,01	0,00	0,05	-0,04	-0,01	0,00	0,00	0,01	-0,06	-0,05	0,00	1,00			
Mn	-0,04	-0,02	0,17	0,29	-0,06	-0,05	0,03	0,05	0,04	0,02	-0,07	0,12	0,21	1,00		
B	0,00	0,22	0,33	0,03	0,01	-0,14	0,06	0,12	0,03	0,27	0,22	-0,10	-0,16	-0,12	1,00	
Pn	0,05	0,02	0,08	-0,04	-0,07	0,12	-0,10	0,16	0,09	-0,05	0,08	-0,05	-0,28	-0,10	-0,02	1,00

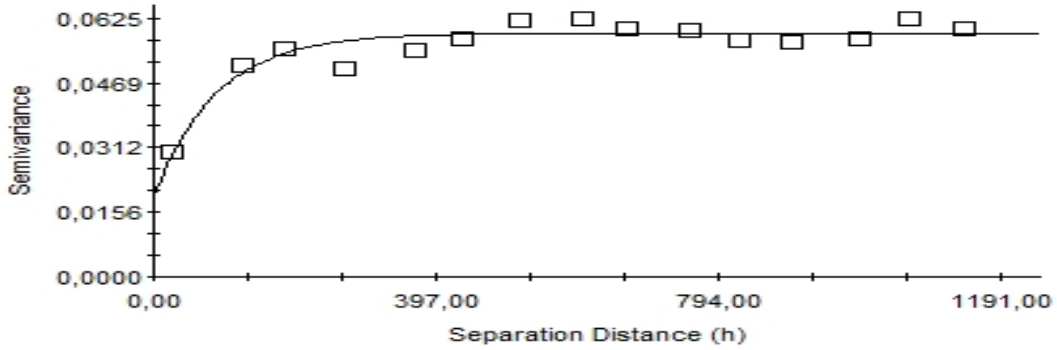
C. Anexo: Semivariogramas obtenidos para las variables RFF, pH, Al. Int, C.O., P, B, Zn y Fe.

RFF

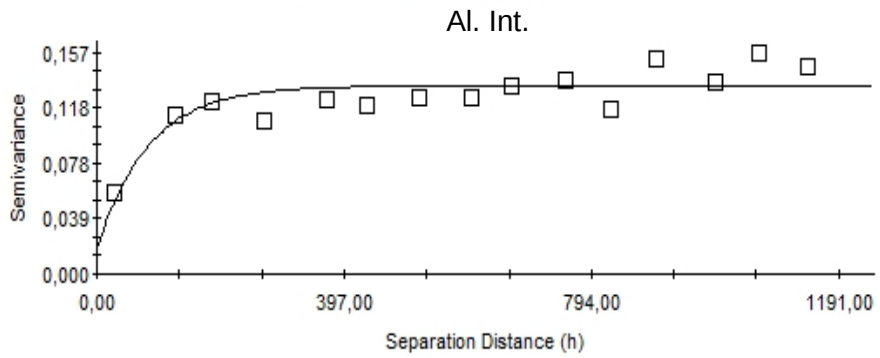


Spherical model (Co = 1.47000; Co + C = 20.93000; Ao = 59.00; r2 = 0.973; RSS = 1.08)

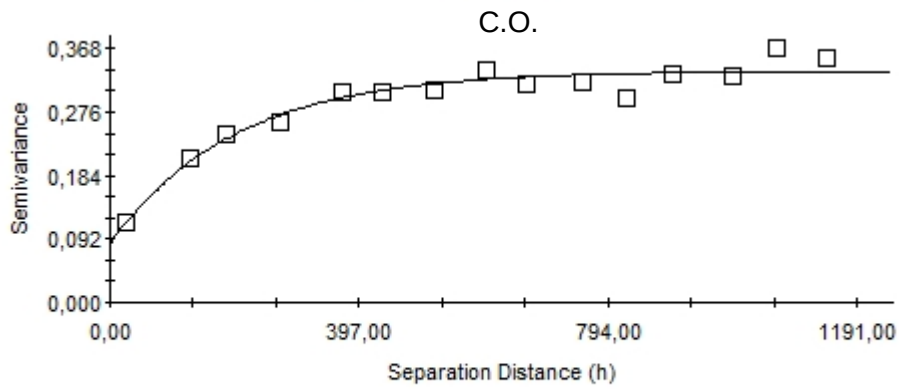
pH



Exponential model (Co = 0,01920; Co + C = 0,05890; Ao = 88,00; r2 = 0,876; RSS = 1,117E-04)

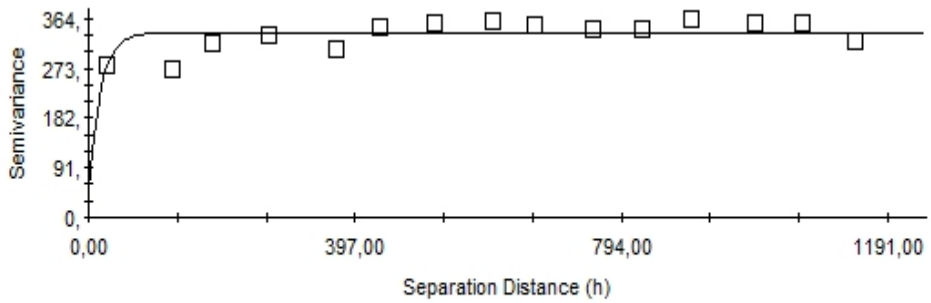


Exponential model (Co = 0,01760; Co + C = 0,13320; Ao = 83,00; r2 = 0,714; RSS = 2,246E-03)



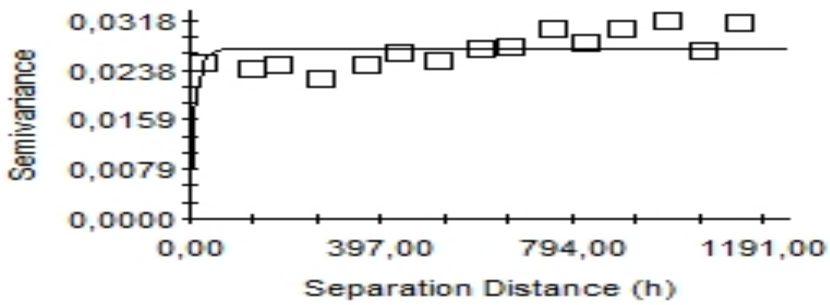
Exponential model (Co = 0,08550; Co + C = 0,33600; Ao = 199,00; r2 = 0,940; RSS = 3,476E-03)

P



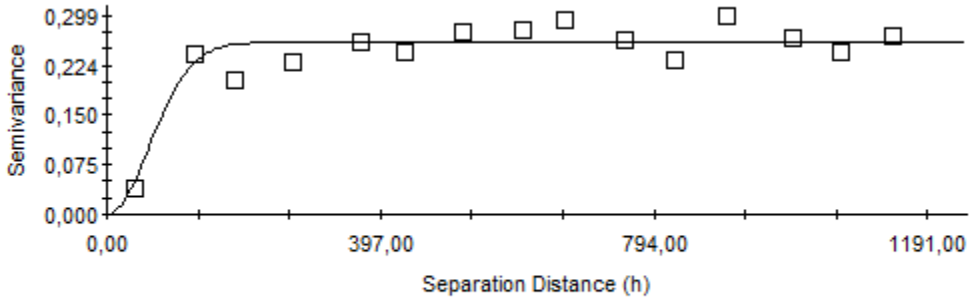
Exponential model (Co = 50,00000; Co + C = 339,50000; Ao = 18,00; r2 = 0,292;
RSS = 8449,)

B

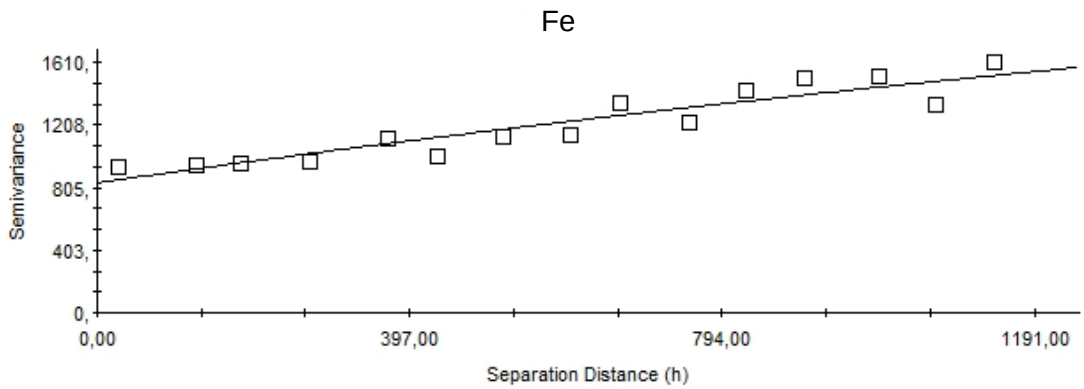


Exponential model (Co = 0,00399; Co + C = 0,02728; Ao = 13,0
RSS = 1,104E-04)

Zn



Gaussian model (Co = 0,00010; Co + C = 0,25920; Ao = 87,00; r2 = 0,839;
RSS = 8,485E-03)



Exponential model (Co = 835,00000; Co + C = 3036,00000; Ao = 3034,00; r2 = 0,862;
RSS = 101978,)

D. Anexo: Productividad, índices DRIS foliar, índice de equilibrio nutricional (IBN) y secuencia de deficiencia a exceso nutricional para cada una de las muestras tomadas en el cultivo de palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO.

Producción (kg/ha)	INDICES DRIS													IBN	Secuencia de deficiencias (De izquierda a derecha, mayor a menor la deficiencia de los elementos)
	N	P	K	Ca	Mg	Cl	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	S	B		
39,36	17,87	11,52	-2,54	-12,13	10,62	1,42	-6,42	-3,00	12,44	8,46	-1,66	4,20	-12,94	105,22	B>Ca>Na>Zn>K>Mn>Cl>S>Fe>Mg>P>Cu>N
38,72	29,72	-6,45	-8,56	5,59	-10,24	14,25	5,37	7,15	11,44	1,90	-2,79	1,49	-16,07	121,03	B>Mg>K>P>Mn>S>Fe>Na>Ca>Zn>Cu>Cl>N
38,57	35,11	-4,05	-13,96	14,27	-0,88	5,86	-1,43	3,21	-25,92	8,76	0,61	3,01	1,51	118,59	Cu>K>P>Na>Mg>Mn>B>S>Zn>Cl>Fe>Ca>N
36,71	26,04	-0,63	-3,50	-6,00	-27,12	-1,39	1,92	-4,44	-2,26	-12,81	3,47	-1,61	-8,14	99,33	Mg>Fe>B>Ca>Zn>K>Cu>S>Cl>P>Na>Mn>N
36,53	91,36	18,72	-6,37	-7,15	0,85	-7,22	5,15	-5,88	2,93	-7,56	-10,37	3,48	5,15	172,20	Mn>Fe>Cl>Ca>K>Zn>Mg>Cu>S>Na>B>P>N
35,14	-1,49	-7,26	-2,61	-0,35	-9,30	2,57	-0,18	14,52	-7,61	8,29	-0,19	1,04	-0,54	55,94	Mg>Cu>P>K>N>B>Ca>Mn>Na>S>Cl>Fe>Zn
34,79	28,64	-2,27	8,20	8,21	1,09	-5,59	-4,02	-13,01	7,95	-20,85	8,42	-1,04	9,88	119,16	Fe>Zn>Cl>Na>P>S>Mg>Cu>K>Ca>Mn>B>N
34,64	26,04	-9,84	9,61	6,16	-9,27	-13,31	-0,95	9,22	-2,47	2,89	22,78	-3,58	-3,10	119,22	Cl>P>Mg>S>B>Cu>Na>Fe>Ca>Zn>K>Mn>N
34,49	26,04	-0,84	1,88	2,84	-19,31	-0,67	0,87	-4,44	44,87	-2,95	-23,20	-1,38	0,84	130,15	Mn>Mg>Zn>Fe>S>P>Cl>B>Na>K>Ca>N>Cu
34,03	74,24	16,67	-4,28	-20,83	-0,14	3,43	-15,48	35,61	-8,10	2,11	-9,93	10,86	-6,70	208,39	Ca>Na>Mn>Cu>B>K>Mg>Fe>Cl>S>P>Zn>N
33,93	30,07	-11,93	-5,73	2,05	-9,00	11,58	-11,72	-10,96	11,30	7,99	9,74	-3,35	6,08	131,50	P>Na>Zn>Mg>K>S>Ca>B>Fe>Mn>Cu>Cl>N
33,41	26,04	4,15	-3,02	-18,27	5,50	-4,89	-2,17	6,57	22,49	-5,12	-13,90	-5,57	15,11	132,80	Ca>Mn>S>Fe>Cl>K>Na>P>Mg>Zn>B>Cu>N
33,18	-40,03	-10,97	-1,50	10,20	-1,05	2,13	0,02	3,69	11,23	-2,15	-3,53	-2,64	-1,94	91,09	N>P>Mn>S>Fe>B>K>Mg>Na>Cl>Zn>Ca>Cu
33,09	37,65	11,30	-8,74	-12,99	5,65	-7,47	-5,22	-15,72	15,22	2,77	15,99	4,66	-2,61	145,98	Zn>Ca>K>Cl>Na>B>Fe>S>Mg>P>Cu>Mn>N
32,98	61,30	12,81	-12,06	-12,46	9,45	6,99	1,45	-8,46	-4,42	-6,12	10,13	-1,81	0,47	147,94	Ca>K>Zn>Fe>Cu>S>B>Na>Cl>Mg>Mn>P>N
32,67	43,83	-4,36	9,94	-6,03	-3,04	-2,32	15,67	-7,03	-1,22	-0,52	6,09	-3,59	-2,56	106,21	Zn>Ca>P>S>Mg>B>Cl>Cu>Fe>Mn>K>Na>N
32,59	-9,03	-3,33	3,55	0,41	-9,54	-10,88	0,63	12,94	-5,31	7,06	1,44	0,37	2,23	66,69	Cl>Mg>N>Cu>P>S>Ca>Na>Mn>B>K>Fe>Zn
32,47	19,97	-0,65	-1,04	5,74	-10,25	1,91	6,64	-4,39	-11,76	0,10	6,42	1,91	2,28	73,06	Cu>Mg>Zn>K>P>Fe>S>Cl>B>Ca>Mn>Na>N
32,34	35,13	-7,23	-0,80	4,26	-0,83	-1,46	-12,71	-2,51	5,90	4,84	10,90	-1,15	-0,66	88,39	Na>P>Zn>Cl>S>Mg>K>B>Ca>Fe>Cu>Mn>N
32,05	1,77	-6,77	5,31	4,52	8,01	10,76	8,18	-5,98	-4,81	-19,64	4,90	-6,92	2,96	90,52	Fe>S>P>Zn>Cu>N>B>Ca>Mn>K>Mg>Na>Cl

Continuación.

