



**IMPLEMENTACIÓN DE LAS NORMAS  
DRIS EN EL CULTIVO DEL PLÁTANO  
(*Musa AAB Simmonds*) EN LAS REGIONES  
DE URABÁ Y SUROESTE ANTIOQUEÑO**

Roberto Antonio González Gordon



Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Medellín, Colombia

2017

**IMPLEMENTACIÓN DE LAS NORMAS *DRIS*  
EN EL CULTIVO DEL PLÁTANO (*Musa AAB*  
*Simmonds*) EN LAS REGIONES DE URABÁ Y  
SUROESTE ANTIOQUEÑO**

Roberto Antonio González Gordon

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Medellín, Colombia

2017

# **IMPLEMENTACIÓN DE LAS NORMAS *DRIS* EN EL CULTIVO DEL PLÁTANO (*Musa AAB Simmonds*) EN LAS REGIONES DE URABÁ Y SUROESTE ANTIOQUEÑO**

Roberto Antonio González Gordon

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de: Magister  
en Ciencias Agrarias

Director:

Darío Antonio Castañeda Sánchez I.Ag; M.Sc y Ph.D

Línea de Investigación en:  
Suelos, Aguas y Nutrición Vegetal

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Medellín, Colombia  
2017

Con todo el cariño y amor el presente trabajo está dedicado a:

A Dios

A mi Bisabuela María de los Dolores Londoño Montes que aunque ya no estás cerca físicamente, pero tu presencia se sigue sintiendo dentro de cada uno de nuestros corazones.

A Mis padres Soraya Gordon Garcés y Melquicedec González Londoño

A mi Hermana Carolina González Gordon

# Agradecimientos

- A las entidades financiadoras de la investigación, entre ellos el Sistema General de Regalías y la Gobernación de Antioquia y a su operante, la Fundación Social Banacol – Corbanacol.
- A los docentes de la Universidad Nacional de Colombia – Medellín. por sus conocimientos compartidos y enseñados para mi desarrollo profesional, en especial a los Drs. Darío Antonio Castañeda Sánchez, Daniel Francisco Jaramillo Jaramillo y la Dra Elizabeth Gilchrist Ramelli.
- A la Asociación de bananeros de Colombia y el Centro de investigación del banano Augura – Cenibanano, en especial a sus técnicos de campo Nodier Herrera, Ramón Piedrahita y Wilson Borja y, el director Jaiver Danilo Sánchez.
- A la Comercializadora C.I Banacol S.A, en especial a los técnicos de campo Jhon Alexander Lozano, Emiro Fernando Cantillo y Juan Carlos Herrera y, los ingenieros Jorge Enrique Cárdenas Gonzalez y Holger Emiro Meneses Pallares.
- A la Comercializadora C.I Uniban S.A, en especial a los técnicos de campo Fredy Vélez y Yimmy Bolívar y, a la ingeniera Yenny Natacha Madrid.
- A la Cooperativa San Bartolo (COMSAB) y las SAMAS de cada uno de los municipios de la zona de estudio, por su colaboración en el área logística con los agricultores de ambas subregiones.
- A la Asociación de Platanero de San Juan de Urabá (AGROSAN) y Asociación de plataneros de Turbo (UPLATUR), por su acompañamiento y dedicación en la ejecución de la investigación.
- A los agricultores, por la gran atención prestada y facilitar el ingreso, así como suministrar información requerida para la investigación.
- Al Grupo de Investigación FITOTECNIA TROPICAL por el tiempo, dedicación y colaboración durante la ejecución de la investigación.
- A Natalia por su valiosa ayuda bajo situaciones difíciles, por lo cual no hubiera sido posible culminar este trabajo sin su motivación.

# Presentación

El objetivo general de este trabajo fue el de establecer las variables indicadoras de mayor impacto y relevancia para un manejo agronómico del suelo y de la nutrición en el cultivo del plátano (*Musa AAB* Simmonds) de acuerdo a las normas DRIS en la región de Urabá y Suroeste Antioqueño, con miras a generar propuestas de normas de diagnóstico que permitan obtener una producción más eficiente para los productores del sector platanero.

El trabajo comprende cuatro capítulos. En el capítulo uno se presenta una revisión detallada del sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) en cultivos tropicales. En el capítulo dos se establece una propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros mediante métodos estadísticos multivariados (conglomerados) y descriptivos, estos datos fueron estandarizados y normalizados por el método de Gower. En el capítulo tres se determinan las normas de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) en agrosistemas plataneros en función de la producción en el cultivo del plátano.

En el capítulo cuatro, se implementa la metodología DRIS y el diagnóstico establecido por conglomerados, caso campo experimental realizando el manejo de la fertilización foliar y edáfica, y se evaluó la producción, rendimiento y análisis económico del cultivo de acuerdo a estos parámetros.

# Contenido

Pág.