31,99	26,04	-0,84	-0,26	3,71	1,50	-0,67	-11,10	6,66	-0,01	15,09	22,91	-4,26	2,91	95,96	Na>S>P>Cl>K>Cu>Mg>B>Ca>Zn>Fe>Mn>N
31,97	1,18	-1,42	6,80	3,64	5,55	5,79	-2,13	6,11	-37,52	2,70	-4,06	7,56	3,28	87,73	Cu>Mn>Na>P>N>Fe>B>Ca>Mg>Cl>Zn>K>S
31,87	-5,12	0,37	-1,45	21,95	-0,89	-9,13	1,61	3,45	-11,04	11,73	0,51	3,76	-15,12	86,13	B>Cu>Cl>N>K>Mg>P>Mn>Na>Zn>S>Fe>Ca
31,64	2,49	6,09	0,64	1,21	11,82	4,05	1,20	4,89	-4,76	-5,35	-14,03	0,68	-3,45	60,65	Mn>Fe>Cu>B>K>S>Na>Ca>N>Cl>Zn>P>Mg
31,44	26,04	7,91	2,17	-5,96	7,37	-5,23	-2,11	4,96	7,27	4,50	-13,45	-1,51	2,68	91,16	Mn>Ca>Cl>Na>S>K>B>Fe>Zn>Cu>Mg>P>N
31,38	-4,72	-4,10	-9,43	16,71	-10,30	-12,07	1,92	28,97	37,39	16,52	12,81	10,06	7,44	172,42	Cl>Mg>K>N>P>Na>B>S>Mn>Fe>Ca>Zn>Cu
31,15	18,24	-1,79	6,84	1,21	-9,08	1,50	5,43	6,39	-12,04	5,06	-8,44	2,91	0,43	79,34	Cu>Mg>Mn>P>B>Ca>Cl>S>Fe>Na>Zn>K>N
31,10	-26,20	9,44	-3,85	-9,17	11,25	-0,94	5,24	-18,95	14,26	1,19	-0,60	-0,04	-0,79	101,92	N>Zn>Ca>K>Cl>B>Mn>S>Fe>Na>P>Mg>Cu
31,10	26,04	-0,84	1,88	2,84	-0,98	-0,67	9,18	19,66	2,82	-5,10	12,67	-1,38	23,64	107,71	Fe>S>Mg>P>Cl>K>Cu>Ca>Na>Mn>Zn>B>N
30,92	119,36	-0,08	2,45	10,62	-4,92	13,76	-3,38	-17,37	14,27	-20,07	10,12	4,61	-8,28	229,29	Fe>Zn>B>Mg>Na>P>K>S>Mn>Ca>Cl>Cu>N
30,75	61,93	11,96	-12,16	-8,51	9,98	10,54	-0,67	-17,95	3,40	-7,49	5,11	4,26	0,81	154,77	Zn>K>Ca>Fe>Na>B>Cu>S>Mn>Mg>Cl>P>N
30,45	27,59	2,36	2,17	2,36	-3,98	-7,04	1,80	18,91	-14,74	9,04	-8,68	3,88	-6,41	108,95	Cu>Mn>Cl>B>Mg>Na>K>P>Ca>S>Fe>Zn>N
30,01	26,04	-8,70	-5,56	11,63	-3,57	-4,08	-10,03	39,34	5,05	-11,68	0,07	1,07	-4,45	131,27	Fe>Na>P>K>B>Cl>Mg>Mn>S>Cu>Ca>N>Zn
30,01	54,34	10,73	-8,06	-4,52	5,52	-3,68	-0,19	-13,01	-3,30	-4,92	15,16	4,43	-0,64	128,51	Zn>K>Fe>Ca>Cl>Cu>B>Na>S>Mg>P>Mn>N
29,89	-30,08	-14,32	10,10	-7,11	-31,23	-14,78	0,83	51,24	5,98	4,60	-7,05	-8,59	9,04	194,93	Mg>N>Cl>P>S>Ca>Mn>Na>Fe>Cu>B>K>Zn
29,54	84,74	1,19	11,05	26,92	-3,79	4,76	1,92	-4,82	-30,40	-12,45	11,40	1,62	16,55	211,62	Cu>Fe>Zn>Mg>P>S>Na>Cl>K>Mn>B>Ca>N
29,54	82,11	19,62	-8,66	-7,87	13,81	-4,88	-7,29	-12,35	-10,71	-17,02	17,87	1,60	7,55	211,33	Fe>Zn>Cu>K>Ca>Na>Cl>S>B>Mg>Mn>P>N
29,38	21,30	-17,44	8,78	12,13	-8,55	3,77	9,44	-16,14	14,60	-20,37	0,51	-1,11	10,19	144,33	Fe>P>Zn>Mg>S>Mn>Cl>K>Na>B>Ca>Cu>N
29,34	-50,71	4,41	-14,96	-19,24	0,48	-13,19	0,83	14,97	33,12	-0,82	6,94	-1,38	6,08	167,11	N>Ca>K>Cl>S>Fe>Mg>Na>P>B>Mn>Zn>Cu
29,31	-44,63	-0,77	-0,63	16,37	-3,88	-12,99	2,87	6,27	-7,51	10,97	-11,94	9,99	-3,60	132,42	N>Cl>Mn>Cu>Mg>B>P>K>Na>Zn>S>Fe>Ca

Continuación.

29,30	18,97	-9,24	10,01	2,52	-4,28	0,11	-6,01	-7,63	1,42	-4,98	11,58	-8,53	9,55	94,84	P>S>Zn>Na>Fe>Mg>Cl>Cu>Ca>B>K>Mn>N
29,28	82,85	-10,59	2,31	20,85	-8,30	4,07	3,00	-11,27	-3,63	-26,07	16,54	1,97	4,62	196,07	Fe>Zn>P>Mg>Cu>S>K>Na>Cl>B>Mn>Ca>N
29,13	-28,71	-8,98	1,56	0,55	-0,01	7,72	11,60	-9,10	5,79	-7,72	5,20	-2,48	0,19	89,60	N>Zn>P>Fe>S>Mg>B>Ca>K>Mn>Cu>Cl>Na
29,11	21,36	-9,39	4,92	2,62	-0,65	3,85	10,52	-11,30	15,24	-13,20	7,28	-7,94	-1,16	109,44	Fe>Zn>P>S>B>Mg>Ca>Cl>K>Mn>Na>Cu>N
29,10	-14,09	-14,45	5,91	4,15	-7,17	5,91	3,53	-12,60	14,46	4,65	4,10	-9,33	1,95	102,30	P>N>Zn>S>Mg>B>Na>Mn>Ca>Fe>K>Cl>Cu
28,78	31,64	-7,85	3,69	22,06	-1,39	-6,92	11,65	-10,91	1,62	-19,11	21,47	-1,71	-9,54	149,57	Fe>Zn>B>P>Cl>S>Mg>Cu>K>Na>Mn>Ca>N
28,72	-9,84	5,64	4,01	3,10	-2,22	2,83	1,54	-15,61	9,36	-22,43	13,27	-6,27	9,04	105,17	Fe>Zn>N>S>Mg>Na>Cl>Ca>K>P>B>Cu>Mn
28,54	-26,69	-6,35	-0,45	7,84	-4,29	-7,10	0,86	12,29	-8,18	3,78	-3,16	5,65	-0,24	86,86	N>Cu>Cl>P>Mg>Mn>K>B>Na>Fe>S>Ca>Zn
28,53	-20,28	-7,64	3,61	8,37	-10,20	-9,05	17,51	-5,77	24,98	-8,29	9,06	1,21	-12,63	138,60	N>B>Mg>Cl>Fe>P>Zn>S>K>Ca>Mn>Na>Cu
28,45	14,84	-6,50	15,05	3,21	-1,53	1,26	23,75	-6,61	18,42	-19,35	6,60	-13,59	-10,73	141,44	Fe>S>B>Zn>P>Mg>Cl>Ca>Mn>N>K>Cu>Na
28,25	39,22	-12,37	1,04	9,03	-3,93	-6,73	15,59	-5,60	13,88	-3,81	11,32	-9,43	-7,66	139,62	P>S>B>Cl>Zn>Mg>Fe>K>Ca>Mn>Cu>Na>N
27,89	-48,35	-11,52	-3,27	4,93	-1,40	0,62	-14,37	0,54	13,35	7,02	14,83	-2,99	-1,37	124,56	N>Na>P>K>S>Mg>B>Zn>Cl>Ca>Fe>Cu>Mn
27,81	21,96	-0,90	10,73	4,75	1,35	-4,43	2,88	1,25	-7,22	-18,83	6,36	1,86	1,49	84,01	Fe>Cu>Cl>P>Zn>Mg>B>S>Na>Ca>Mn>K>N
27,71	98,65	-8,18	8,75	9,86	-2,57	-3,12	6,30	-17,69	-0,21	-2,93	5,41	-3,53	0,81	168,00	Zn>P>S>Cl>Fe>Mg>Cu>B>Mn>Na>K>Ca>N
27,69	100,99	-0,98	-0,78	14,17	2,37	6,87	1,92	-11,66	17,09	-1,68	24,12	7,42	14,73	204,79	Zn>Fe>P>K>Na>Mg>Cl>S>Ca>B>Cu>Mn>N
27,53	-33,46	-0,92	-1,43	9,56	-0,84	-0,87	1,48	-5,79	-2,92	6,25	1,57	-0,41	-2,25	67,75	N>Zn>Cu>B>K>P>Cl>Mg>S>Na>Mn>Fe>Ca
27,46	27,64	14,76	-12,59	-23,84	9,26	15,33	1,17	-14,05	-9,82	-8,44	26,09	-1,49	3,67	168,14	Ca>Zn>K>Cu>Fe>S>Na>B>Mg>P>Cl>Mn>N
27,39	-5,34	-6,58	12,84	3,17	-3,82	5,35	9,38	-10,43	9,56	-3,37	8,90	-11,70	-6,69	97,13	S>Zn>B>P>N>Mg>Fe>Ca>Cl>Mn>Na>Cu>K
27,22	-8,13	10,90	-6,94	-6,55	6,67	4,99	1,20	2,08	4,29	-9,21	-5,16	3,80	-1,61	71,54	Fe>N>K>Ca>Mn>B>Na>Zn>S>Cu>Cl>Mg>P
27,14	15,15	-4,40	4,56	12,91	-1,89	-9,62	0,00	12,61	-16,85	-6,38	4,90	5,72	-3,06	98,06	Cu>Cl>Fe>P>B>Mg>Na>K>Mn>S>Zn>Ca>N

Continuación.

27,05	39,29	12,25	-8,42	-21,41	10,08	5,05	-3,70	-9,41	12,71	-2,96	1,10	2,30	2,74	131,42	Ca>Zn>K>Na>Fe>Mn>S>B>Cl>Mg>P>Cu>N
26,95	18,00	-8,17	6,74	6,80	-2,40	-6,43	12,58	1,05	14,33	-13,92	7,82	-15,33	-1,99	115,55	S>Fe>P>Cl>Mg>B>Zn>K>Ca>Mn>Na>Cu>N
26,89	-40,54	-11,02	2,19	4,44	-4,98	-13,71	29,22	-6,61	21,74	-8,90	2,05	-3,40	0,27	149,08	N>Cl>P>Fe>Zn>Mg>S>B>Mn>K>Ca>Cu>Na
26,83	31,32	-3,52	15,20	4,31	-0,33	-7,86	-12,86	-4,68	9,00	-0,98	3,14	-5,22	3,60	102,02	Na>Cl>S>Zn>P>Fe>Mg>Mn>B>Ca>Cu>K>N
26,81	30,90	-7,61	6,28	8,00	-2,42	4,36	-10,60	-10,66	1,97	-11,33	14,69	-0,67	5,88	115,37	Fe>Zn>Na>P>Mg>S>Cu>Cl>B>K>Ca>Mn>N
26,57	41,50	-16,81	18,31	16,21	-3,13	-5,30	14,81	-18,51	24,54	6,21	-17,93	-11,95	-4,26	199,46	Zn>Mn>P>S>Cl>B>Mg>Fe>Na>Ca>K>Cu>N
26,44	49,63	-3,94	11,89	12,66	-22,22	-6,17	0,88	4,26	13,14	5,52	-6,35	-2,29	-5,23	144,19	Mg>Mn>Cl>B>P>S>Na>Zn>Fe>K>Ca>Cu>N
26,38	31,18	-1,51	-0,28	6,32	-6,88	2,92	-10,16	-7,60	8,35	-14,59	9,95	3,53	8,07	111,36	Fe>Na>Zn>Mg>P>K>Cl>S>Ca>B>Cu>Mn>N
25,98	65,14	15,01	-4,28	-13,19	14,49	-5,28	-8,52	-4,76	-5,94	2,13	1,14	4,46	1,56	145,93	Ca>Na>Cu>Cl>Zn>K>Mn>B>Fe>S>Mg>P>N
25,92	40,24	18,80	0,42	-11,97	9,46	7,35	-10,07	-15,49	6,97	-20,67	15,52	-1,68	4,74	163,37	Fe>Zn>Ca>Na>S>K>B>Cu>Cl>Mg>Mn>P>N
25,91	13,45	8,55	4,37	-16,53	18,12	-5,10	3,70	-15,44	8,00	-9,90	4,94	3,56	0,47	112,13	Ca>Zn>Fe>Cl>B>S>Na>K>Mn>Cu>P>N>Mg
25,89	5,43	-3,92	12,16	7,26	-1,98	-4,32	9,58	-7,55	10,68	-7,23	10,09	4,49	-17,52	102,20	B>Zn>Fe>Cl>P>Mg>S>N>Ca>Na>Mn>Cu>K
25,88	94,67	19,67	-24,85	-17,20	3,80	6,58	-5,84	-12,08	5,80	-4,04	19,25	5,17	-0,58	219,52	K>Ca>Zn>Na>Fe>B>Mg>S>Cu>Cl>Mn>P>N
25,78	2,86	-11,71	-1,93	3,01	-2,71	-1,21	14,34	-0,25	9,45	8,44	3,57	-10,09	-7,33	76,91	P>S>B>Mg>K>Cl>Zn>N>Ca>Mn>Fe>Cu>Na
25,53	-46,71	-16,90	-7,95	7,39	3,88	7,95	8,10	-15,39	19,20	2,33	24,74	-1,38	-3,19	165,11	N>P>Zn>K>B>S>Fe>Mg>Ca>Cl>Na>Cu>Mn
25,50	47,11	-5,54	12,93	5,83	-2,10	8,22	10,92	-14,72	1,18	-24,07	13,21	-5,72	0,93	152,46	Fe>Zn>S>P>Mg>B>Cu>Ca>Cl>Na>K>Mn>N
25,45	17,64	15,65	-3,11	-13,31	0,38	8,55	-4,10	-16,31	12,34	-9,93	12,70	-0,05	1,96	116,04	Zn>Ca>Fe>Na>K>S>Mg>B>Cl>Cu>Mn>P>N
25,42	89,71	-7,48	17,00	6,81	-5,07	-5,86	8,47	-13,86	-7,70	-3,16	3,81	-3,60	3,23	175,75	Zn>Cu>P>Cl>Mg>S>Fe>B>Mn>Ca>Na>K>N
25,23	25,93	17,86	-6,14	-1,52	4,16	4,49	-1,83	-0,88	-14,70	-4,20	-10,13	1,41	6,20	99,45	Cu>Mn>K>Fe>Na>Ca>Zn>S>Mg>Cl>B>P>N
25,17	63,32	18,65	-10,51	1,89	7,69	-3,87	0,05	-7,64	-5,97	-3,89	-9,09	1,83	3,60	138,00	K>Mn>Zn>Cu>Fe>Cl>Na>S>Ca>B>Mg>P>N
25,06	46,74	-7,35	13,98	4,79	7,49	-9,31	12,87	-10,42	14,84	-37,21	7,99	-2,05	4,41	179,47	Fe>Zn>Cl>P>S>B>Ca>Mg>Mn>Na>K>Cu>N

Continuación.

24,97	32,01	20,56	-9,54	-2,77	4,03	4,94	0,12	3,62	-5,65	-5,45	-8,51	-2,93	0,30	100,44	K>Mn>Cu>Fe>S>Ca>Na>B>Zn>Mg>Cl>P>N
24,68	61,93	-7,62	2,53	6,44	-3,12	-7,47	4,84	-7,58	11,17	-25,50	2,39	3,11	11,02	154,74	Fe>P>Zn>Cl>Mg>Mn>K>S>Na>Ca>B>Cu>N
24,63	-7,75	-5,26	-7,07	2,08	-5,23	2,80	1,92	-9,35	-2,45	-8,71	0,51	-5,20	-9,59	67,92	B>Zn>Fe>N>K>P>Mg>S>Cu>Mn>Na>Ca>Cl
24,55	75,55	-8,75	1,82	5,16	-5,88	-4,27	-1,54	-8,35	13,95	-10,54	2,24	-1,97	7,74	147,78	Fe>P>Zn>Mg>Cl>S>Na>K>Mn>Ca>B>Cu>N
24,43	35,58	-7,55	13,75	6,31	-5,66	-5,22	35,04	-14,66	21,40	-6,95	-1,08	-7,68	-14,28	175,16	B>Ca>Cl>Cu>Fe>K>Mg>Mn>N>Na>P>S>Zn
24,32	23,62	-6,77	10,64	23,92	-3,11	0,32	-7,24	-14,90	-3,11	-13,49	12,44	-4,06	4,19	127,80	Zn>Fe>Na>P>S>Mg>Cu>Cl>B>K>Mn>N>Ca
24,26	83,36	19,37	-11,13	-18,46	0,88	-4,65	-8,64	-15,01	8,66	-11,83	13,18	8,76	11,87	215,81	Ca>Zn>Fe>K>Na>Cl>Mg>Cu>S>B>Mn>P>N
24,15	-7,13	3,86	13,34	4,55	-4,60	6,51	3,31	-10,41	4,24	6,56	16,62	-11,15	-18,09	110,37	B>S>Zn>N>Mg>Na>P>Cu>Ca>Cl>Fe>K>Mn
24,11	-32,24	4,58	-7,05	2,78	-13,75	-13,19	-1,02	7,69	12,02	-8,29	0,98	-1,80	12,31	117,70	N>Mg>Cl>Fe>K>S>Na>Mn>Ca>P>Zn>Cu>B
23,91	129,28	0,09	17,92	35,32	-0,46	-1,86	10,26	-9,24	4,84	21,23	-106,68	3,60	7,43	348,20	Mn>Zn>Cl>Mg>P>S>Cu>B>Na>K>Fe>Ca>N
23,87	45,05	-5,64	16,16	10,98	-4,83	3,53	11,13	-17,37	-4,15	-9,33	13,29	-15,96	0,98	158,40	Zn>S>Fe>P>Mg>Cu>B>Cl>Ca>Na>Mn>K>N
23,81	91,49	-6,82	6,06	7,75	-2,18	-4,50	7,91	-10,68	2,55	-2,91	-14,48	0,20	5,92	163,44	Mn>Zn>P>Cl>Fe>Mg>S>Cu>B>K>Ca>Na>N
23,59	-10,96	-1,87	4,27	-6,52	-7,36	2,54	0,30	-0,04	12,27	-2,17	-8,22	-0,53	6,81	63,84	N>Mn>Mg>Ca>Fe>P>S>Zn>Na>Cl>K>B>Cu
23,51	1,23	-7,87	14,29	21,56	5,73	-8,45	-4,97	-14,72	3,17	-19,84	11,55	-2,21	3,40	118,98	Fe>Zn>Cl>P>Na>S>N>Cu>B>Mg>Mn>K>Ca
23,39	36,60	-8,39	-2,35	6,27	5,03	-10,26	3,18	-6,18	12,33	-19,58	8,16	-1,20	6,05	125,57	Fe>Cl>P>Zn>K>S>Na>Mg>B>Ca>Mn>Cu>N
23,14	63,42	-1,89	11,28	13,62	-4,62	7,65	1,92	-8,65	12,20	2,96	15,28	-3,14	3,35	149,99	Zn>Mg>S>P>Na>Fe>B>Cl>K>Cu>Ca>Mn>N
23,11	29,75	-5,68	10,00	9,00	-6,03	-1,34	-11,17	-3,64	4,23	-11,00	12,23	-0,75	3,32	108,12	Na>Fe>Mg>P>Zn>Cl>S>B>Cu>Ca>K>Mn>N
22,73	-15,64	11,12	-6,32	-24,75	2,23	12,26	-4,72	-17,11	14,29	-7,77	26,43	3,41	0,43	146,48	Ca>Zn>N>Fe>K>Na>B>Mg>S>P>Cl>Cu>Mn
22,72	-3,81	-13,89	11,86	18,07	-5,54	5,21	-0,85	-16,57	14,39	-21,08	8,42	-9,43	9,12	138,26	Fe>Zn>P>S>Mg>N>Na>Cl>Mn>B>K>Cu>Ca
22,51	22,66	-6,06	10,43	2,49	-3,50	4,87	4,94	-12,49	5,58	-1,71	2,84	-12,96	3,96	94,50	S>Zn>P>Mg>Fe>Ca>Mn>B>Cl>Na>Cu>K>N
22,40	-30,43	-15,16	2,36	14,91	-0,80	-11,70	14,36	-11,01	-3,07	-7,02	27,87	-10,37	1,63	150,67	N>P>Cl>Zn>S>Fe>Cu>Mg>B>K>Na>Ca>Mn

Continuación.

22,35	-7,22	-1,90	7,26	4,05	-6,19	7,13	2,15	7,47	-8,69	-0,08	-5,88	-1,14	-2,11	61,29	Cu>N>Mg>Mn>B>P>S>Fe>Na>Ca>Cl>K>Zn
22,32	74,65	18,20	1,83	-5,38	17,05	-1,24	0,07	-22,66	-44,41	14,52	6,49	11,21	0,31	218,03	Cu>Zn>Ca>Cl>Na>B>K>Mn>S>Fe>Mg>P>N
22,27	19,02	-7,17	17,39	4,35	-7,40	-8,59	3,82	-16,88	20,65	-0,04	5,88	-11,99	1,21	124,38	Zn>S>Cl>Mg>P>Fe>B>Na>Ca>Mn>K>N>Cu
21,79	113,43	-4,29	9,11	14,49	-2,11	6,44	-11,61	-8,65	14,47	-36,91	7,27	1,73	7,63	238,14	Fe>Na>Zn>P>Mg>S>Cl>Mn>B>K>Cu>Ca>N
21,53	13,45	13,09	-17,61	-17,55	4,54	-7,19	2,92	-13,87	18,25	-5,15	24,35	3,53	-2,12	143,63	K>Ca>Zn>Cl>Fe>B>Na>S>Mg>P>N>Cu>Mn
20,82	40,12	14,87	-26,92	-10,36	14,61	6,56	-2,85	-10,92	-2,60	-0,15	3,37	-0,43	5,59	139,35	K>Zn>Ca>Na>Cu>S>Fe>Mn>B>Cl>Mg>P>N
20,33	25,66	-6,03	7,77	8,50	8,68	-7,59	-2,29	-8,41	5,40	-24,47	8,99	1,07	6,23	121,10	Fe>Zn>Cl>P>Na>S>Cu>B>K>Ca>Mg>Mn>N
19,71	58,28	-0,04	14,70	8,64	-0,99	-2,29	12,53	-7,37	8,13	-3,70	3,96	-5,67	-18,78	145,07	B>Zn>S>Fe>Cl>Mg>P>Mn>Cu>Ca>Na>K>N
18,64	-7,29	-12,53	9,57	3,05	-7,28	-0,43	8,22	-9,12	12,39	-8,85	12,02	-17,06	7,88	115,71	S>P>Zn>Fe>N>Mg>Cl>Ca>B>Na>K>Mn>Cu
18,10	40,96	-6,70	15,59	2,81	-5,47	1,58	-9,25	-10,31	-11,27	7,29	6,81	-11,88	12,86	142,79	S>Cu>Zn>Na>P>Mg>Cl>Ca>Mn>Fe>B>K>N
16,50	26,04	-0,84	1,88	19,25	24,98	-0,67	1,92	-8,93	19,81	-3,25	31,74	-1,38	-16,88	157,58	B>Zn>Fe>S>P>Cl>K>Na>Ca>Cu>Mg>N>Mn

E. Anexo: Productividad, índices DRIS para suelo, índice de equilibrio nutricional (IBN) y secuencia de deficiencia a exceso nutricional para cada una de las muestras tomadas en el cultivo de palma (*Elaeis guineensis* Jacq) IRHO.

Producción ($t*ha^{-1}$)	INDICES DRIS													IBN	Secuencia de deficiencias (De izquierda a derecha, mayor a menor la deficiencia de los elementos)
	N	P	K	Ca	Mg	Al	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	S	B		
39,36	11,66	3,06	2,45	4,81	3,47	3,77	-2,64	2,54	21,98	-5,15	7,48	-49,06	-8,43	126,51	S>B>Fe>Na>K>Zn>P>Mg>Al>Ca>Mn>N>Cu
38,72	12,19	18,50	-0,56	-2,37	3,61	3,13	-0,84	3,87	-63,53	1,82	22,09	7,03	-6,16	145,70	Cu>B>Ca>Na>K>Fe>Al>Mg>Zn>S>N>P>Mn
38,57	-13,45	4,62	-10,53	-4,32	-4,71	-14,46	-22,75	5,87	-2,37	5,55	-1,00	23,84	-2,74	116,22	Na>Al>N>K>Mg>Ca>B>Cu>Mn>P>Fe>Zn>S
36,71	-11,53	1,95	7,70	-8,45	-0,58	22,67	-14,23	-7,70	-14,80	25,60	-27,57	24,13	2,85	169,76	Mn>Cu>Na>N>Ca>Zn>Mg>P>B>K>Al>S>Fe
36,53	-22,66	20,06	-8,54	-12,68	-4,40	-4,45	6,68	-10,77	-26,11	12,96	-24,18	67,82	10,02	231,33	Cu>Mn>N>Ca>Zn>K>Al>Mg>Na>B>Fe>P>S
35,14	-13,03	8,57	-3,23	4,09	6,88	5,34	-5,68	-17,18	-25,51	21,02	-2,15	25,08	-4,34	142,11	Cu>Zn>N>Na>B>K>Mn>Ca>Al>Mg>P>Fe>S
34,79	-10,15	5,58	24,32	-5,01	-3,41	-6,24	-6,64	25,16	9,59	25,49	40,57	-83,82	-2,73	248,72	S>N>Na>Al>Ca>Mg>B>P>Cu>K>Zn>Fe>Mn
34,64	9,61	7,13	-5,26	1,46	-15,71	8,41	-5,68	-5,11	-20,39	12,96	18,37	5,06	-7,90	123,05	Cu>Mg>B>Na>K>Zn>Ca>S>P>Al>N>Fe>Mn
34,49	-3,64	38,61	29,90	6,64	-2,54	0,27	-8,68	43,17	12,75	30,50	-1,00	1,53	-38,35	217,60	B>Na>N>Mg>Mn>Al>S>Ca>Cu>K>Fe>P>Zn
34,03	-6,71	28,64	20,90	18,02	19,56	-2,01	1,96	7,15	6,48	6,14	-21,64	-69,22	-23,77	232,20	S>B>Mn>N>Al>Na>Fe>Cu>Zn>Ca>Mg>K>P
33,93	0,21	-26,96	4,10	39,50	7,02	-25,74	8,93	31,66	8,02	-5,93	-14,45	-29,98	7,11	209,62	S>P>Al>Mn>Fe>N>K>Mg>B>Cu>Na>Zn>Ca
33,41	-2,21	-67,22	-3,75	6,59	10,26	4,24	-0,53	44,36	-3,01	13,31	23,11	2,49	-18,63	199,71	P>B>K>Cu>N>Na>S>Al>Ca>Mg>Fe>Mn>Zn
33,18	4,50	6,08	9,53	4,90	0,77	10,80	0,20	-6,10	-91,38	20,39	-6,62	42,37	6,75	210,39	Cu>Mn>Zn>Na>Mg>N>Ca>P>B>K>Al>Fe>S
33,09	14,17	1,90	-9,54	-4,74	2,74	1,26	-8,98	-7,43	-2,08	-5,05	3,18	20,58	5,85	87,48	K>Na>Zn>Fe>Ca>Cu>Al>P>Mg>Mn>B>N>S
32,98	-11,34	-0,85	-5,65	5,73	1,01	-16,53	2,94	4,60	-11,52	4,17	1,31	85,10	-15,95	166,70	Al>B>Cu>N>K>P>Mg>Mn>Na>Fe>Zn>Ca>S
32,67	1,41	1,75	5,62	-3,10	-5,45	1,54	-2,87	1,21	-2,88	-3,02	3,01	-1,90	6,80	40,55	Mg>Ca>Fe>Cu>Na>S>Zn>N>Al>P>Mn>K>B
32,59	12,53	17,97	-6,64	6,33	-5,46	-1,30	-1,23	0,74	-67,22	14,54	16,61	28,84	-15,63	195,04	Cu>B>K>Mg>Al>Na>Zn>Ca>N>Fe>Mn>P>S
32,47	-8,57	14,38	-10,94	-18,68	-1,51	2,96	-26,19	8,18	-75,69	24,41	0,05	-9,79	6,76	208,13	Cu>Na>Ca>K>S>N>Mg>Mn>Al>B>Zn>P>Fe
32,34	-3,00	7,32	0,89	6,65	2,20	3,67	-2,38	-4,32	-44,88	24,51	6,16	19,98	-20,02	145,98	Cu>B>Zn>N>Na>K>Mg>Al>Mn>Ca>P>S>Fe
32,05	8,36	15,39	6,63	-8,30	-7,38	4,90	-3,03	9,36	-21,09	-9,21	0,53	8,80	3,89	106,87	Cu>Fe>Ca>Mg>Na>Mn>B>Al>K>N>S>Zn>P

Continuación.

31,99	-8,01	29,46	44,57	50,64	-5,17	2,96	13,62	34,57	-28,65	26,86	15,36	91,31	-3,71	354,89	Cu>N>Mg>B>Al>Na>Mn>Fe>P>Zn>K>Ca>S
31,97	4,42	23,12	-8,37	-6,32	-8,56	9,32	-17,64	-3,84	-0,23	12,57	1,74	10,57	-17,45	124,14	Na>B>Mg>K>Ca>Zn>Cu>Mn>N>Al>S>Fe>P
31,87	3,47	7,86	1,81	12,01	-5,67	-2,93	8,47	-12,59	-8,53	12,56	-0,40	8,38	-23,84	108,52	B>Zn>Cu>Mg>Al>Mn>K>N>P>S>Na>Ca>Fe
31,64	0,17	8,01	-4,86	-0,11	7,06	6,00	-3,63	-10,99	-11,19	12,82	-10,40	12,90	0,69	88,83	Cu>Zn>Mn>K>Na>Ca>N>B>Al>Mg>P>Fe>S
31,44	0,64	10,05	1,56	10,04	-0,31	-34,52	4,01	-5,56	2,10	15,79	-9,33	1,60	6,69	102,20	Al>Mn>Zn>Mg>N>K>S>Cu>Na>B>Ca>P>Fe
31,38	-5,93	14,42	2,74	-1,64	12,88	3,93	-2,16	-7,76	-3,23	11,02	-10,99	13,17	-28,58	118,45	B>Mn>Zn>N>Cu>Na>Ca>K>Al>Fe>Mg>S>P
31,15	-10,33	5,58	47,97	22,02	7,33	-40,45	15,46	51,93	-26,82	25,97	11,75	-9,69	5,98	281,28	Al>Cu>N>S>P>B>Mg>Mn>Na>Ca>Fe>K>Zn
31,10	18,92	3,81	23,40	6,59	-0,57	8,90	2,38	5,87	16,57	4,17	-1,00	-46,02	8,33	146,55	S>Mn>Mg>Na>P>Fe>Zn>Ca>B>Al>Cu>N>K
31,10	-4,46	21,99	21,60	26,28	12,99	19,27	10,31	32,76	28,62	4,17	-1,00	1,53	-4,53	189,52	B>N>Mn>S>Fe>Na>Mg>Al>K>P>Ca>Cu>Zn
30,92	-7,05	-12,59	53,99	-0,02	-3,12	-7,10	-1,59	8,11	0,17	-12,71	-9,51	6,06	-8,58	130,62	Fe>P>Mn>B>Al>N>Mg>Na>Ca>Cu>S>Zn>K
30,75	68,39	-1,56	62,75	7,47	-5,43	12,27	4,03	-20,78	7,09	4,17	-38,49	-57,61	-13,17	303,20	S>Mn>Zn>B>Mg>P>Na>Fe>Cu>Ca>Al>K>N
30,45	-14,24	6,37	0,78	4,94	2,09	11,80	1,40	-23,57	-32,56	19,29	12,44	14,08	-2,04	145,60	Cu>Zn>N>B>K>Na>Mg>Ca>P>Al>Mn>S>Fe
30,01	-25,23	13,21	23,36	8,26	5,40	-12,54	-4,79	-18,11	-11,14	1,28	-13,09	51,18	-18,44	206,03	N>B>Zn>Mn>Al>Cu>Na>Fe>Mg>Ca>P>K>S
30,01	-7,04	5,75	-11,61	6,05	-4,63	4,33	3,41	28,21	-7,67	7,24	-26,91	-4,72	8,81	126,40	Mn>K>Cu>N>S>Mg>Na>Al>P>Ca>Fe>B>Zn
29,89	-7,26	13,78	26,99	-2,46	-11,44	2,96	-9,74	-7,58	5,96	14,96	17,94	18,21	1,12	140,41	Mg>Na>Zn>N>Ca>B>Al>Cu>P>Fe>Mn>S>K
29,54	-8,42	14,81	4,13	15,66	-3,65	-2,61	0,11	22,19	-3,38	3,62	28,05	-64,43	-15,16	186,23	S>B>N>Mg>Cu>Al>Na>Fe>K>P>Ca>Zn>Mn
29,54	5,80	4,67	-11,30	-1,18	-5,91	11,24	-4,70	-1,16	-5,38	4,25	-4,01	10,61	1,32	71,54	K>Mg>Cu>Na>Mn>Ca>Zn>B>Fe>P>N>S>Al
29,38	-0,16	4,75	0,65	-28,33	0,40	2,96	2,38	-16,41	-9,41	-8,88	1,50	1,53	8,41	85,78	Ca>Zn>Cu>Fe>N>Mg>K>Mn>S>Na>Al>P>B
29,34	-5,24	3,81	-1,03	42,10	7,01	-33,11	8,03	-0,42	-4,89	-8,35	-6,40	121,38	-15,87	257,65	Al>B>Fe>Mn>N>Cu>K>Zn>P>Mg>Na>Ca>S
29,31	2,26	6,78	-6,41	0,91	2,11	3,77	-3,70	-16,46	-26,60	29,07	-7,05	11,90	2,20	119,21	Cu>Zn>Mn>K>Na>Ca>Mg>B>N>Al>P>S>Fe
29,30	6,99	1,07	-8,30	-10,46	-9,89	0,89	1,91	22,07	0,09	-9,26	9,76	-6,26	4,91	91,86	Ca>Mg>Fe>K>S>Cu>Al>P>Na>B>N>Mn>Zn

Continuación.