<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>1. SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIÓN (DRIS) EN CULTIVOS TROPICALES: REVISIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1 Introducción .....	18
1.2 Aplicación de las normas DRIS .....	20
1.3 Desarrollo de las normas e índices DRIS .....	22
1.4 Interpretación de los índices DRIS .....	28
1.5 Ventajas del sistema DRIS .....	30
1.6 Desventajas del sistema DRIS .....	32
 Bibliografía.....	 32
<b>2. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE VARIABLES INDICADORAS DE FERTILIDAD QUÍMICA EN SUELOS PLATANEROS. ....</b>	<b>37</b>
2.1 Introducción .....	38
2.2 Materiales y métodos .....	42
2.2.1 Descripción del área de estudio.....	42
2.2.2 Zonas de vida de la zona estudiada .....	47
2.2.3 Selección de predios y muestreo .....	48
2.2.4 Procesamiento de muestras .....	49
2.2.5 Evaluación de la producción .....	50
2.2.6 Análisis de la información.....	50
2.3 Resultados y discusión.....	52
2.3.1 Agrupamiento según las variables químicas del suelo.....	52
2.3.2 Determinación de los puntos críticos y su relación con la producción .....	57
2.3.3 Balance nutricional.....	61

2.4 Conclusiones .....	64
Bibliografía.....	65
<b>3. OBTENCIÓN DE LA NORMA DE DIAGNÓSTICO E ÍNDICES DE RECOMENDACIÓN INTEGRAL (DRIS) EN AGROECOSISTEMAS PLATANEROS DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.....</b>	<b>69</b>
3.1 Introducción .....	70
3.2 Materiales y metodología.....	73
3.2.1 Características del área de estudio .....	73
3.2.2 Selección de predios y muestreo .....	74
3.2.3 Muestreo foliar y análisis de laboratorio.....	75
3.2.4 Definición de la población de referencia para la norma.....	76
3.2.5 Determinación de las relaciones entre nutrientes.....	76
3.2.6 Generación y selección de las normas DRIS .....	77
3.2.7 Determinación de los índices DRIS .....	78
3.3 Resultados y discusión.....	78
3.3.1 Determinación de la población de referencia.....	78
3.3.2 Desarrollo de las normas e índices DRIS.....	83
3.4 Conclusiones .....	92
Bibliografía.....	93
<b>4. PROPUESTA DE MANEJO NUTRICIONAL PARA EL CULTIVO DEL PLÁTANO: CASO DE ESTUDIO EN LA REGIÓN DE URABÁ.....</b>	<b>97</b>
4.1 Introducción .....	99
4.2 Materiales y métodos .....	101
4.2.1 Localización .....	101
4.2.2 Muestreo foliar y edáfico .....	103
4.2.3 Variables climáticas .....	104
4.2.4 Propuesta de manejo y aplicación de la fertilización .....	105
4.2.5 Determinación de los índices DRIS .....	108
4.3.6 Análisis de producción.....	108
4.3.7 Análisis económico .....	108



4.4 Resultados y discusión.....	109
4.4.1 Descripción del estado nutricional de los suelos.....	109
4.4.2 Descripción del estado nutricional foliar en el PE.....	112
4.4.3 Respuesta del cultivo a la fertilización.....	114
4.4.4 Análisis económico .....	121
4.5 Conclusiones.....	126
Bibliografía.....	127

## Lista de tablas

Tabla 1. Cultivos del trópico con normas de diagnóstico DRIS.....	22
Tabla 2. Expresiones para la estimación del índice DRIS de cada nutriente, obtenido del efecto de las relaciones entre todos los pares de nutrientes. ....	26
Tabla 3. Descripción de los suelos de la región de Urabá en los municipios de Arboletes, Mutatá, Necoclí, San Juan de Urabá, San Pedro de Urabá y Turbo (Ver mapa Figura 1) (García et al., 2007).....	44
Tabla 4. Descripción de los suelos de la región del Suroeste en los municipios de Andes, Betania, Hispania, Jardín, Jericó, Pueblo Rico y Támesis (Ver mapa Figura 1) (García et al., 2007).....	46
Tabla 5. Características climáticas de la zona de estudio y código de predios.....	47
Tabla 6. Métodos y/o técnicas seguidos para evaluar las propiedades químicas de los suelos en el laboratorio.....	50
Tabla 7. Características de los grupos de predios establecidos por el conglomerado en la región de Urabá. ....	53
Tabla 8. Características de los grupos establecidos por el conglomerado en la región del Suroeste. ....	55
Tabla 9. Niveles de fertilidad del suelo en relación con los niveles de producción, obtenidos por conglomerados y reagrupados según la metodología Duncan, propuestas para las regiones del Urabá y del Suroeste Antioqueño. ....	60
Tabla 10. Propuesta de relaciones de equilibrio K – Ca – Mg en el suelo para el cultivo del plátano en la región de Urabá y Suroeste Antioqueño. ....	63
Tabla 11. Métodos de laboratorio seguidos para determinar el contenido foliar de los elementos nutritivos. ....	75
Tabla 12. Análisis descriptivo de las propiedades químicas según la concentración de nutrientes en tejido foliar para las poblaciones de alta y de baja producción en la región de Urabá. ....	81
Tabla 13. Análisis descriptivo de las propiedades químicas según la concentración de nutrientes en tejido foliar para las poblaciones de alta y de baja producción en la región del Suroeste. ....	82
Tabla 14. Normas para diagnóstico de la fertilidad foliar para la variedad Hartón en la región de Urabá. ....	85
Tabla 15. Índices DRIS foliares, para el cultivo del plátano Hartón en la región de Urabá.	87
Tabla 16. Normas para diagnóstico de la fertilidad foliar para la variedad Dominico Hartón en la región del Suroeste. ....	89
Tabla 17. Índices DRIS foliares, para el cultivo del plátano Dominico Hartón en la región de Suroeste .....	91
Tabla 18. Características climáticas de la zona de estudio durante el año 2016 .....	105
Tabla 19. Manejo de la fertilidad del suelo en el PE .....	106

Tabla 20. Programación del tratamiento aplicado de acuerdo al diagnóstico edáfico y foliar .....	107
Tabla 21. Descripción de la fertilidad de los suelos de los predios experimental y control, Ubicados en el municipio de Turbo, Colombia .....	111
Tabla 22. Diagnostico foliar mediante los índices de balance nutricional DRIS en función de la nutrición mineral, para el predio experimental, municipio de Turbo, Colombia. ....	114
Tabla 23. Distribución de costos por ha año-1 (ME vs MT) .....	122

## Lista de figuras

Figura 1. Mapa de Suelos y distribución de predios en los municipios de Arboletes, Mutatá, Necoclí, San Juan de Urabá, San Pedro de Urabá y Turbo (Ver Tabla 1 y 3 para la leyenda) (García et al., 2007).....	43
Figura 2. Mapa de Suelos y distribución de predios en los municipios de Andes, Betania, Hispania, Jardín, Jericó, Pueblo Rico y Támesis (Ver Tabla 2 y 3 para la leyenda) (García et al., 2007).....	45
Figura 3. Representación del muestreo de suelos químico alrededor de la planta. ....	49
Figura 4. Agrupamiento de los predios en el Urabá de acuerdo a las variables indicadoras de fertilidad química de los suelos.....	54
Figura 5. Agrupamientos de los predios en el Suroeste de acuerdo a las variables indicadoras de fertilidad química de los suelos. ....	56
Figura 6. Dispersión de la producción para la selección de poblaciones de baja y alta producción en la región del Urabá. La línea representa la media del peso de racimo ideal (12.5 kg). ....	79
Figura 7. Dispersión de la producción para la selección de poblaciones de baja y alta producción en la región del Suroeste. La línea representa la media del peso de racimo ideal (22 kg). ....	80
Figura 8. Distribución espacial de lotes, drenajes y áreas no cultivadas, en los predios en estudio. Sistema coordinado UTM, Zona 18N, Datum WGS84. A. Predio Experimental (PE). B. Predio Control (PC).....	103
Figura 9. Rendimiento mensual en cajas ha <sup>-1</sup> del predio experimental años 2014 a 2016.....	116
Figura 10. Producción de fruta tipo premium, en cajas ha <sup>-1</sup> mes <sup>-1</sup> , registrada en el año 2016 en los predios experimental y control, municipio de Turbo, Colombia.....	117
Figura 11. Comparativo de la producción de fruta de rechazo en cajas ha <sup>-1</sup> mes <sup>-1</sup> para los años 2014 a 2015 (manejo tradicional) y 2016 (manejo experimental).....	118
Figura 12. Peso mensual promedio de racimos para los años 2014 a 2015 (manejo tradicional) y 2016 (manejo experimental). ....	119
Figura 13. Peso mensual promedio de racimos, registrado en el año 2016 en los predios experimental y control, municipio de Turbo, Colombia .....	120
Figura 14. Costo unitario por caja elaborada de acuerdo al manejo experimental (2016) y tradicional (2015).....	123
Figura 15. Margen de venta de cajas tipo premium y rechazo (ME-2016 vs MT-2015) ...	124
Figura 16. Flujo de caja neto mensual ME-2016 vs MT-2015.....	125

## Introducción

El cultivo de plátano en el trópico ha sido uno de los recursos más importantes para la economía campesina debido a su alto consumo como alimento básico y en la industria como fuente de almidón. La mayoría de plátanos de cocción son producidos en África Central y Occidental, mientras en América, países como Ecuador, Colombia, Guatemala y Perú son grandes productores y exportadores, aunque, solamente el 1,62% de la producción mundial de este producto es exportada. Para el año 2015 según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Colombia cuenta con 980.000 hectáreas en plátano, donde las exportaciones colombianas de plátano fueron de 4,5 millones de cajas, aumentando en un 16,15% respecto al año 2014, encontrado a Estados Unidos como el principal país importador, con 2,6 millones de cajas, seguido por Inglaterra con 1,2 millones de cajas y en el tercer lugar, Bélgica con 438 mil cajas. Dicha información difiere de la productividad que alcanzó el país en años como el 2005, donde se logró una exportación aproximada de 5,6 millones de cajas.

El diagnóstico de la fertilidad del suelo consiste en la evaluación simultánea de los factores que interactúan en la respuesta a la producción de los cultivos entre los cuales se consideran algunos elementos climáticos y, los nutrientes disponibles en el suelo y en el tejido de las plantas (Kravchenco y Bullock 2000). Por lo tanto los estudios sobre la nutrición mineral edáfica, se basan en la calibración de los resultados de los análisis de suelos frente a la respuesta de los cultivos en campo, mediante el cual se busca determinar el nivel crítico y el de suficiencia para un nutriente en particular (Ramírez, 2008). Por otra parte la validación

del estado nutricional se realiza por medio del 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).

A diferencia de metodologías como la del valor crítico o rango de suficiencia, el DRIS se basa en la utilización de las relaciones entre nutrientes en lugar de la concentración absoluta o individual para la interpretación del análisis de tejidos. El sistema DRIS permite proporcionar un diagnóstico válido sin considerar la edad de la planta o el tejido, ordenar los nutrientes según el grado de deficiencia y acentuar la importancia del balance de nutrientes (Walworth & Sumner 1987). El DRIS parte de la base que algunas relaciones entre nutrientes son más importantes que otras en un cultivo específico y esto se puede identificar en plantaciones de alta producción, que en ocasiones pueden presentar relaciones ideales u óptimas, siendo estas indicadoras de las condiciones nutricionales ideales de un cultivo en un ambiente edafoclimático específico (Jones, 1981).

Los objetivos del trabajo fueron:

### **General**

Establecer las variables indicadoras de mayor impacto y relevancia para un manejo agronómico del suelo y de la nutrición en el cultivo de plátano (*Musa AAB Simonds*) de acuerdo a las normas DRIS.