29,28	9,10	3,44	2,82	6,30	-1,87	6,91	8,71	8,18	4,19	-9,16	5,18	5,93	-1,41	73,22	Fe>Mg>B>K>P>Cu>Mn>S>Ca>Al>Zn>Na>N
29,13	-2,52	16,05	11,66	-12,56	-0,57	2,24	-3,19	24,13	-29,40	-5,31	1,00	30,63	-4,46	143,73	Cu>Ca>Fe>B>Na>N>Mg>Mn>Al>K>P>Zn>S
29,11	-7,40	-17,96	13,90	5,95	-12,28	-15,85	3,41	26,49	-6,15	2,56	46,79	-13,48	-23,41	195,65	B>P>Al>S>Mg>N>Cu>Fe>Na>Ca>K>Zn>Mn
29,10	8,56	3,14	-6,96	2,70	-5,77	8,24	-4,15	25,32	-39,19	0,53	22,28	3,89	-13,55	144,29	Cu>B>K>Mg>Na>Fe>Ca>P>S>Al>N>Mn>Zn
28,78	7,30	17,14	-11,66	-18,25	-18,36	13,20	10,73	-2,24	-9,03	-2,69	-0,23	16,04	15,26	142,14	Mg>Ca>K>Cu>Fe>Zn>Mn>N>Na>Al>B>S>P
28,72	45,72	3,81	-19,83	3,50	-0,57	6,08	-8,02	5,87	-14,41	4,17	-30,49	34,37	-6,57	183,42	Mn>K>Cu>Na>B>Mg>Ca>P>Fe>Zn>Al>S>N
28,54	-18,07	19,51	40,76	-1,26	-2,67	1,26	-7,00	-21,46	-22,75	2,80	-22,83	69,73	-45,53	275,64	B>Mn>Cu>Zn>N>Na>Mg>Ca>Al>Fe>P>K>S
28,53	-4,00	9,27	-5,37	-5,13	-8,52	-6,64	-7,52	-20,19	6,61	-1,30	12,67	49,24	-11,15	147,62	Zn>B>Mg>Na>Al>K>Ca>N>Fe>Cu>P>Mn>S
28,45	51,97	1,92	-10,10	-11,80	-12,14	19,63	-13,36	-6,88	-32,36	-8,89	-0,07	24,64	1,87	195,64	Cu>Na>Mg>Ca>K>Fe>Zn>Mn>B>P>Al>S>N
28,25	6,31	3,77	-11,25	-1,86	-9,90	6,42	3,36	-14,62	-13,98	4,68	-2,35	20,39	15,25	114,14	Zn>Cu>K>Mg>Mn>Ca>Na>P>Fe>N>Al>B>S
27,89	1,19	6,21	-4,68	-2,52	8,34	-11,08	-8,38	9,21	-8,55	11,36	23,58	-10,09	-17,92	123,12	B>Al>S>Cu>Na>K>Ca>N>P>Mg>Zn>Fe>Mn
27,81	-13,32	-43,71	5,43	21,66	0,86	-37,59	40,87	4,47	-4,22	-10,46	-1,00	-6,56	15,71	205,87	P>Al>N>Fe>S>Cu>Mn>Mg>Zn>K>B>Ca>Na
27,71	0,67	7,52	1,90	-1,61	1,27	-0,93	-2,48	4,74	0,68	-14,16	14,79	-17,05	5,75	73,55	S>Fe>Na>Ca>Al>N>Cu>Mg>K>Zn>B>P>Mn
27,69	-13,21	3,38	14,85	-7,18	-5,07	-0,63	-2,78	-1,17	-1,47	6,90	7,67	6,93	-4,54	75,77	N>Ca>Mg>B>Na>Cu>Zn>Al>P>Fe>S>Mn>K
27,53	-3,41	4,41	-5,62	-0,50	3,02	-4,18	6,44	-7,39	-4,45	23,68	-5,02	0,26	-7,62	75,99	B>Zn>K>Mn>Cu>Al>N>Ca>S>Mg>P>Na>Fe
27,46	-17,36	2,82	-1,20	9,91	0,65	-8,04	-25,48	10,03	-21,98	4,17	-15,52	130,14	-12,61	259,91	Na>Cu>N>Mn>B>Al>K>Mg>P>Fe>Ca>Zn>S
27,39	9,89	6,68	-12,24	-3,54	-4,32	12,54	5,88	58,27	3,83	-11,83	-4,18	-57,86	-2,59	193,66	S>K>Fe>Mg>Mn>Ca>B>Cu>Na>P>N>Al>Zn
27,22	-12,21	27,34	15,50	10,80	11,60	2,12	-6,54	4,19	-1,73	14,66	-17,40	-71,47	10,24	205,79	S>Mn>N>Na>Cu>Al>Zn>B>Ca>Mg>Fe>K>P
27,14	4,44	19,99	29,17	-1,47	-13,93	9,84	18,55	1,70	-9,41	15,13	7,99	28,43	-13,82	173,86	Mg>B>Cu>Ca>Zn>N>Mn>Al>Fe>Na>P>S>K
27,05	-20,98	17,74	-7,06	11,40	10,63	-1,67	6,19	-3,54	-4,12	10,15	-2,67	-26,30	4,63	127,07	S>N>K>Cu>Zn>Mn>Al>B>Na>Fe>Mg>Ca>P
26,95	4,20	0,55	7,39	-11,24	-13,05	3,17	9,33	18,83	-23,49	-7,05	-18,65	13,11	27,06	157,12	Cu>Mn>Mg>Ca>Fe>P>Al>N>K>Na>S>Zn>B

Continuación.

26,89	33,01	25,37	1,59	14,39	0,64	34,21	-22,98	47,28	-7,70	4,01	29,00	1,53	-20,38	242,08	Na>B>Cu>Mg>S>K>Fe>Ca>P>Mn>N>Al>Zn
26,83	20,24	4,68	-3,43	-3,00	-10,51	5,05	-5,02	-7,47	-6,20	-9,33	3,56	-2,05	18,83	99,36	Mg>Fe>Zn>Cu>Na>K>Ca>S>Mn>P>Al>B>N
26,81	7,98	12,86	-3,51	1,18	-9,82	6,00	-10,01	-3,16	-13,80	0,85	-5,43	-1,87	21,95	98,41	Cu>Na>Mg>Mn>K>Zn>S>Fe>Ca>Al>N>P>B
26,57	-6,64	39,76	5,11	9,73	-2,05	-4,59	-2,87	22,70	-1,81	28,17	38,08	-106,05	-11,12	278,70	S>B>N>Al>Na>Mg>Cu>K>Ca>Zn>Fe>Mn>P
26,44	1,88	13,68	19,42	-5,03	-1,94	-8,76	-11,24	-0,82	0,15	7,19	16,95	-14,75	-22,43	124,24	B>S>Na>Al>Ca>Mg>Zn>Cu>N>Fe>P>Mn>K
26,38	-3,02	18,69	43,50	7,81	22,30	-1,55	2,08	-9,48	6,21	-5,43	-15,16	-57,74	-14,56	207,52	S>Mn>B>Zn>Fe>N>Al>Na>Cu>Ca>P>Mg>K
25,98	-6,76	-18,56	-9,39	14,66	-0,33	-49,53	16,38	5,87	7,11	4,17	-23,57	30,53	21,03	207,89	Al>Mn>P>K>N>Mg>Fe>Zn>Cu>Ca>Na>B>S
25,92	7,83	-24,10	17,13	51,12	18,98	-10,84	18,37	18,50	25,58	-10,25	-43,58	-64,30	-4,16	314,75	S>Mn>P>Al>Fe>B>N>K>Na>Zn>Mg>Cu>Ca
25,91	36,99	-66,41	-0,72	11,99	-8,64	-5,44	-4,86	-19,28	-14,68	-7,77	-16,23	99,06	9,78	301,84	P>Zn>Mn>Cu>Mg>Fe>Al>Na>K>B>Ca>N>S
25,89	17,94	9,35	-16,24	-31,37	-15,77	14,60	-27,93	14,65	1,33	3,99	13,16	4,81	13,52	184,65	Ca>Na>K>Mg>Cu>Fe>S>P>Mn>B>Al>Zn>N
25,88	7,03	14,75	-5,21	7,19	21,12	5,05	-1,89	7,78	11,15	7,30	-5,33	-63,69	-19,83	177,33	S>B>Mn>K>Na>Al>N>Ca>Fe>Zn>Cu>P>Mg
25,78	-3,67	4,48	-19,75	-25,99	0,40	-20,01	2,38	5,87	-17,11	-3,10	-5,15	28,93	47,75	184,60	Ca>Al>K>Cu>Mn>N>Fe>Mg>Na>P>Zn>S>B
25,53	79,22	-27,08	9,67	6,09	6,15	17,88	-4,43	-1,74	-10,42	-1,12	-4,36	-77,35	17,56	263,07	S>P>Cu>Na>Mn>Zn>Fe>Ca>Mg>K>B>Al>N
25,50	9,51	13,44	19,10	-10,35	-4,55	7,95	-4,38	-15,19	-9,41	18,25	-5,24	1,53	9,22	128,13	Zn>Ca>Cu>Mn>Mg>Na>S>Al>B>N>P>Fe>K
25,45	16,14	5,94	-0,60	9,24	2,69	11,01	4,51	12,86	0,31	-8,30	0,48	-58,64	4,69	135,42	S>Fe>K>Cu>Mn>Mg>Na>B>P>Ca>Al>Zn>N
25,42	-9,08	-6,57	4,51	-0,84	0,40	2,11	27,91	5,87	-43,59	4,17	-55,80	63,87	54,02	278,75	Mn>Cu>N>P>Ca>Mg>Al>Fe>K>Zn>Na>B>S
25,23	-12,42	34,26	50,92	6,44	21,09	-30,67	4,65	-7,50	5,33	12,95	-30,92	-56,79	-5,71	279,64	S>Mn>Al>N>Zn>B>Na>Cu>Ca>Fe>Mg>P>K
25,17	2,02	7,20	0,51	10,02	4,82	-34,83	-3,27	5,37	-0,66	6,97	3,67	9,63	-12,10	101,07	Al>B>Na>Cu>K>N>Mn>Mg>Zn>Fe>P>S>Ca
25,06	-7,62	-17,72	1,59	7,41	-4,90	-11,57	4,52	11,51	3,93	2,63	35,70	-8,87	-15,14	133,13	P>B>Al>S>N>Mg>K>Fe>Cu>Na>Ca>Zn>Mn
24,97	2,86	21,90	-2,96	-0,72	6,31	2,96	0,34	-4,98	0,45	-3,69	6,69	110,72	-9,73	174,31	B>Zn>Fe>K>Ca>Na>Cu>N>Al>Mg>Mn>P>S

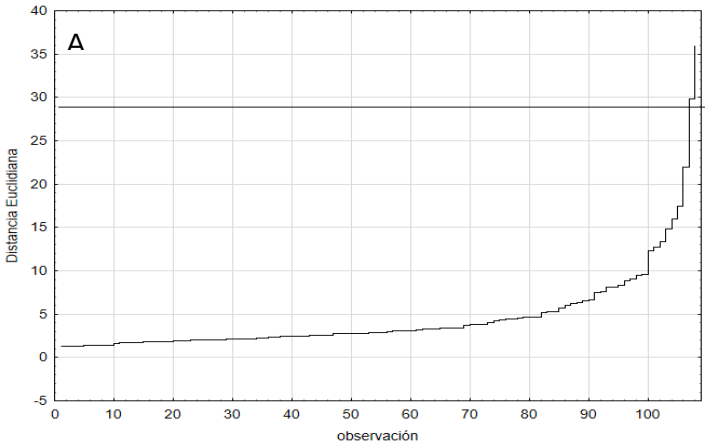
Continuación.

24,68	0,64	14,68	17,70	-4,48	2,07	-12,89	-3,39	-1,70	-5,00	-2,56	-1,91	-2,73	2,91	72,65	Al>Cu>Ca>Na>S>Fe>Mn>Zn>N>Mg>B>P>K
24,63	-3,84	7,26	-4,69	-4,97	-1,43	-8,19	-8,18	1,27	-12,81	18,86	15,60	9,71	-3,45	100,26	Cu>Al>Na>Ca>K>N>B>Mg>Zn>P>S>Mn>Fe
24,55	-5,47	10,18	-1,04	4,55	8,71	1,30	-0,80	-2,15	-1,64	0,03	2,58	-12,79	-6,61	57,82	S>B>N>Zn>Cu>K>Na>Fe>Al>Mn>Ca>Mg>P
24,43	13,21	18,11	17,21	-3,62	-0,06	13,93	2,02	12,42	-14,91	-17,35	-51,08	1,07	16,42	181,40	Mn>Fe>Cu>Ca>Mg>S>Na>Zn>N>Al>B>K>P
24,32	19,50	-68,29	3,40	59,28	22,28	-18,95	13,18	14,42	9,91	7,48	-13,46	-70,36	37,49	357,98	S>P>Al>Mn>K>Fe>Cu>Na>Zn>N>Mg>B>Ca
24,26	5,76	2,99	5,64	9,69	-2,65	11,97	2,39	-5,85	6,30	-6,62	-32,34	-4,33	8,62	105,18	Mn>Fe>Zn>S>Mg>Na>P>K>N>Cu>B>Ca>Al
24,15	12,69	20,07	11,90	12,70	4,52	10,24	1,34	34,53	-11,78	3,95	5,05	1,53	-2,92	133,23	Cu>B>Na>S>Fe>Mg>Mn>Al>K>N>Ca>P>Zn
24,11	11,43	11,94	-2,66	6,91	-0,01	-4,08	0,00	3,92	-82,30	20,32	20,38	18,87	-5,99	188,81	Cu>B>Al>K>Mg>Na>Zn>Ca>N>P>S>Fe>Mn
23,91	-5,10	13,38	12,56	-11,99	-5,10	10,37	-1,47	11,31	3,69	4,17	36,59	3,99	-12,00	131,75	B>Ca>N>Mg>Na>Cu>S>Fe>Al>Zn>K>P>Mn
23,87	8,96	3,88	-9,00	-1,20	-7,43	13,57	-5,29	21,25	-5,50	-8,64	-4,14	1,37	-6,72	96,96	K>Fe>Mg>B>Cu>Na>Mn>Ca>S>P>N>Al>Zn
23,81	-1,17	5,07	4,51	6,59	-16,88	17,96	2,38	8,18	-9,41	4,17	-1,00	59,54	9,72	146,60	Mg>Cu>N>Mn>Na>Fe>K>P>Ca>Zn>B>Al>S
23,59	5,26	17,91	1,91	-0,54	-14,66	2,88	2,84	0,46	7,43	1,88	14,46	-12,71	-32,99	115,94	B>Mg>S>Ca>Zn>Fe>K>Na>Al>N>Cu>Mn>P
23,51	-4,04	5,09	-1,04	5,04	-0,34	8,23	0,78	-1,46	1,59	10,47	-11,30	-6,48	-11,41	67,25	B>Mn>S>N>Zn>K>Mg>Na>Cu>Ca>P>Al>Fe
23,39	1,65	17,73	-28,55	6,59	0,09	17,90	-24,58	-3,72	-9,41	2,58	17,44	4,51	0,71	135,49	K>Na>Cu>Zn>Mg>B>N>Fe>S>Ca>Mn>P>Al
23,14	4,48	11,08	13,21	10,30	-1,31	-32,92	21,96	0,35	0,29	15,28	49,87	-59,69	-12,07	232,82	S>Al>B>Mg>Cu>Zn>N>Ca>P>K>Fe>Na>Mn
23,11	-3,70	-60,99	-0,89	44,39	13,94	-47,43	3,30	84,86	28,12	9,35	12,75	-87,12	2,32	399,16	S>P>Al>N>K>B>Na>Fe>Mn>Mg>Cu>Ca>Zn
22,73	2,84	7,80	-8,28	2,76	-4,92	4,56	-5,21	6,60	-1,41	-8,24	-2,23	7,71	2,55	65,11	K>Fe>Na>Mg>Mn>Cu>B>Ca>N>Al>Zn>S>P
22,72	-5,69	10,99	15,85	-2,22	-4,55	-23,97	15,07	15,02	-0,28	-15,95	-0,86	-11,29	13,91	135,65	Al>Fe>S>N>Mg>Ca>Mn>Cu>P>B>Zn>Na>K
22,51	26,91	29,23	-14,48	4,49	-15,86	18,96	7,89	17,12	-5,21	-3,21	-16,39	11,61	-69,51	240,87	B>Mn>Mg>K>Cu>Fe>Ca>Na>S>Zn>Al>N>P
22,40	8,82	5,48	-10,30	4,50	1,51	8,12	0,51	-2,67	0,58	-11,35	-12,05	9,30	3,47	78,65	Mn>Fe>K>Zn>Na>Cu>Mg>B>Ca>P>Al>N>S
22,35	3,74	6,99	-6,12	5,37	2,33	-2,03	0,43	5,93	-17,46	-1,02	8,51	2,32	-5,63	67,90	Cu>K>B>Al>Fe>Na>S>Mg>N>Ca>Zn>P>Mn

Continuación.

22,32	14,51	9,86	-18,28	-11,59	-0,54	18,99	-10,05	4,30	-1,31	-1,07	-4,16	-0,87	-0,02	95,56	K>Ca>Na>Mn>Cu>Fe>S>Mg>B>Zn>P>N>Al
22,27	28,37	3,30	-2,56	-0,14	-6,72	-0,37	9,98	-15,34	-5,63	0,60	-19,84	-2,05	16,31	111,19	Mn>Zn>Mg>Cu>K>S>Al>Ca>Fe>P>Na>B>N
21,79	-6,74	12,13	2,89	-6,62	4,05	2,32	-8,76	-5,41	-24,76	4,40	-1,20	37,78	-7,03	124,08	Cu>Na>B>N>Ca>Zn>Mn>Al>K>Mg>Fe>P>S
21,53	8,87	10,17	-5,01	22,91	0,47	17,33	6,03	7,52	1,54	-15,65	-24,41	-43,87	17,96	181,75	S>Mn>Fe>K>Mg>Cu>Na>Zn>N>P>Al>B>Ca
20,82	-4,51	25,18	-2,46	15,22	19,22	11,08	-5,58	40,22	-1,28	3,32	4,02	1,53	1,60	135,24	Na>N>K>Cu>S>B>Fe>Mn>Al>Ca>Mg>P>Zn
20,33	2,81	-8,94	2,18	5,96	2,02	-12,14	36,20	-4,14	-4,49	-2,78	-0,42	7,01	-13,27	102,37	B>Al>P>Cu>Zn>Fe>Mn>Mg>K>N>Ca>S>Na
19,71	59,48	8,25	-4,14	-11,63	-15,47	17,91	-20,67	-9,24	-16,59	-16,42	-20,20	28,75	7,35	236,08	Na>Mn>Cu>Fe>Mg>Ca>Zn>K>B>P>Al>S>N
18,64	5,25	13,14	-0,55	16,76	-2,87	35,97	22,51	7,74	-9,41	3,68	45,46	8,66	12,48	184,48	Cu>Mg>K>Fe>N>Zn>S>B>P>Ca>Na>Al>Mn
18,10	12,41	-52,87	-1,40	17,43	6,80	-0,77	1,97	21,35	-32,92	-0,61	10,60	29,72	-0,24	189,09	P>Cu>K>Al>Fe>B>Na>Mg>Mn>N>Ca>Zn>S
16,50	74,08	-12,35	51,76	-5,85	-0,57	11,92	6,25	-5,85	-21,84	-13,14	-32,95	-22,96	7,29	266,81	Mn>S>Cu>Fe>P>Zn>Ca>Mg>Na>B>Al>K>N

F. Anexo: Varianza intragrupal: A) Suelos y B) Foliares.



B

G. Anexo: Correlación lineal entre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de fruta fresca de palma.

Grupo 1 para suelos

	pH	N	P	K	Ca	Mg	Al	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	S	B	Rendimiento	CICE	% Sat. K	% Sat. Ca	% Sat. Mg	% Sat. Al
pH	1,00	-0,02	-0,23	-0,27	-0,03	0,00	-0,17	0,18	-0,03	0,08	-0,20	-0,14	-0,03	0,01	0,02	-0,21	-0,18	0,07	0,17	-0,07
N	-0,02	1,00	0,11	0,06	-0,03	-0,33	0,20	0,18	0,25	-0,02	0,17	0,37	0,05	0,22	-0,06	0,11	0,00	-0,12	-0,40	0,24
P	-0,23	0,11	1,00	0,31	-0,24	0,02	-0,12	0,22	-0,03	0,13	-0,17	0,06	0,32	-0,09	-0,26	-0,16	0,31	-0,09	0,09	-0,09
K	-0,27	0,06	0,31	1,00	-0,02	0,17	0,05	0,40	0,09	0,32	-0,21	0,00	0,16	0,04	-0,19	0,31	0,84	-0,16	-0,07	-0,17
Ca	-0,03	-0,03	-0,24	-0,02	1,00	-0,02	-0,12	0,11	0,51	0,07	-0,15	0,20	-0,17	-0,41	0,19	0,49	-0,19	0,76	-0,29	-0,39
Mg	0,00	-0,33	0,02	0,17	-0,02	1,00	-0,09	-0,04	-0,02	0,14	-0,18	-0,09	0,04	-0,08	-0,24	0,12	0,06	-0,08	0,73	-0,22
Al	-0,17	0,20	-0,12	0,05	-0,12	-0,09	1,00	0,10	-0,07	-0,04	0,35	-0,02	0,15	0,20	0,37	0,74	-0,36	-0,68	-0,59	0,90
Na	0,18	0,18	0,22	0,40	0,11	-0,04	0,10	1,00	0,19	0,24	-0,18	0,11	0,34	0,17	-0,11	0,27	0,19	-0,06	-0,19	0,01
Zn	-0,03	0,25	-0,03	0,09	0,51	-0,02	-0,07	0,19	1,00	0,50	0,01	0,82	-0,26	0,00	0,24	0,27	-0,03	0,38	-0,18	-0,21
Cu	0,08	-0,02	0,13	0,32	0,07	0,14	-0,04	0,24	0,50	1,00	-0,28	0,54	-0,08	0,01	0,05	0,12	0,29	0,03	0,07	-0,16
Fe	-0,20	0,17	-0,17	-0,21	-0,15	-0,18	0,35	-0,18	0,01	-0,28	1,00	0,12	-0,07	0,17	0,33	0,10	-0,28	-0,22	-0,25	0,38
Mn	-0,14	0,37	0,06	0,00	0,20	-0,09	-0,02	0,11	0,82	0,54	0,12	1,00	-0,13	0,10	0,21	0,09	-0,03	0,17	-0,15	-0,06
S	-0,03	0,05	0,32	0,16	-0,17	0,04	0,15	0,34	-0,26	-0,08	-0,07	-0,13	1,00	0,36	-0,03	0,08	0,02	-0,19	0,02	0,12
B	0,01	0,22	-0,09	0,04	-0,41	-0,08	0,20	0,17	0,00	0,01	0,17	0,10	0,36	1,00	0,12	-0,08	0,09	-0,43	-0,04	0,29
Rendimiento	0,02	-0,06	-0,26	-0,19	0,19	-0,24	0,37	-0,11	0,24	0,05	0,33	0,21	-0,03	0,12	1,00	0,32	-0,34	-0,03	-0,43	0,33
CICE	-0,21	0,11	-0,16	0,31	0,49	0,12	0,74	0,27	0,27	0,12	0,10	0,09	0,08	-0,08	0,32	1,00	-0,19	-0,15	-0,55	0,43
% Sat. K	-0,18	0,00	0,31	0,84	-0,19	0,06	-0,36	0,19	-0,03	0,29	-0,28	-0,03	0,02	0,09	-0,34	-0,19	1,00	-0,01	0,17	-0,46
% Sat. Ca	0,07	-0,12	-0,09	-0,16	0,76	-0,08	-0,68	-0,06	0,38	0,03	-0,22	0,17	-0,19	-0,43	-0,03	-0,15	-0,01	1,00	0,09	-0,80
% Sat. Mg	0,17	-0,40	0,09	-0,07	-0,29	0,73	-0,59	-0,19	-0,18	0,07	-0,25	-0,15	0,02	-0,04	-0,43	-0,55	0,17	0,09	1,00	-0,52
% Sat. Al	-0,07	0,24	-0,09	-0,17	-0,39	-0,22	0,90	0,01	-0,21	-0,16	0,38	-0,06	0,12	0,29	0,33	0,43	-0,46	-0,80	-0,52	1,00

Grupo 2 para suelos

	pH	N	P	K	Ca	Mg	Al	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	S	B	Rendimiento	CICE	% Sat. K	% Sat. Ca	% Sat. Mg	% Sat. Al
pH	1,00	-0,06	0,17	-0,16	0,19	0,22	-0,08	0,18	-0,02	0,15	0,36	0,06	0,14	0,15	0,38	0,00	-0,12	0,09	0,18	-0,09
N	-0,06	1,00	-0,29	0,20	-0,04	-0,04	0,62	-0,05	-0,67	-0,34	-0,03	-0,19	-0,10	0,04	-0,36	0,64	-0,07	-0,47	-0,41	0,48
P	0,17	-0,29	1,00	-0,15	-0,17	0,09	0,21	0,19	-0,03	-0,12	0,25	0,44	0,31	0,12	0,14	0,17	-0,17	-0,36	-0,14	0,31
K	-0,16	0,20	-0,15	1,00	0,01	0,10	-0,10	0,05	-0,27	-0,11	-0,30	-0,02	0,08	-0,06	-0,09	0,20	0,92	-0,17	-0,04	-0,21
Ca	0,19	-0,04	-0,17	0,01	1,00	0,36	-0,22	0,26	-0,01	0,12	0,44	-0,21	-0,08	0,18	-0,06	0,17	-0,05	0,52	0,26	-0,42
Mg	0,22	-0,04	0,09	0,10	0,36	1,00	-0,14	0,49	-0,24	0,02	0,27	0,27	0,60	0,55	0,17	0,24	0,03	0,02	0,72	-0,29
Al	-0,08	0,62	0,21	-0,10	-0,22	-0,14	1,00	-0,17	-0,41	-0,44	0,17	0,07	-0,09	-0,05	-0,17	0,85	-0,42	-0,83	-0,71	0,94
Na	0,18	-0,05	0,19	0,05	0,26	0,49	-0,17	1,00	-0,06	0,04	0,34	0,07	0,15	0,88	-0,09	0,16	0,00	0,02	0,30	-0,26
Zn	-0,02	-0,67	-0,03	-0,27	-0,01	-0,24	-0,41	-0,06	1,00	0,34	-0,07	0,13	-0,17	-0,15	0,07	-0,54	-0,11	0,44	0,15	-0,30
Cu	0,15	-0,34	-0,12	-0,11	0,12	0,02	-0,44	0,04	0,34	1,00	0,03	0,46	-0,26	-0,13	0,14	-0,43	0,03	0,45	0,30	-0,40
Fe	0,36	-0,03	0,25	-0,30	0,44	0,27	0,17	0,34	-0,07	0,03	1,00	0,05	0,11	0,50	0,15	0,31	-0,39	-0,02	0,00	0,12
Mn	0,06	-0,19	0,44	-0,02	-0,21	0,27	0,07	0,07	0,13	0,46	0,05	1,00	0,20	-0,01	0,25	0,07	-0,04	-0,21	0,14	0,11
S	0,14	-0,10	0,31	0,08	-0,08	0,60	-0,09	0,15	-0,17	-0,26	0,11	0,20	1,00	0,21	0,16	0,04	0,07	-0,11	0,50	-0,11
B	0,15	0,04	0,12	-0,06	0,18	0,55	-0,05	0,88	-0,15	-0,13	0,50	-0,01	0,21	1,00	-0,08	0,21	-0,13	-0,07	0,33	-0,14
Rendimiento	0,38	-0,36	0,14	-0,09	-0,06	0,17	-0,17	-0,09	0,07	0,14	0,15	0,25	0,16	-0,08	1,00	-0,19	0,06	-0,01	0,18	-0,05
CICE	0,00	0,64	0,17	0,20	0,17	0,24	0,85	0,16	-0,54	-0,43	0,31	0,07	0,04	0,21	-0,19	1,00	-0,17	-0,71	-0,47	0,67
% Sat. K	-0,12	-0,07	-0,17	0,92	-0,05	0,03	-0,42	0,00	-0,11	0,03	-0,39	-0,04	0,07	-0,13	0,06	-0,17	1,00	0,07	0,13	-0,45
% Sat. Ca	0,09	-0,47	-0,36	-0,17	0,52	0,02	-0,83	0,02	0,44	0,45	-0,02	-0,21	-0,11	-0,07	-0,01	-0,71	0,07	1,00	0,59	-0,86
% Sat. Mg	0,18	-0,41	-0,14	-0,04	0,26	0,72	-0,71	0,30	0,15	0,30	0,00	0,14	0,50	0,33	0,18	-0,47	0,13	0,59	1,00	-0,77
% Sat. Al	-0,09	0,48	0,31	-0,21	-0,42	-0,29	0,94	-0,26	-0,30	-0,40	0,12	0,11	-0,11	-0,14	-0,05	0,67	-0,45	-0,86	-0,77	1,00

Grupo 3 para suelos

	pH	N	P	K	Ca	Mg	Al	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	S	B	Rendimiento	CICE	% Sat. K	% Sat. Ca	% Sat. Mg	% Sat. Al
pH	1,00	0,03	-0,14	-0,16	-0,07	-0,11	0,13	0,13	-0,05	0,24	-0,18	-0,27	0,12	-0,10	-0,35	0,08	-0,24	-0,12	-0,19	0,18
N	0,03	1,00	0,23	0,03	-0,13	0,09	0,61	-0,04	-0,08	0,03	-0,19	-0,01	0,11	0,43	-0,07	0,53	-0,34	-0,59	-0,30	0,62
P	-0,14	0,23	1,00	0,26	-0,04	0,41	0,53	-0,24	0,12	-0,15	0,42	0,03	-0,22	0,21	0,03	0,54	-0,16	-0,56	-0,05	0,51
K	-0,16	0,03	0,26	1,00	-0,09	0,18	-0,08	0,07	0,34	-0,11	0,19	0,21	-0,14	-0,14	0,24	0,02	0,76	-0,13	0,20	-0,11
Ca	-0,07	-0,13	-0,04	-0,09	1,00	0,23	-0,03	0,19	-0,15	0,17	0,21	-0,37	-0,04	0,33	-0,02	0,32	-0,27	0,47	-0,03	-0,27
Mg	-0,11	0,09	0,41	0,18	0,23	1,00	0,20	0,14	0,18	0,04	0,17	-0,11	0,00	0,06	-0,06	0,43	-0,13	-0,29	0,69	0,08
Al	0,13	0,61	0,53	-0,08	-0,03	0,20	1,00	-0,23	0,04	0,06	0,00	-0,18	-0,08	0,43	-0,27	0,91	-0,60	-0,84	-0,49	0,95
Na	0,13	-0,04	-0,24	0,07	0,19	0,14	-0,23	1,00	-0,26	-0,02	-0,20	0,23	-0,02	0,01	-0,17	-0,08	0,13	0,20	0,26	-0,35
Zn	-0,05	-0,08	0,12	0,34	-0,15	0,18	0,04	-0,26	1,00	-0,28	0,00	0,28	-0,14	-0,19	-0,01	0,04	0,28	-0,15	0,16	0,04
Cu	0,24	0,03	-0,15	-0,11	0,17	0,04	0,06	-0,02	-0,28	1,00	-0,14	-0,28	-0,06	-0,04	0,23	0,10	-0,17	0,06	-0,09	0,02
Fe	-0,18	-0,19	0,42	0,19	0,21	0,17	0,00	-0,20	0,00	-0,14	1,00	-0,09	-0,33	-0,06	0,08	0,10	0,08	0,08	0,03	-0,05
Mn	-0,27	-0,01	0,03	0,21	-0,37	-0,11	-0,18	0,23	0,28	-0,28	-0,09	1,00	-0,22	-0,15	0,03	-0,27	0,40	-0,04	0,11	-0,12
S	0,12	0,11	-0,22	-0,14	-0,04	0,00	-0,08	-0,02	-0,14	-0,06	-0,33	-0,22	1,00	-0,06	0,11	-0,10	-0,09	0,03	0,09	-0,03
B	-0,10	0,43	0,21	-0,14	0,33	0,06	0,43	0,01	-0,19	-0,04	-0,06	-0,15	-0,06	1,00	-0,18	0,49	-0,43	-0,17	-0,32	0,33
Rendimiento	-0,35	-0,07	0,03	0,24	-0,02	-0,06	-0,27	-0,17	-0,01	0,23	0,08	0,03	0,11	-0,18	1,00	-0,25	0,26	0,22	0,07	-0,23
CICE	0,08	0,53	0,54	0,02	0,32	0,43	0,91	-0,08	0,04	0,10	0,10	-0,27	-0,10	0,49	-0,25	1,00	-0,58	-0,67	-0,32	0,77
% Sat. K	-0,24	-0,34	-0,16	0,76	-0,27	-0,13	-0,60	0,13	0,28	-0,17	0,08	0,40	-0,09	-0,43	0,26	-0,58	1,00	0,30	0,35	-0,57
% Sat. Ca	-0,12	-0,59	-0,56	-0,13	0,47	-0,29	-0,84	0,20	-0,15	0,06	0,08	-0,04	0,03	-0,17	0,22	-0,67	0,30	1,00	0,20	-0,91
% Sat. Mg	-0,19	-0,30	-0,05	0,20	-0,03	0,69	-0,49	0,26	0,16	-0,09	0,03	0,11	0,09	-0,32	0,07	-0,32	0,35	0,20	1,00	-0,52
% Sat. Al	0,18	0,62	0,51	-0,11	-0,27	0,08	0,95	-0,35	0,04	0,02	-0,05	-0,12	-0,03	0,33	-0,23	0,77	-0,57	-0,91	-0,52	1,00