## **Específicos**

Determinar y analizar el estado de las variables químicas del suelo indicadoras de mayor impacto en la nutrición y producción del cultivo del plátano

Generar propuestas de normas DRIS para el cultivo del plátano establecido en dos condiciones agroecológicas.

Implementar una estrategia de manejo con base en las variables edáficas indicadoras y en las normas DRIS.

## 1. Sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) en cultivos tropicales: revisión

### Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) in tropical crops: review

#### **Resumen**

La nutrición en los cultivos es uno de los factores más importantes en la producción, rendimiento y calidad del producto, y para ello, existen varios métodos de evaluación que permiten realizar un diagnóstico nutricional de los cultivos y manejo del suelo. El método experimental clásico, permite comparar varios tratamientos bajo condiciones muy específicas del clima y el tipo de suelo probablemente, este método ha sido el principal instrumento metodológico seguido durante muchos años, sin embargo, su aplicación en campo ha sido limitada, debido a que numerosos factores incontrolables e interactuantes no han sido evaluados o establecidos simultáneamente y son simplemente incluidos como estimaciones del error experimental. De acuerdo a lo anterior se han planteado diferentes métodos, entre ellos dos son relevantes: 1. Enfoque de Gama Suficiencia (SRA) y 2. El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS). Esta investigación presenta los principales conceptos y aplicaciones del DRIS en el diagnóstico nutricional de cultivos tropicales, indicando las ventajas y las falencias o limitaciones que pueda presentar.

**Palabras clave:** balance nutricional, índices, análisis foliar, relación



## **Abstract**

The nutrition in crops is one of the most important factors in the production, performance and quality of the product, and for this, there are several methods of evaluation that allow you to perform a nutritional diagnostic of crops and soil management. The classic experimental method, enables you to compare several treatments under very specific conditions of climate and soil type probably, this method has been the main methodological instrument followed for many years, However, its application in the field has been limited, due to numerous uncontrollable and interacting factors have not been evaluated or established simultaneously and are simply included as estimates of the experimental error. According to the above, different methods have been raised, including two that are relevant: 1. Range approach adequacy (SRA) and 2. The Integrated System of diagnosis and recommendation (DRIS). This research presents the key concepts and applications of the DRIS in the Nutritional Diagnostic of tropical crops, indicating the advantages and shortcomings or limitations that may be presented.

**Keywords:** nutritional balance, indexes, foliar analysis, relations, relationships.

## 1.1 Introducción

El DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación) fue propuesto originalmente por Beaufils (1973) a partir de estudios en fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de caucho en Vietnam, y posteriormente en cultivos de caña de azúcar y maíz en Sudáfrica (Beaufils y Sumner 1976, 1977). Este método se basa en la relación entre los nutrientes, en lugar de la concentración absoluta o individual de cada uno de ellos, para la interpretación de análisis de tejidos (Chacón *et al.*, 2012). De acuerdo a Beaufils (1971), cualquier cambio en las condiciones del complejo y la dinámica del sistema planta-ambiente, influenciadas o no por el hombre, consisten realmente en un tratamiento. Por lo tanto, cualquier tipo de factor debe ser estudiado sin distinción. Por lo mencionado anteriormente, se propone el siguiente esquema:

- a) Los lugares y los componentes actuales del sistema, son considerados análogos a las repeticiones de un experimento tradicional, ilimitados en su número (suficientemente grande) y localizados aleatoriamente (en cualquier lugar).
- b) Los tratamientos basados en varias referencias representan cualquier tipo de información derivada de situaciones controladas, las cuales pueden o no haber sido deliberadamente provocadas.

Se han tomado dos aproximaciones diferentes en el establecimiento de los índices de diagnóstico, si los caracteres considerados pertenecen a causas primarias (suelo, clima y prácticas de manejo) o bien, provienen de efectos resultantes de la composición del tejido

vegetal, obtenido a través de análisis de laboratorio. Dichos efectos son considerados como causas secundarias debido a su acción decisiva en el rendimiento de los cultivos, considerado como efecto final (Beaufils, 1973). El sistema diseñado de esta manera, permite estudiar las siguientes relaciones (presentadas de una manera esquemática) (Beaufils, 1973; Sumner, 1977):

- ❖ Propiedades del suelo → Respuesta de la planta → Rendimiento.
- ❖ Condiciones climáticas → Respuesta de la planta → Rendimiento.
- ❖ Prácticas agronómicas → Respuesta de la planta → Rendimiento.
- ❖ Tratamientos al suelo → Propiedades del suelo → Respuesta del suelo.
- ❖ Respuesta del suelo + Condiciones climáticas + Prácticas Agronómicas → Respuesta de la planta.
- ❖ Respuesta de la planta (sumatoria de caracteres internos) → Rendimiento.

En estas relaciones, las calibraciones son progresivamente establecidas y refinadas. Este esquema permite ganar un mayor control sobre los limitantes del rendimiento, referentes al diseño de cualquier tipo de experimento y a la simulación de sus condiciones particulares. Cuando las condiciones son reproducidas en un computador se hace posible el estudio de manera similar a la de un laboratorio, se hace posible el estudio de la influencia individual e interactuante de un gran número de factores relacionados con el rendimiento bajo un conjunto de condiciones controlables o no. Por ejemplo, la influencia de las aplicaciones de fósforo en la respuesta del suelo, los caracteres internos de la planta y el rendimiento para un determinado cultivar con límites definidos en el contenido de arcilla, la acidez del suelo y el contenido de Al, K, Ca, Mg, S, Na, etc. del suelo, bajo determinadas condiciones de precipitación, altitud, temperatura y prácticas de manejo, etc. (Beaufils, 1973). En la realidad,

Beaufils (1973) muestra que, al tener disponible suficiente información aleatoria, se hace más fácil preseleccionar todas las observaciones correspondientes a las condiciones deseadas, utilizando intervalos de clase para cada parámetro considerado.

Según Sumner (1977), el DRIS consiste en un conjunto integrado de normas, desarrolladas para evaluar el estado nutricional de un cultivo. Estas normas representan las calibraciones de la composición del tejido de la planta, el suelo, los parámetros del medio ambiente y las prácticas culturales, como funciones de la producción obtenida por un cultivo en particular. Por lo tanto, el DRIS integra más íntimamente el balance nutricional de la planta y el suelo e incorpora en el diagnóstico otros factores tales como la edad de la planta y el clima, permitiendo así, hacer recomendaciones confiables sobre el manejo de los cultivos.

## **1.2 Aplicación de las normas DRIS**

Los métodos convencionales para la interpretación de análisis de tejido foliar, realizan la comparación de la concentración de nutrientes en el tejido de la planta, con valores de referencia como los niveles críticos o rangos de suficiencia. Estas concentraciones de nutrientes se pueden encontrar por debajo o por encima de los valores de referencia lo que permite asociar la disminución del crecimiento con el rendimiento y la calidad de los cultivos (Teixeira, 2007). Así mismo, no se tiene en cuenta el balance de los elementos nutritivos y su relación con los datos de producción o de rendimiento (Rodríguez, 1997; Rodríguez *et al.*, 1997 y Nayak *et al.*, 2011). Según Tuner, (1988), el nivel crítico de un elemento nutritivo, es un rango que indica una producción limitada (niveles bajos) y una producción óptima (niveles adecuados) del cultivo (López, 1999).

El sistema DRIS es un método que utiliza

proporciones de nutrientes, en lugar de concentraciones absolutas o individuales de éstos para la interpretación de análisis de tejido vegetal (Mourão, 2004). Adicionalmente, con la aplicación de esta metodología, es posible relacionar un elevado número de caracteres internos y externos de las plantas bajo condiciones restringidas o no (Beaufils, 1973). Como base teórica, el método DRIS expresa los resultados del diagnóstico nutricional vegetal mediante índices, que representan en una escala numérica continua el efecto de cada nutriente en el balance nutricional de la planta (estos índices son representados por valores adimensionales positivos o negativos). En resumen, Mourão (2004) indica que el método tiene en cuenta las siguientes premisas:

- a) Las proporciones de nutrientes son mejores indicadores de deficiencia nutricional que los valores de concentraciones aislados.
- b) Algunas proporciones son más importantes o significativas que otras.
- c) Los máximos rendimientos solo se obtienen cuando las proporciones de los nutrientes están cerca de valores ideales u óptimos, los cuales provienen de poblaciones seleccionadas con los mayores rendimientos.
- d) La variación de la proporción de un nutriente es menor en la población de referencia que en una con bajos rendimientos y, las relaciones entre varianzas de población de alto y bajo rendimiento pueden ser usadas en la selección de las expresiones ( $A/B$  o  $B/A$ ,  $A*B$  o  $B*A$ ).
- e) Los índices DRIS pueden ser calculados individualmente, para cada nutriente, usando la desviación media de la proporción del nutriente obtenido de la comparación, con

el valor óptimo de una proporción de nutriente dado; siendo cero (0.0) el valor ideal del índice DRIS para cada nutriente.

Diversos autores han utilizado este sistema para generar normas de diagnóstico de tejidos en una gran variedad de cultivos perennes (Rodríguez, 2009). A continuación en la Tabla 1, se describen algunos de los cultivos tropicales que cuentan con las normas de diagnóstico.

Tabla 1. Cultivos del trópico con normas de diagnóstico DRIS

Cultivo	Referencia
<i>Hevea brasiliensis</i>	Chacón <i>et al.</i> , (2012)
Arboles forestales	Pohl y Kaupenjohanm 1999
<i>Coffea arabica</i> y <i>Coffea canephora</i>	Arizaleta <i>et al.</i> , 2002, Arboleda <i>et al.</i> , 1988, Braganca y Da Costa, 1996, Da Costa y Prezotti, 1997
<i>Musa AAB</i> Simonds	Rodríguez y Rodríguez, 1997, 1998a, 1998b, Hernández <i>et al.</i> , 2004, Rodríguez <i>et al.</i> , 1998a, 1998b, 1999a, 1999b, 2004, 2005, 2007 y Rodríguez, 2003, 2009
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq	Herrera y Camacho, 2015

### 1.3 Desarrollo de las normas e índices DRIS

El primer paso para el desarrollo de cualquier método de diagnóstico nutricional es el establecimiento de estándares o normas. Las normas DRIS siempre se obtienen de una población de alto rendimiento, denominada población de referencia. La cual, es seleccionada de una población estándar, más amplia. La base de datos para la definición de las normas podría tener un tamaño variable, en función de las premisas adoptadas en el método y estas, pueden ser uniformes, referentes a las características del cultivo. Las normas obtenidas a

partir de una amplia base de datos derivada de diferentes tipos de suelos, climas y cultivares, usualmente no puede ser generalizada y debe ser considerada representativa, solo si incluye toda la variabilidad de la población. En consecuencia, estos atributos, pueden ser previamente definidos y así tomados (muestreados) para formar la base de datos. Diversas Investigaciones han revelado que la selección de la población de referencia es un factor importante para la eficacia y el éxito del sistema DRIS. Walworth & Sumner (1987) afirman que el límite para separar la muestra que conformará la población de referencia separar dos grupos de poblaciones debe ser elegido arbitrariamente, debido a que la población debería presentar una distribución normal. Otros autores recomiendan que la población de referencia debería contener al menos, el 10% de las muestras con los mayores rendimientos de la base de datos global (Letsch y Sumner, 1984; Ribeiro, 2008); mientras que Malavolta y Malavolta (1989) recomiendan seleccionar la población ubicada en la franja del 80 al 100% del máximo rendimiento observado.