H. Anexo: Correlación lineal entre las propiedades químicas en tejido foliar y el rendimiento de fruta fresca de palma.

Grupo 1 para resultados de análisis foliares

	N	P	K	Ca	Mg	Al	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	S	B	Rendimiento
N	1,00	-0,22	-0,01	0,09	-0,13	0,18	-0,10	-0,09	-0,06	-0,16	-0,06	0,19	0,15	0,05
P	-0,22	1,00	-0,07	-0,29	0,40	0,15	-0,24	0,33	-0,23	0,10	-0,17	0,36	0,03	0,17
K	-0,01	-0,07	1,00	0,08	0,02	-0,16	0,16	-0,19	0,11	-0,08	0,14	-0,36	0,02	-0,46
Ca	0,09	-0,29	0,08	1,00	0,08	-0,20	-0,11	-0,18	-0,05	-0,24	0,45	0,03	0,14	-0,14
Mg	-0,13	0,40	0,02	0,08	1,00	-0,11	0,10	0,00	0,02	-0,22	0,11	0,12	0,20	-0,05
Cl	0,18	0,15	-0,16	-0,20	-0,11	1,00	-0,19	0,07	-0,15	0,17	-0,08	0,11	0,15	0,32
Na	-0,10	-0,24	0,16	-0,11	0,10	-0,19	1,00	0,02	0,21	0,01	-0,02	-0,28	-0,42	0,01
Zn	-0,09	0,33	-0,19	-0,18	0,00	0,07	0,02	1,00	-0,32	0,47	-0,22	0,52	-0,17	0,42
Cu	-0,06	-0,23	0,11	-0,05	0,02	-0,15	0,21	-0,32	1,00	-0,14	0,06	-0,34	0,01	-0,23
Fe	-0,16	0,10	-0,08	-0,24	-0,22	0,17	0,01	0,47	-0,14	1,00	-0,16	0,05	-0,18	0,26
Mn	-0,06	-0,17	0,14	0,45	0,11	-0,08	-0,02	-0,22	0,06	-0,16	1,00	-0,14	0,18	-0,13
S	0,19	0,36	-0,36	0,03	0,12	0,11	-0,28	0,52	-0,34	0,05	-0,14	1,00	0,19	0,43
B	0,15	0,03	0,02	0,14	0,20	0,15	-0,42	-0,17	0,01	-0,18	0,18	0,19	1,00	-0,15
Rendimiento	0,05	0,17	-0,46	-0,14	-0,05	0,32	0,01	0,42	-0,23	0,26	-0,13	0,43	-0,15	1,00

Grupo 2 para resultados de análisis foliares

	N	P	K	Ca	Mg	Cl	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	S	B	Rendimiento
N	1,00	-0,07	-0,08	0,15	0,26	-0,17	0,28	-0,65	-0,02	-0,02	-0,03	0,02	0,07	-0,35
P	-0,07	1,00	-0,09	-0,41	0,31	-0,07	-0,14	0,24	0,34	-0,22	-0,12	0,17	0,57	0,21
K	-0,08	-0,09	1,00	-0,04	-0,23	-0,13	-0,14	0,29	-0,20	-0,08	-0,43	0,19	0,30	0,16
Ca	0,15	-0,41	-0,04	1,00	-0,09	-0,04	-0,11	-0,19	-0,35	0,21	-0,14	0,45	-0,45	-0,21
Mg	0,26	0,31	-0,23	-0,09	1,00	0,47	-0,02	-0,42	0,53	-0,10	0,25	-0,25	0,26	0,01
Cl	-0,17	-0,07	-0,13	-0,04	0,47	1,00	0,13	0,14	0,23	-0,40	0,54	-0,27	-0,02	0,10
Na	0,28	-0,14	-0,14	-0,11	-0,02	0,13	1,00	-0,32	-0,12	-0,40	-0,01	-0,07	-0,15	-0,48
Zn	-0,65	0,24	0,29	-0,19	-0,42	0,14	-0,32	1,00	-0,05	-0,23	0,06	0,23	0,02	0,57
Cu	-0,02	0,34	-0,20	-0,35	0,53	0,23	-0,12	-0,05	1,00	-0,10	0,49	-0,39	0,62	-0,05
Fe	-0,02	-0,22	-0,08	0,21	-0,10	-0,40	-0,40	-0,23	-0,10	1,00	-0,09	0,06	-0,15	0,09
Mn	-0,03	-0,12	-0,43	-0,14	0,25	0,54	-0,01	0,06	0,49	-0,09	1,00	-0,45	-0,07	0,02
S	0,02	0,17	0,19	0,45	-0,25	-0,27	-0,07	0,23	-0,39	0,06	-0,45	1,00	-0,11	0,20
B	0,07	0,57	0,30	-0,45	0,26	-0,02	-0,15	0,02	0,62	-0,15	-0,07	-0,11	1,00	-0,13
Rendimiento	-0,35	0,21	0,16	-0,21	0,01	0,10	-0,48	0,57	-0,05	0,09	0,02	0,20	-0,13	1,00

Grupo 3 para resultados de análisis foliares

	N	P	K	Ca	Mg	Cl	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	S	B	Rendimiento
N	1,00	0,29	-0,12	0,22	-0,20	-0,04	0,01	0,24	-0,33	0,05	-0,39	0,32	0,06	0,37
P	0,29	1,00	-0,19	0,48	-0,32	0,11	0,06	0,08	-0,34	-0,37	-0,35	-0,32	0,54	-0,27
K	-0,12	-0,19	1,00	0,08	0,31	0,01	0,17	0,05	0,18	0,10	-0,17	0,34	-0,28	0,15
Ca	0,22	0,48	0,08	1,00	0,09	-0,11	0,48	-0,01	-0,35	0,01	-0,53	-0,06	0,12	0,00
Mg	-0,20	-0,32	0,31	0,09	1,00	0,02	0,33	-0,34	-0,06	0,23	-0,07	-0,11	-0,02	-0,11
Cl	-0,04	0,11	0,01	-0,11	0,02	1,00	0,06	0,03	0,07	-0,15	0,23	-0,15	0,08	-0,16
Na	0,01	0,06	0,17	0,48	0,33	0,06	1,00	-0,28	-0,08	0,08	-0,14	-0,01	0,09	-0,08
Zn	0,24	0,08	0,05	-0,01	-0,34	0,03	-0,28	1,00	-0,25	0,16	-0,53	0,36	-0,33	0,30
Cu	-0,33	-0,34	0,18	-0,35	-0,06	0,07	-0,08	-0,25	1,00	0,05	0,38	0,19	-0,12	0,06
Fe	0,05	-0,37	0,10	0,01	0,23	-0,15	0,08	0,16	0,05	1,00	-0,25	0,43	-0,52	0,21
Mn	-0,39	-0,35	-0,17	-0,53	-0,07	0,23	-0,14	-0,53	0,38	-0,25	1,00	-0,20	0,06	-0,28
S	0,32	-0,32	0,34	-0,06	-0,11	-0,15	-0,01	0,36	0,19	0,43	-0,20	1,00	-0,25	0,13
B	0,06	0,54	-0,28	0,12	-0,02	0,08	0,09	-0,33	-0,12	-0,52	0,06	-0,25	1,00	-0,42
Rendimiento	0,37	-0,27	0,15	0,00	-0,11	-0,16	-0,08	0,30	0,06	0,21	-0,28	0,13	-0,42	1,00

Bibliografía

1. **Alfonso, O.; Castiblanco, J.** 2013. Análisis comparativo de costos para la aplicación de fertilizantes en palma de aceite. Revista Palmas, Vol. 34, No. 1, p. 31-37.

2. **Álvarez, V. y Leite, R.A.**1992. Fundamentos estadísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices dos nutrientes no sistema integrado de diagnose e recomendação - DRIS. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do solo e Nutrição de plantas,20, Piracicaba. Anais ...Piracicaba: 1992, p.186-188.

3. **Amaro Filho, J.; Negreiros, R. D.; Assis Júnior, R. N. D. y Mota, J. C. A.** 2007. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho em Mossoró, RN. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*,*31*(3), 415-422.

4. **Amberger, A**. 2006. *Soil fertility and plant nutrition in the tropics and subtropics*. IFA, International Fertilizer Industry Association.

5. **Arias, N y Munévar, F**. 2004. Caracterización de la fertilidad de los suelos de la zona central palmera de Colombia. Revista Palmas, Vol. 25, No. Especial, Tomo III, p137-147.

6. **Bailey, J.S.; Beattie, J.A. M. y Kilpatrick D.J**.1997.The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grass lands wards: I. Model establishment. Plant and Soil, v.197, p.127-135.

7. **Baldock, J.O.; Schulte, E.E**. 1996. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. Agronomy Journal , v.88, n.3, p.448-456.

8. **Barbar, L.C. y Melo, V.F**. 2008. Variabilidade das características químicas e mineralógicas de solos da região metropolitana de Curitiba (PR). Scientia Agraria, 9:187-197.

9. **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.

10. **Bangroo S.A.; Bhat, M.I.; Tahir Ali, Aziz M.A.; M.A. Bhat. y Mushtaq A**. 2010. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) – A Review. International Journal of Current Research, Vol. 10, pp.084-097.

11. **Beaufils, E.R**. 1973. Diagnosis and recommendation Integrated system (DRIS). A. generalschemeforexperimentationandcalibrationbasedonprinciplesdevelopedfromresearchinplantnutrition.SoilSci.Bull., v.1, p.132.

12. **Bernardi, A.C.C.; Carmo, C.A.F.S.; Machado, P.L.O.; Silva, C.A., Valencia, L.I.O. y Meirelles, M.S**.2002.Variabilidade espacial de teores de nutrientes emfolhas de soja como ferramenta para agricultura de precisão. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 5p.

13. **Berthelsen, S.; Nelson, P. y van Rees, H.** 2009. project Overcoming magnesium deficiency in oil palm crops on volcanic ash soils of Papua New Guinea.

14. **Bockheim, J.G.; Gennadiyev, A.N; Hartemink, A.E. y Brevik E.C**. 2014. Soil-forming factors and Soil Taxonomy Geoderma, Volume 226-227, Issue null, Pages 231-237.

15. **Broschat, T. K**. 2007. Boron deficiency symptoms in palms. *Palms*, *51*(3), 115-126.

16. **Brunet, J.** 1994. Interacting effects of pH, aluminium and base cations on growth and mineral composition of the woodland grasses Bromus benekenii and Hordelymus europaeus. *Plant and soil*, *161*(2), 157-166.

17. **Burbano, H.** 1998. Interacciones de la materia orgánica y los elementos menores. Pp.31-46. En: Silva, M. (ed). Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. SCCS. Comité regional del Valle del Cauca. Prolabo Ltda. Santafé de Bogotá D.C. 196p.

18. **Carter, M. R**. 1993. *Soil sampling and methods of analysis*. CRC Press.

19. **Cantaruti, R.; Barros, N.; Prieto, H. y Novais, R**. 2007. Avañiacao da fertilidade do solo e recomendacao de fertilizantes. Fertilidade do Solo. Sociedade Brasilera de Ciencia do Solo. 1016 p.

20. **Caldwell, J. O. N.; Sumner, M. E. y Vavrina, C. S**. 1994. Development and testing of preliminary foliar DRIS norms for onions. *HortScience*, *29*(12), 1501-1504.

21. **Caliman, J.;Dubos, B.; Tailliez, B.; Robin, P.; Bonneau, X. y De Barros, I**.2004.Manejo de nutricional mineral en Palma de aceite: Situación actual y perspectivas.Revista Palmas, v.25, n.1,p 41-60.

22. **Calvache, M. y López, M.** 2000. Evaluación de la eficiencia de la fertilización potásica en el cultivo de palma africana utilizando 85Rb como trazador. *Informaciones Agronómicas Ecuador.* (38), 8-10.

23. **Camacho-Tamayo, J.H; Luengas, C.A. y Leiva, F.R.** 2008. Effect of agricultural intervention on the spatial variability of some soils chemical properties in the eastern plains of Colombia. Chilean J. Agric. Res. 68(1), 42-55.

24. **Castamann, A.; Escosteguy, P. A. V.; Berres, D.; Zanella, S**. 2012. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) of soybean seed oil content. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, *36*(6), 1820-1827.

25. **Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Novak, J.M.; Parkin, T.B.; Karlen, D.L.; Turco, R.F. y Konopka, A.E.** 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America journal, USA, v.58, n.5, p.1501-1511, Sept/Oct.

26. **Casierra, F.; Aguilar, O.** 2007. Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Revista colombiana de ciencias hortícolas, Bogotá, Colombia, v.1, n.2, p.246-257.

27. **Castro, H. F.; M.I. Gómez**, 2010. Capitulo IV Principios Básicos. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Sociedad Colombiana de las Ciencias de Suelo. Primera Edición. Editora Guadalupe S.A. Bogotá D.C. 594p.

28. **Chacón, E.** 2012. *Obtención de la norma de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) para el cultivo de caucho (Hevea brasiliensis) en la Altillanura Colombiana*. Tesis de Maestria. Facultad de Agronomia. Universidad Nacional de Colombia.

29. **Comte, I.; Colin, F.;Whalen, J. K.; Grünberger, O. y Caliman, J. P**. 2012. Agricultural Practices in Oil Palm Plantations and Their Impact on Hydrological Changes, Nutrient Fluxes and Water Quality in Indonesia: A Review. *Advances in Agronomy*, *116*, 71.

30. **Cornforth, I. S. y Steele, K. W.** 1981. Interpretation of maize leaf analyses in New Zealand. *New Zealand journal of experimental agriculture*, *9*(1), 91-96.

31. **Cravo, M. S.** 1985. Efeitos da interação fósforo x enxofre sobre a produção de matéria seca e sobre os níveis críticos de P e S no solo e em plantas de soja (Glycine max L.), em solos com e sem calagem.Revista Ceres, Viçosa, v. 32, n.179, p. 12-30.

32. **Cristancho, J.;Hanafi, M. M.;Omar, S. S. y Rafii, Y. M.** 2009. Chemical characteristics of representative high aluminium saturation soil as affected by addition of soil amendments in a closed incubation system.*Malaysian Journal of Soil Science*, *13*, 13-28.

33. **Daniels, M., Delaune, P., Moore, P., Mauromow-Takos, A., Chapman S. y Langston. J. 2001**. Soil phosphorous variability in pastures: Implicarion for sampling and environmental management strategies. J. Environ. Qual. 30: 2157-2165

34. **da Silva, J. T. A., y de Carvalho, J. G**. 2005. Avaliação nutricional de Bananeira PRATA ANÃ (AAB), sob irrigação no semi-árido do Norte de Minas Gerais, pelo método DRIS. *Ciênc. agrotec.*, *29*(4).