El tamaño de la base de datos no está directamente relacionada con un estándar de calidad (por ejemplo: las normas DRIS en maíz desarrolladas con una población de referencia alrededor de 10 observaciones que presentaban rendimientos; superiores a las 18 t/ha, fueron más representativas y eficientes que las normas derivadas de bases de datos amplias). Investigaciones en DRIS reportan para la contricción de la norma el uso de datos que van desde 24 a más de 2800 observaciones dependiendo de la extensión del cultivo y la especie (evitando afectar negativamente la eficiencia del diagnóstico) (Mourão, 2004). A pesar de la cantidad de datos, la calidad de la observación es el aspecto más importante.

Por otro lado, la elección de la población o base de datos para la definición de las normas puede ser subdividida en dos subpoblaciones.

- a) Población de referencia, es la base de datos conformada por plantas que presentan rendimientos significativamente altos en comparación con un nivel arbitrariamente establecido.
- b) Población estándar, son las muestras de no que se comparan con la población referencia a través del índice DRIS, dentro de las cuales se puede incluir muestras de la población referencia.

Según lo propone Reis (2002); Leite, (1992) y Letzsch y Sumner (1984), es de gran importancia, primero generar normas locales, ya que resulta mucho más fácil, que la búsqueda de normas universales así se hayan generado con tamaños de muestra grandes. Las normas DRIS son originadas a partir de la población de referencia, en otras palabras, la relación entre todos los pares de nutrientes y sus respectivas desviaciones estándar y coeficiente de variación, se obtienen para la población de referencia. Para el establecimiento de las relaciones entre los nutrientes, se realizan pruebas de comparación de varianzas de cara relación en particular (A/B o A\*B) que presentan mayor variabilidad ya que abarca un mayor rango de población. Según Beaufils, (1957); Rodríguez y Rodríguez (1998a, 1998b) y Rodríguez *et al.*, (1998), en el caso de las relaciones entre pares de nutrientes (A/B o B/A), ó productos (A x B, ó B x A), la prueba de discriminación de la varianza califica la mayor relación de varianzas entre el grupo de menor rendimiento y el de mayor rendimiento para cualquier forma de expresión (A/B o B/A) de la siguiente forma:

$$\text{Si: } S_1^2 \left( \frac{A}{B} \right) > S_1^2 \left( \frac{B}{A} \right) \rightarrow \text{relacion a utilizarse como forma} \rightarrow A/B$$



Si:  $S_1^2\left(\frac{A}{B}\right) < S_1^2\left(\frac{B}{A}\right) \rightarrow$  relación a utilizarse como norma  $\rightarrow B/A$

De los valores de A/B o de B/A, en la subpoblación de altos rendimientos

Donde:

$S_1^2\left(\frac{A}{B}\right)$  = Varianza de los valores de A/B en la subpoblación de menor rendimiento

$S_2^2\left(\frac{A}{B}\right)$  = Varianza de los valores de A/B en la subpoblación de máximo rendimiento

$S_1^2\left(\frac{B}{A}\right)$  = Varianza de los valores de B/A en la subpoblación de menor rendimiento

$S_2^2\left(\frac{B}{A}\right)$  = Varianza de los valores de B/A en la subpoblación de máximo rendimiento

Para establecer la relación y forma de expresión entre pares de nutrientes, Rodríguez y Rodríguez (1997) y Chacón *et al.*, (2012), recomiendan como cocientes, se utilizarían las relaciones de los nutrientes que tienen la misma tendencia de disminuir con la edad (nutrientes móviles, N, P, K, Mg, S) o de acumularse con la edad (el resto). Como productos, se utilizarían las relaciones que divergen con la edad. La relación entre un par de nutrientes puede ser directa o inversa. Las concentraciones de N y P, pueden ser relacionadas como la proporción N/P o P/N. Por ejemplo, en el DRIS, para agilizar el proceso manual del cálculo de la norma, cada par de nutrientes es discriminado por solamente una expresión. Son varios los criterios, que permiten seleccionar la expresión adecuada y el más usado es el de la proporción de amplitud de la varianza entre las poblaciones referencia y estándar (Mourão, 2004). El diagnóstico nutricional se puede realizar a través de dos formas: gráficos DRIS e índices DRIS. Los primeros son empleados únicamente para tres nutrientes y sus proporciones; En cambio los índices, se utilizan para todos los nutrientes con sus respectivas proporciones (Mourão, 2004). Los índices DRIS, se calculan en dos pasos:

- 1) Las funciones para cada par de nutrientes.

2) La suma de las funciones involucrando a cada nutriente.

Ejemplo: Hipotéticamente los índices de los nutrientes A a N pueden calcularse, mediante las expresiones presentadas en la Tabla 2 (Mourão, 2004):

Tabla 2. Expresiones para la estimación del índice DRIS de cada nutriente, obtenido del efecto de las relaciones entre todos los pares de nutrientes.