35. **Da Silva, I.; Mendoca, E.; Novais, R.; Alvarez V, V. H. y Barros, N.** 2007. Fatores que influenciam o crescimento eo desenvolvimento das plantas.*Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, *1*, 65-90.

36. **De Araujo, J**. 2010. Avaliação do estado nutricional da mangueira tommy atkins irrigada no vale do açuem diferentes épocas de amostragem foliar. Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

37. **de Carvalho, A. J. C., Fontes, P. S. F., Freitas, M. S. M., Monnerat, P. H., & Fontes, A. G**. 2011. Yellow passion fruit plant nutritional diagnosis at different phenological stages by the diagnosis and recommendation integrated system method. *Journal of Plant Nutrition*, *34*(4), 614-626.

38. **Dechen, A.R. y Nachtigall, G.R**. 2007. DRIS norms for evaluating the nutritional state of apple tree. sci. agric., 64:282- 287.

39. **Demey, J.R.; Adams, M. y Freites, H**. 1994. Uso del método de análisis de componentes principales para la caracterización de fincas agropecuarias. Agronomía Trop. 44(3): 475-497.

40. **De Salvo, J. G**. 2001. *Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional de plantas cítricas afetadas pela clorose variegada dos citros*. Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo.

41. **De Souza, H. A.; Rozane, D. E.; De Amorim, D. A. y Natale, W**. 2013. Normas preliminares dris e faixas de suficiência para goiabeira 'paluma'. *Embrapa Caprinos e Ovinos-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.

42. **Devau, N.; Hinsinger, P.; Le Cadre, E.; Colomb, B. y Gérard, F.** 2011. Fertilization and pH effects on processes and mechanisms controlling dissolved inorganic phosphorus in soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,*75*(10), 2980-2996.

43. **Díaz, L. y Morales M**. 2012. Análisis estadístico de datos Multivariantes. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Primera edición. 635 p.

44. **Echart, C.L.; Cavalli-Molina, S.** 2001. Fitotoxidade do aluminio: Efeitos, mecanismo de tolerancia e seu controle genético. Ciencia Rural Santa María, v.31, n.3, p.531-541.

45. **Escano, C.R.; Jones, C.A.; Uehara, G**. 1981. Nutrient diagnosis in corn grown on Hidric Dystrandepts: I. Optimum tissue nutrientconcentrations. Soil Science Society America Journal,Madison, v.45, p.1135-1143.

46. **Epstein, E.; A.J. Bloom**. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA.

47. **Espinosa. J. y Molina, E.** 1999. Acidez y encalado de los suelos. Instituto de la Potasa y el Fósforo, Quito. 37 p.

48. **Fairhurst, T. y Härdter, R**. 2003. Oil palm: management for large and sustainable yields. Singapure: PPI/PPIC and IPI, 2003. 384 p.

49. **Franco, H.J**. 2007. Determinación de normas de diagnóstico nutricional para el cultivo de rosa de corte en Colombia. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá

50. **Fedepalma**. 2007. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia. En http://www.fedepalma.org/documen/2007/agroindustria_palma.pdf. 30-08-10.

51. **FEDEPALMA**. 2010. Anuario estadístico 2010. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo 2005-2010. Bogotá. Colombia. 161 pp.

52. **FEDEPALMA**. 2013. Anuario estadístico 2010. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo 2005-2010. Bogotá. Colombia. 161 pp.

53. **Ferraris G.** 2013. Micronutrientes en cultivos extensivos. ¿Necesidad actual o tecnología para el futuro? Desarrollo rural INTA EEA Pergamino, Buenos Aires.19 p.

54. **Frogbrook, K.; Oliver, M.; Salahi M. y Ellis. R.** 2002 Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and yhe implications for sampling. Soil Use and Management. 18: 1-9.

55. **Funakawa, S; Yanai, J.; Hayashi, Y.; Hayashi, T.; Noichana, C.; Panitkasate, T.; Katawatin, R. y Nawata, E.** 2005. Management of tropical sandy soils for sustainable agriculture a holistic approach for sustainable development of problem soils in the tropics. In: symposium on the management of tropical sandy soils, 1.Thailand.

56. **Garófalo, J.; A. Ferhman; R. Regalado y C. Balerdi.** 2003. La “copa encrespada en palmas” y la deficiencia de manganeso. Servicio de extensión del condado de Miami-Dade. University of Florida. Hoja informativa No 89. 1-6.

57. **Garza, S. J. G. V**. 2000. Establecimiento de normas DRIS y diagnostico nutricional para el cultivo de papa en Coahuila y Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. Tesis de Maestría.

58. **Garzón Gutiérrez, C. A.; Cortés, C. A. y Camacho-Tamayo, J. H.** 2010. Variabilidad espacial de algunas propiedades químicas en un Entisol. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, *13*(1), 87-95.

59. **Garzón, M.; Fino, W.; Múnevar, F**. 2005. Diversidad de suelos en la región palmera de Puerto Wilches y San Vicente de Chucurí, departamento de Santander (Colombia). Revista palmas. Vol.26. No 4. Bogotá Colombia. 23 pp.

60. **Galindo, T; Romero, H**. 2010. Microbiología del suelo cultivado con palma de aceite en Colombia. Revista Palmas, Vol. 31, No. 2, p. 47.

61. **Gao, Y.; Gao, J. y Chen, J.** 2011. Spatial Variation of Surface Soil Available Phosphorous and Its Relation with Environmental Factors in the Chaohu Lake Watershed. *International journal of environmental research and public health*,*8*(8), 3299-3317.

62. **Gómez, M**. 2006. Manual técnico de fertilización de cultivos. MICROFERTISA S.A. Produmedios. Bogotá. 115 p.

63. **González, M. Y. y Romero, H. M.** 2010. Evaluación de diferentes fuentes de potasio para reducir el doblamiento foliar en palma de aceite. *Revista Palmas*,*31*(3), 17-25.

64. **Gransee, A. y Führs, H.** 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil*, *368*(1-2), 5-21.

65. **Guzmán, M.; Betancourt, J**. 2007. Efecto de las aplicaciones fraccionadas del fertilizante compuesto sobre la producción y niveles nutricionales de la palma de aceite en la plantación Palmas del Casanare. *Revista Palmas*, Vol *28*. No especial, tomo I, 449-456.

66. **Guindani, R. H. P.;Anghinoni, I.;Nachtigall, G**. 2009. DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 2009, vol.33, n.1.pp. 109-118.

67. **Gutiérrez Boem, F.; G. Rubio.; Alvarez, R.** 2005. Diagnóstico de la disponibilidad de nutrientes. *En* R. Alvarez (Coord.). Fertilización de Cultivos de Granos y Pasturas. Diagnóstico y Recomendación en la Región Pampeana. Ed. Facultad de Agronomía (UBA). Buenos Aires, Argentina. pp.27-36.

68. **Gutiérrez-Soto, M. V. y Torres-Acuña, J**. 2013. Síntomas asociados a la deficiencia de boro en la palma aceitera (Elaeis guineensis JACQ.) en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, *24*(2), 441-449.

69. **Hundal, H. S.; Singh, D. y Singh, K**. 2007. Monitoring nutrient status of guava fruit trees in Punjab, northwest India through the diagnostic and recommendation integrated system approach. *Communications in soil science and plant analysis*, *38*(15-16), 2117-2130.

70. **Havlin, J.; Beaton, J.; Tisdale, S. y Nelson, W**. 2005. Soil Fertility and Fertilizers. Pearson Education Inc. Upper Saddle River, New Jersey, EE.UU. 7a. edición. 515p.

71. **Harger, N**. 2008. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em soja, definidas pelo uso do método dris, para solos de origem basáltica. Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina.

72. **Hasani, M.; Zamani, Z.; Savaghebi, G. y Fatahi, R.** 2012. Effects of zinc and manganese as foliar spray on pomegranate yield, fruit quality and leaf minerals. *Journal of soil science and plant nutrition*, *12*(3), 471-480.

73. **Instituto Geográfico Agustín Codazzi**. 1986. Estudio semi detallado de suelos de los municipios del sur del departamento del Cesar. Bogotá.

74. **Instituto Geográfico Agustín Codazzi**. 2003. Mapa de suelos de Co- lombia: memoria explicativa y mapa (escala 1:500.000). Instituto Geo- gráfico Agustín Codazzi. Bogotá.

75. **Instituto Geográfico Agustín Codazzi**.2006 Subdirección de Agrología. Métodos Analíticos del Laboratorio. 6˚ Edición. Bogotá D.C. 648, p.

76. **Instituto Geográfico Agustín Codazzi.** 2007. Manual de Campo para Levantamiento de Suelos y Tierras Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

77. **Jaramillo, D. F**. 2008, Variabilidad espacial de las propiedades químicas del epipedón de un Andisol hidromórfico del Oriente Antioqueño (Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 61(2): 4588-4599.

78. **Jaramillo, D. F**. 2012, variabilidad espacial del suelo: Bases para su estudio. Revista Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellin. Vol 1. No 1. 73 a 87 p.

79. **Jarrel, W.M. y Beverly, R.B.** 1981. The dilution effect in plant nutrition studies. Advances Agronomy , San Diego, v.34, p. 197-224.

80. **Johnson, R.; Downer, R.; Bradow, J.; Bouer, P. y Sadler, E.** 2002. Variability in cotton fiber yield, fiber quality and soil properties in southeastern Costal Plain. Agron. J. 94: 1305-1316.

81. **Junior, R.; dos Anjos, R. y Monnerat, P. H.** 2003. DRIS norms validation for sugarcane crop. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *38*(3), 379-385.

82. **Kass, D.** 1998. Fertilidad de suelos. *San José, CR*.

83. **Keong, Y. K. y Keng, W. M**. 2012. Statistical Modeling of Weather-based Yield Forecasting for Young Mature Oil Palm. *APCBEE Procedia*, *4*, 58-65.

84. **Keys to soil taxonomy**. 10 Th Ed. Estados Unidos: USDA, 2010. 332p.

85. **Kiang, K. K. y Goh, K. J.** 2007. Manejo integrado de la nutrición en la palma de aceite. *Revista Palmas*, *28*(especial, tomo 1), 394-411.

86. **Kihara, J. y Njoroge, S.** 2013. Phosphorus agronomic efficiency in maize-based cropping systems: A focus on western Kenya. Field Crops Research. Volume 150, 20 August 2013, Pages 1–8

87. **Kurihara, C.H**. 2004. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 101p.

88. **Kurihara, C.H.; Staut, L.A. y Maeda, S**. 2008. Faixas de suficiência de nutrientes em de soja, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, definidas pelo uso do método DRIS de diagnose do estado nutricional. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 30. Rio Verde, GO. Resumos... Londrina: Embrapa Soja, 2008. p.293-295 (Embrapa Soja. Documentos, 304).

89. **Kummer, L.; Melo, V.; Barros, Y. J., y Azevedo, J. C. R**. 2010. Uso da análise de componentes principais para agrupamento de amostras de solos com base na granulometria e em características químicas e mineralógicas. *Scientia Agraria*, *11*(6), 469-480.

90. **Lahav, E**. Banana nutrition. En: GOWEN, S. (Ed.) Bananas and plantains. London: Chapman& Hall, 1995. p.258-316.

91. **Lantmann, A.F.; Castro C de.; Sfredo, G.J.** 2002. Sistema DRIS para recomendação de adubação. In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 5. Guarapuava. Resumo de palestras, Guarapuava, 2002. p.72-79.

92. **Leiva, F. R**. 2003. La agricultura de precisión: una producción más sostenible y competitiva con visión futurista. En *Memorias VIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos*.

93. **Letzsch, W. S. y M. E. Sumner.** 1984. Effect of population size and yield level in selection of diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) norms. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 15: 997-1006.

94. **Li, B. Y.; Zhou, D. M.; Cang, L., Zhang, H. L.; Fan, X. H. y Qin, S. W.** 2007. Soil micronutrient availability to crops as affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. *Soil and Tillage Research*, *96*(1), 166-173.

95. **Liu, Z.; Zhou, W.; Shen, J.; He, P.; Lei, Q. y Liang, G**. 2014. A simple assessment on spatial variability of rice yield and selected soil chemical properties of paddy fields in South China. *Geoderma*, *235*, 39-47.

96. **Lopes, A.;Guimaraes, L.; Novais, R.; Alvarez V, V. H. y Barros, N.** 2007. Fertilidade do solo e productividade agrícola .*Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, *1*, 65-90.

97. **Lora, R.**, 2010. Capitulo II Principios Básicos. Propiedades Químicas del Suelo. Sociedad Colombiana de las Ciencias de Suelo. Primera Edición. Editora Guadalupe S.A. Bogotá D.C. 594p.

98. **Ludwig, J.A.; Reynolds, J.F**. 1998. Statistical Ecology: a primer on methods and computing. New York: John Wiley & Sons.

99. **Maia, C**. 1999. Crítica da fórmula original de Beaufils no cálculo dos índices DRIS: a constante de sensibilidade. In: WADT, P.G.S.; MALAVOLTA, E. (Org.). Monitoramento nutricional para a recomendação de adubação de culturas. Piracicaba: Potafos.

100. **Malavolta, E.; Vitti, G. C.; OLIVEIRA, S**. 1992. Evaluación del estado nutricional de las plantas. Principios y aplicaciones. *Boletín de PROMECAFE .Guatemala.*56 p

101. **Malavolta, E**.1980. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: CERES, 1980.245p.

102. **Manly, B**. 1986. Multivariate statistical methods. A primer. Chapman and Hall, London, 160 pp.

103. **Marschner, H**. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Ed. Academy Press, 2da. Ed. Cambridge. 889p.

104. **Martin-Prével, P**.1990.Past, present and future of tropical fruit nutrition with special reference to banana nutrition. Acta Horticulturae, Leuven, v.275, p. 523-34.

105. **Martínez, H.E.P.; Menezes, J.F.S.; Souza, R.B.; Alvarez V., V.H. y Guimarães, P.T.G.** 2003. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. Pesq. Agropec. Bras., 38:703-713.

106. **Martins, J.R. y Kaminski, J**. 1997. Estudo da interacao entre fosforo e enxofre em capim – coloniao (*Panicum maximun* Jacq. Cv K 249) cultivados em solos do Noreste de Parana. En: Congreso Brasilero de la Ciencia del Suelo., 26., Rio de Janeiro.

107. **Matus, F. J.; Maire, G. y Christian, R**. 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica*, *60*(2), 112-126.

108. **Melling, L.; Goh, K. J. y Hatano, R**. 2006. Short-term effect of urea on CH4 flux under the oil palm (Elaeis guineensis) on tropical peatland in Sarawak, Malaysia. *Soil science and plant nutrition*, *52*(6), 788-792.

109. **Menesatti, P.;Antonucci, F.; Pallottino, F.; Roccuzzo, G.; Allegra, M; Stagno, F. y Intrigliolo, F**. 2010 . Estimation of plant nutritional status by Vis–NIR spectrophotometric analysis on orange leaves (Citrus sinensis (L) Osbeck cv Tarocco]. *Biosystems engineering*, *105*(4), 448-454.

110. **Mengel, K. y Kirkby, E**. 2000.*Principles of plant nutrition*. Springer.

111. **Meurer, E. J.; Novais, R.; Alvarez V, V. H. y Barros, N.** 2007. Fatores que influenciam o crescimento eo desenvolvimento das plantas.*Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, *1*, 65-90.

112. **Mogollón, M**. 2012. Comportamiento espacial de la resistencia mecánica a la penetración y su relación con propiedades físicas del suelo en áreas con diferentes usos y ocupaciones en la Sabana de Bogotá. Tesis de Maestria. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ing. Civil y Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

113. **Molin, J.P**. 2000. Geração e interpretaçã o de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BORÉM,A., ed. Agricultura de precisão. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. p.237–257.

114. **Molin, J. P. y Castro, C. N. D**. 2008. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. *Scientia Agricola*, *65*(6), 567-573.

115. **Montezano, Z. F.; Corazza, E. J., y Muraoka, T**. 2006. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, *30*(05), 839-847.

116. **Mossor-Prietaszewska T**. 2001. Effect of aluminium on plant growth and metabolism. Acta Biochim Pol. 40 (3): 673–686.

117. **Mourão-filho, F.A.A**. 2004. DRIS: Concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. Scientia Agricola, v.61, n.5, p.550-560.

118. **Munévar; F**.2001. Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. Revista Palmas. Vol 22. No 4. 9-17.

119. **Munévar, M.F. y Franco, B.P**. 2002. Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite. Boletín técnico No 12.Cenipalma. Bogotá. 24p.

120. **Munévar, F.; Romero, A.; Cristancho, J. Á. y Arias, N. A**. 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.

121. **Muñoz, J. D.; Martínez, L. J. y Giraldo, R.** 2006. Variabilidad espacial de propiedades edáficas y su relación con el rendimiento en un cultivo de papa (Solanum tuberosum L.). *Agronomía Colombiana*, *24*(2), 355-366.

122. **Nayak, A. K.; Sharma, D. K.; Singh, C. S.; Mishra, V. K.; Singh, G. y Swarup, A**. 2011. Diagnosis and recommendation integrated system approach for nitrogen, phosphorus, potassium, and zinc foliar diagnostic norms for aonla in central Indo-gangetic plains. *Journal of Plant Nutrition*, *34*(4), 547-556.

123. **Nemon, N.; Nemon, K.S.; Hassan, Z**. 2005. Plant Analysis as a Diagnostic Tool for Evaluating Nutritional Requirements of Bananas. INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE & BIOLOGY. Vol. 7. No. 5.

124. **Neto, O. N. D. S. 2013**. Análise Multivariada Dos Atributos Físicos E Químicos De Um Cambissolo Cultivado Sob Práticas De Manejo Sustentável Da Caatinga. Tesis de Mestria. Programa De Pós-Graduação Em Ciências Do Solo Universidade Federal Rural Do Semi-Árido. Mossoró.

125. **Njukeng, J.N.; Ehabe, E.;Nkeng, G y Ewald Schnug**. 2013. Preliminary Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) Norms for Hevea brasiliensis Grown in the Humid Forest Zone of Cameroon. International Journal of Plant & Soil Science. 2(2): 230-243.

126. **Nolin, M. C.; Wang, C., y Caillier, M. J.** 1989. Fertility grouping of Montreal lowlands soil mapping units based on selected soil characteristics of the plow layer. *Canadian Journal of Soil Science*, *69*(3), 525-541.

127. **Novais, R. F. y Mello, J. D**. 2007. Relação solo-planta. *Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, *1*, 103-204.

128. **Obando, F.; A. Villegas; J. Betancur y Echeverri, L**. 2006, Variabilidad espacial de propiedades químicas y físicas en un Typic Udivitrands arenoso de la región andina central colombiana. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 59(1): 3217-3235.

129. **Obi, J. C. y Udoh, B. T.** 2012. Nutrient budget for optimal oil palm (Elaeis guineensis Jacq) yield on coastal plain sands soils of Akwa Ibom State Nigeria. *Open Journal of Soil Science*, *2*(03), 289.

130. **Oliveira, S. D. y Sousa, D**. 1993. Uso do DRIS Modificado na interpretação de análise de solo para soja no leste de Mato Grosso. In*Congresso Brasileiro de Ciência do Solo* (Vol. 24, pp. 83-84). Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

131. **Osorio, N; Casamitjana, M**. 2011.Toma de muestras de suelos para evaluar la fertilidad del suelo. Suelos Ecuatoriales. Sociedad Colombiana de las Ciencias del Suelo. Vol 41. No 1. 23-28 p.

132. **Ortega, R. y Flores, L**. 1999. Agricultura de precisión. Introducción al manejo sitio - específico. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI Quilamapu-Chile.

133. **Owen, B.; Eric, J.** 1993. Requerimiento de micronutrimentos para el cultivo de palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq). *Revista Palmas*, Vol *14*.No 4, 9-25.

134. **Panishkan, K.; Areekijseree, M.;Sanmanee, N., y Swangjang, K**. 2010. Soil Classification Based on their Chemical Composition Using Principal Component Analysis. *Environment Asia*, *3*(1), 47-52.

135. **Payne, G. G.; Rechcigl, J. E. y Stephenson, R. L.** 1990. Development of diagnosis and recommendation integrated system norms for bahiagrass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 930-934.

136. **Paramananthan, S**. 2003 Land Selection for Oil Palm. In: Fairhurst, T. and Hardter, R. (eds.) The Oil Palm. Management for Large and Sustainable Yields. Potash & Phosphate Institute, International Potash Institute, Singapore, pp.27-57.

137. **Partelli, F. L.;Vieira, H. D.;de Carvalho, V. B.; de Assis Alves Mourão Filho, F**. 2007. Diagnosis and recommendation integrated system norms, sufficiency range, and nutritional evaluation of Arabian coffee in two sampling periods.*Journal of plant nutrition*, *30*(10), 1651-1667.

138. **Peñaranda, M. y Navas, A.** 2005. Caracterización molecular y evaluación bioquímica de cultivares colombianos y germoplasma elite de maíz según contenido de aceite. *Agron. Colom*, *23*, 7-16.

139. **Pérez, W.** 2012. Aproximación proteómica del material IRHO 7001 de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq en condiciones de déficit hídrico. Universidad Nacional e Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Sede Bogotá. Tesis de Maestría.

140. **Pierpaoli, E.; Carli, G.; Pignatti, E. y Canavari, M**. 2013. Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review. *Procedia Technology*,*8*, 61-69.

141. **Philippeau, G**. Como interpretar los resultados de un análisis en componentes principales. Institut Techniques des Cereales et des fourrages. París-France. 1990, 63 p.

142. **Pinzón, A.** 2010. Edafología. Primera Edición. Bogotá. 293 p.

143. **Rafii, M.Y; Isa, Z.A., Kushairi, A.; Saleh, G.B. y Latif, M.A**. 2013. Variation in yeld components and vegetative traits in Malasyan oil palm dura x pisifera hybrids under various planting densities.Industrial Crops and Products. Vol 46. P. 147-157.

144. **Rahman, Z. A.** 2010. El papel del fósforo en el desarrollo sostenible de la palma de aceite (Elaeis Guineensis, Jacq.): producción en suelos tropicales. *Revista Palmas*, *31*(especial, tomo 1), 205-218.

145. **Raij, VAN B.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M.** 1997 Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico/ Fudação IAC. Bol. Téc. 100. 285p.

146. **Rankine, I.R. y T.H. Fairhurst.** 1999. Field Handbook: Oil Palm Series Volume 1-Nursery. (Oil Palm Series), Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and 4T Consultants (4T), Singapore, 135 p

147. **Ranking, I. y T. Fairhurst** 2004. Guía de campo. Serie en palma aceitera. Primera edición en español. Campotex. Vol. 3, Fase Madura

148. **Reis Junior, R.A.; Corrêa, J.B.; Carvalho, J.G.;Guimarães, P.T.G.** 2002. Diagnose nutricional de cafeeiros da região sul de Minas Gerais: normas DRIS e teores foliares adequados. Revista Brasileira de Ciência Solo, v.26, n.3, p.801-808.

149. **Reis Junior, R. dos A.; Monnerat, P.H**. 2002.Sugarcane nutritional diagnosis with DRIS norms established in Brazil, South Africa, and the United States. **Journal of Plant Nutrition**, v.25, p.2831-2851.

150. **Resende, A. V.**2008 Diagnose foliar em soja. In: PRADO, R. de M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W. do; CORREIA, M. A. R.; SOUZA, H. A. de (Ed.). Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas. Jaboticabal: UNESP, p. 221-240.

151. **Rey, J. C. y Ovalles, F**. 2000. Efecto de técnicas exploratorias de los datos en estimaciones Kriging de propiedades del suelo. *Agronomía Tropical*, *51*, 81-106.

152. **Ribeiro, G. 2008**.Avaliação de metodologias na diagnose nutricional do melão cantaloupe irrigado nachapada do apodi-rn. Dissertação apresentada à Universida de Federal Rural do Semi–Árido, como parte dasexigências para obtenção do título de Mestreem Irrigação e Drenagem.

153. **Rincón, Á. H.; Garzón, E. M. y Cristancho Rodríguez, J. Á**. 2012. Contenidos de nutrimentos en diferentes estructuras de palmas híbridas O× G bajo condiciones comerciales de viveros. *Revista Palmas*. Vol 33. No 1. 11-21.

154. **Roberts, T. L. y Henry, J. L. 2000**. El muestreo de suelos: los beneficios de un buen trabajo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur. INPOFOS*, *8*, 7-10.

155. **Rodríguez, O. y Rodríguez, V**. 2000. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. Rev. Fac. Agrono. (LUZ). 17: 449-470.

156. **Romero, H; Ayala, I; Romero, R**. 2007. Ecofisiologia de la palma de aceite. Revista Palmas, Vol. 28, No. Especial, Tomo I, p. 176-184.

157. **Romero, H; Forero, D. y Hormanza, P**. 2012. Estadios fenológicos de crecimiento de palma de aceite africana (Elaeis guineensis). Revista Palmas, Vol. 33, No. 1, p. 23-34.

158. **Ross, M**. 2004. Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. *Revista Palmas*. Vol *25.* No especial, tomo II, 98-104.

159. **Ruíz-Bello, A. y Cajuste, L. J**. 2002. Controlling fertilizer applications through plant analysis. *Communications in soil science and plant analysis*, *33*(15-18), 2793-2802.

160. **Santana, J. das G.; Leandro, W.M.; Naves, R.V. y Cunha, P.P. da**. 2008. Normas DRIS para interpretação de análises de folha e solo, em laranjeira pêra, na região central de Goiás. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.38, p.109-117.

161. **Santacruz, L.; J.A. Cristancho. y F. Munévar**. 2004. Variación temporal de los niveles foliares de nutrientes y su relación con la fertilización, la lluvia y el rendimiento de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jack.) en la plantación Guaicaramo (Meta, Colombia). Revista Palmas. Vol 25 .No Especial, Tomo III.160-169

162. **Schumann, A**. 2009. Potential use of DRIS for leaf nutrient diagnosis in Florida citrus. Citrus industry.

163. **Serra, A.P.; Marchetti, M.E.; Rojas, E.P. y Vitorino, A.C.T**. 2012. Beaufils ranges to assess the cotton nutrient status in the southern region of Mato Grosso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, n.1, p. 171-182.

164. **Serra, A.P.; Marchetti, M.E.; Vitorino, A.C.T.; Novelino, J.O. y Camacho, M.A**. 2010. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.34, n.1, p.97-104.

165. **Sharma, J.;Shikhamany, S. D.;Singh, R. K., y Raghupathi, H. B**. 2005. Diagnosis of nutrient imbalance in Thompson Seedless grape grafted on Dog Ridge rootstock by DRIS. *Communications in soil science and plant analysis*,*36*(19-20), 2823-2838.

166. **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.

167. **Silva, F.M.; Menezes, Z.; Pereira, C.A.; Vieira, L.H. y Oliveira, E**. 2008. Spatial variability of chemical attributes and coffee productivity in two harvests. Ciência Agrotecnica, Lavras, v.32, n.1, p.231-241.

168. **Silveira, C.P.; Nachtigall, G.R. y Monteiro, F.A**. 2005. Norms for the diagnosis and recommendation integrated system for signal grass. sci. agric., 62:513-519.

169. **Sposito, G**. 2008. *The chemistry of soils*. Oxford university press.

170. **Stichnothe, H. y Schuchardt, F**. 2010. Comparison of different treatment options for palm oil production waste on a life cycle basis. Int J Life Cycle Assess 15: 907–915.

171. **Sousa, D. D.; Miranda, L. D. y Oliveira, S. D.** 2007. Acidez do solo e sua correção *. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, *1*, 205-275.

172. **Subiros, J. y Salas, R.** 1999. Obtenncion e la normas DRIS en una zona productora de caña de azúcar en Guanacaste, Costa Rica. Agronomía Costarricense 23(2): 137-147.

173. **Supena, N.** 2014. Response of Oil Palm Varieties to Aluminium Stress.*Journal of Tropical Life Science*, *4*(1), 51-60.

174. **Taiz, L.; Zeiger, E**. 2006. *Fisiologia vegetal* (Vol. 10). Universitat Jaume I.

175. **Texeira, L.A.; Zambrosi, F.C. y Bettiol neto, J.E**. 2007. Avaliação do estado nutricional de bananeiras do subgrupo Cavendish no estado de são paulo: normas DRIS e níveis críticos de nutrientes. Revista Brasileira Fruticulturae Jaboticabal, v.29, n.3, p.613-620.

176. **Urricariet, S.; Lavado, R. S y Martín, L**. 2004. Corn response to fertilization and SR, DRIS, and PASS interpretation of leaf and grain analysis.*Communications in soil science and plant analysis*, *35*(3-4), 413-425.

177. **Uexküll, H. R. y Fairhurst, T. H**. 1999. Some nutritional disorders in oil palm. *Better Crops International*, *13*(1), 17.

178. **Vargas, I,; Calderon, L y Trujillo, M**. 2009. Efecto de las deficiencias de algunos nutrientes en plantas de lulo (Solanum quitoense var. quitoense) en etapa de vivero.

179. **Vásquez, J. R.; García, D. B. y Flores, J. C. M**. 2010. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). *Acta Agronómica*, *59*(4), 449-456.

180. **Vieira, S R.; Guedes Filho, O.; Chiba, M., Mellis, E.; Dechen, S F. y De Maria, I**. 2010. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um latossolo vermelho. Revista Brasilera de la Ciencia den Suelo. 34:1503-1514.

181. **Villardón, J. L. V.** 2007. Introducción al análisis de clúster. Departamento de Estadistica. Universidad de Salamanca.

182. **Vitti, G.C.; Lima, E. y Cicarone, F**. 2006. Cálcio, magnésio e enxofre. In: MANLIO, S.F. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.299-325.

183. **Wadt, P.G.S**.1996. Os métodos da chance matemática e do Sistema, Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto.2006. 123f Tese (Doutoradoem Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

184. **Wadt, P.G.S.** 2005. Relationships between soil class and nutritional status of coffee crops. R. Bras. Ci. Solo, 29:227-234.

185. **Wadt, P.G.S.; Novais, R.F.; Alvarez, V.H.; Fonseca, S. y Barros, N.F.** 1998. Valores de referência para macronu- trientes em eucalipto obtidos pelos métodos dris e chance matemática. R. Bras. ci. solo, 22:685-692.

186. **Walworh, J.L.; Sumner, M.E**.1987 The diagnosis and recommendation integrated systemIn: STEWART, B.A. Advances in soil scice. New York: Springer-Verlag. p. 150-188.

187. **Walworth, J. L.; Sumner, M. E.; Isaac, R. A. y Plank, C. O**. 1986. Preliminary DRIS norms for alfalfa in the Southeastern United States and a comparison with the Midwest norms. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, p. 1046-1052.

188. **Wanasuria, S.; Setyobudi, H.; Mayun, I. B. y Suprihatno, B.** 1999. Iron deficiency of oil palm in Sumatra. *Better Crops International*, *13*(1), 33.

189. **Warrick, A. W. y Nielsen, D. R.** 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.) Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

190. **Witt, C.; Fairhust, H. y Griffiths, W.** 2006. Necesidad de incrementar la rentabilidad en plantaciones de palma de aceite: correlación entre principios de manejo de cultivo y nutrientes, con estrategias evolutivas. *Revista Palmas*,*27*(3), 47-67.

191. **Wollenhaupt, N.C.; Wolkowski, R.P. y Clayton, M.K**. 1994.Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. Journal of Production Agriculture, 7:441-448.

192. **Webster, R. 2008**, Chapter 1. Soil science and geostatistics. In: Soil geography and geostatistics. Krasilnikov, En variabilidad espacial del suelo: Bases para su estudio. Revista Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellin. Vol 1. No 1. 73 a 87 p.

193. **Webster, R. y Oliver, M. A.** 2001. Geostatistics for environmental Scientists. John Wiley, Chichester, England.

194. **Yepes, R**. 2014.Nutrición y fertilización con micronutrientes y su efecto en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq): Revisión. Tesis de Especialización. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.

195. **Youssef, R. A.; Abd El-Rheem Kh. M, y Nesreen H**. 2013. Establishment of DRIS Indices for Corn Plants Grown on Sandy Soil. Life Science Journal; 10(3).

196. **Zañao Júnior, L. A.; Lana, R. M. Q.; Guimarães, E. C. y de Araújo, J. M.** 2010. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em latossolos sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, *34*(2), 389-400.

197. **Zhang, N.; Wang, M. y Wang, N.** 2002. Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and electronics in agriculture*, *36*(2), 113-132.

198. **Zapata, R.D.** 2004. Química de la acidez del suelo. Universidad Nacional de Medellín. 179p.

199. **Zuñiga Cernades, L. B**. 2007. Caracterización y distribución espacial de suelos aluviales hidromórficos con palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) En palma del espino. Universidad Nacionala Agraria La Molina. Tesis de Maestria.