Índices y Funciones	Formula
IA <sup>(1)</sup>	$\frac{(fA/B)^{(2)} + f\left(\frac{A}{C}\right) + f\left(\frac{A}{D}\right) \dots + f\left(\frac{A}{N}\right)}{Z^{(3)}}$
IB <sup>(4)</sup>	$\frac{-f\left(\frac{A}{B}\right) + f\left(\frac{B}{C}\right) + f\left(\frac{B}{D}\right) \dots + f\left(\frac{B}{N}\right)}{Z}$
IN <sup>(5)</sup>	$\frac{-f\left(\frac{A}{N}\right) - f\left(\frac{B}{N}\right) + f\left(\frac{C}{N}\right) \dots - f\left(\frac{M}{N}\right)}{Z}$
F(A/B) <sup>(6)</sup>	$\frac{\left(\frac{A}{B}-1\right)}{a/b} * 1000/cv^{(8)}$
F(A/B) <sup>(7)</sup>	$\frac{\left(1-\frac{a}{b}\right)}{A/B} * 1000/cv$

<sup>(1)</sup>Es el Índice del nutriente A, <sup>(2)</sup> Función que relaciona la proporción de los nutrientes A y B de la norma, con respecto a la población estándar, <sup>(3)</sup> Número de funciones que componen el índice, <sup>(4)</sup> Índice del nutriente B, <sup>(5)</sup> Índice del nutriente N, <sup>(6)</sup> Estimación de la relación cuando la proporción del par de nutrientes en la población de referencia (a/b), es menor que en la de la población estándar (A/B), <sup>(7)</sup> Estimación de la relación cuando la proporción del par de nutrientes en la población estándar (A/B), es menor que en la de referencia (a/b), <sup>(8)</sup> Coeficiente de variación de la población de referencia.

En estas ecuaciones, A/B es la proporción de nutriente en el tejido para ser diagnosticado; a/b es el valor óptimo o norma de esa determinada proporción; CV es el coeficiente de variación presentado por las proporciones de nutrientes asociados con la población de referencia; y Z es el número de funciones que componen el índice de nutrientes. Valores para

otras funciones, como  $f(A/B)$  y  $f(A/D)$  se calculan de igual manera, la población de referencia y el CV apropiados. En otras palabras, un índice de un nutriente es la función promedio de todas las proporciones de un nutriente en relación a los demás (Urricariet *et al.*, 2007). Los componentes de estos valores promedio son ponderados por el recíproco CV de las poblaciones de referencia (altos rendimientos). Así, si las dos proporciones  $A/B$  y  $A/C$  son usadas para generar un índice para el nutriente A, la contribución de cada uno de los cálculos de estos índices será función de los valores de CV (proporciones de referencia) asociadas a ellos, reflejando la influencia relativa de estas dos expresiones en el rendimiento del cultivo (Mourão, 2004). Varias modificaciones al modelo se han propuesto para incrementar la exactitud en el diagnóstico nutricional para diferentes cultivos. el cálculo de las funciones de las proporciones nutricionales se realiza de acuerdo a uno de los siguientes tres métodos:

- a) El método original propuesto por Beaufils (1973).
- b) El método de Jones (1981).
- c) El método de Beaufils (1973) modificado por Elwali y Gascho (1984).

Aunque estos métodos han sido evaluados en algunas investigaciones, no existe claridad sobre cuál es la mejor recomendación, ya que estos métodos, presentan una eficacia similar (Mourão, 2004). Otra variante del método original es propuesta por Hallmark *et al.*, (1987), denominado DRIS modificado (M-DRIS), método en el cual se tiene en cuenta la materia seca, como constituyente adicional para el cálculo de los índices. La utilización del DRIS puede ser ampliada para la evaluación de otros datos diferentes al análisis foliar. Para el P, K, Ca y Mg se desarrollaron normas para el análisis de suelos en caña de azúcar, los cuales incluían el Fosforo, el Potasio, el Calcio y el Magnesio (Beaufils y Sumner, 1976), como en

el diagnóstico foliar, los resultados del DRIS, presentan como ventaja, las consideraciones del balance nutricional. Incluso el DRIS, también puede considerar el  $\text{NO}_3$  y el  $\text{NH}_4$ , los cuales pueden ser tratados como factores nutricionales individuales, además puede ampliar el análisis para elementos no-esenciales como Si o Na, o también variables no nutricionales. La sumatoria absoluta de los índices nutricionales genera un índice adicional denominado Índice de Balance Nutricional (NBI), este índice se usa para indicar el estado nutricional del vegetal, teniendo en cuenta sus causas. El valor más alto, indica un desbalance nutricional, lo que se refleja en un rendimiento bajo en el cultivo de interés (Mourão, 2004).

## **1.4 Interpretación de los índices DRIS**

El propósito es conducir sistemáticamente cualquier factor controlado por el hombre, hacia el valor correspondiente de la clase del rendimiento más elevado (óptimo), teniendo en cuenta que, cualquier factor incontrolable, desconocido o insospechado puede convertirse en el limitante (Beaufils, 1973). El valor de cada proporción es sumado al subtotal de un índice (A) y restado del índice de otro (B); antes de la ponderación final, todos los índices son balanceados alrededor de cero. Luego, la suma de los índices nutricionales debe ser cero. Cuando los resultados son negativos (menores de cero), indica deficiencia o una baja concentración, de ese elemento, en relación a los demás, y entre más negativo el índice, mayor puede ser la deficiencia en relación con otros nutrientes diagnosticados. Por otra parte, índices con valores altos (positivos y más distanciados del cero) indican una cantidad excesiva de un nutriente con respecto a los demás (Mourão, 2004). Usualmente las recomendaciones DRIS son realizadas mediante el estudio de los diagnósticos de los efectos resultantes, reflejados en los análisis de la planta, como influencia de la composición del

suelo, de las prácticas de manejo y del clima. De estas consideraciones se podrían definir los tratamientos apropiados para un determinado rendimiento, buscado cualquier tratamiento simple o combinado, cuyos efectos resultantes permitan que el mayor número de caracteres internos y externos de las plantas sean aproximados a los valores óptimos de manera simultánea (Beaufils, 1973). Para la mayoría de los factores externos, sus relaciones con el rendimiento son de la siguiente manera:

1. Cada vez que el valor de un factor externo sea muy bajo o muy alto, el rendimiento está directamente limitado.
2. Así, el valor de un factor particular caiga entre los límites de la clase más alta de rendimiento, aún en estas condiciones el este puede ser muy bajo, debido a que otro factor pueda limitante.

Beaufils (1973) expone un ejemplo con K intercambiable, donde valores bajos (menor de 90 ppm), una aplicación de K al suelo, basada en calibraciones producidas de valores de aproximaciones sucesivas; tales como índices de diagnóstico de suelo y coeficientes de equivalencia; entre factores del suelo, podría racionalmente mejorar el K intercambiable y consecuentemente mejorar las oportunidades de obtener rendimientos más altos.

Pero cuando el valor es muy alto, la única estrategia adecuada, es mediante una correcta aplicación de los factores del suelo, los cuales están en desbalance con el potasio, debido a que el K intercambiable no es fácilmente removido. La consideración de otras formas de expresión en las cuales el K se presente (K/arcilla, K/P, Ca/K, K/Mg, etc), ayudan en el establecimiento gradual de una acción correctiva adecuada, basada en las calibraciones establecidas de tratamientos controlados. Otro aspecto a tener en cuenta en la recomendación,

es el historial del terreno, tener toda la información de la siembra actual y de las anteriores. Igualmente, toda acción correctiva, debe ser tomada rápidamente, ya que los muestreos y el diagnóstico nutricional se llevan a cabo en un determinado estado de desarrollo de la planta y la respuesta de esta puede ser insuficiente al tratamiento si es demorada la acción. En este punto, la evaluación tiene que tomar en cuenta, al menos, cada factor al momento del muestreo, tipo y cantidad de fertilizante a aplicar por ciclo, de acuerdo con condiciones climáticas, suelos, naturaleza, cantidad, fecha de aplicación, interacciones entre productos e interacción en el suelo (Beaufils, 1973).

## **1.5 Ventajas del sistema DRIS**

- ❖ Permite ordenar los nutrientes de forma secuencial, de acuerdo a su grado o nivel de limitación sobre el rendimiento del cultivo (Beaufils, 1973).
- ❖ Por medio de este, se puede hacer un diagnóstico nutricional en cualquier etapa de desarrollo del cultivo, es decir, es menos sensible comparado con otros sistemas de diagnóstico, al envejecimiento de los tejidos, lo cual se ha demostrado en diversos trabajos (Beaufils, 1971, 1973 y Rodríguez *et al.*, 1998a).
- ❖ Se puede incorporar en el diagnóstico, a la materia seca del cultivo (C, H y O), como otro nutriente.
- ❖ Las interacciones entre nutrientes son tomadas en cuenta, demostrando que este sistema funciona correctamente, aun existiendo esas interacciones.
- ❖ El sistema DRIS, elimina muchos de los problemas asociados con la determinación de los valores críticos de las respuestas a la aplicación de fertilizantes, puesto que las

normas no son derivadas de un limitado número de observaciones. Al respecto, según Walworth y Sumner (1987) afirman, que las normas DRIS derivadas de bancos de datos, recogidos en diversas partes del mundo, difieren muy poco. Las normas para caña de azúcar derivadas en Florida por Elwali y Gascho (1984), son prácticamente idénticas a las producidas en Sur África por Beaufils y Summer (1977).

- ❖ Una ventaja adicional del DRIS radica, en que en las normas así como están desarrolladas, están sujetas a las limitaciones impuestas por los factores ambientales, si se parte de la premisa expresada por Andrew (1968), que “para conocer el efecto real limitante de un determinado nutriente en el rendimiento, todos los demás factores deben estar en óptima condición” solo el rendimiento máximo obtenible a un valor de un parámetro, tal como la concentración foliar de un nutriente, representa el tope en el rendimiento impuesto por la variación en concentración de ese nutriente.
- ❖ El DRIS tiene ciertas ventajas comparado con otros métodos de diagnóstico, ya que presenta escala continua y esta es de fácil interpretación, por otro lado, permite la clasificación de nutrientes (de los más deficientes, hasta los más excesivos), puede detectar los casos de limitación de rendimiento debido al desbalance de nutrientes, incluso cuando ninguno de los nutrientes está por debajo del nivel crítico, y por último, permite el diagnóstico nutricional total de la planta a través de un índice de desequilibrio (Baldock y Schulte, 1996).
- ❖ Cuando el sistema DRIS se compara contra una técnica convencional, como es la del valor crítico (CNR), el DRIS presenta mayores ventajas ya que, este es independiente de la edad, condiciones de clima, suelo, prácticas culturales, porción y posición de la hoja muestreada (Malavolta *et al.*, 1997), de tal manera que el análisis por valor

crítico (CNR) es ineficiente para diagnosticar de la misma forma el estado nutricional de la planta en cualquier condición y época (Mourao, 2004; Mourao *et al.*, 2002).

- ❖ Comparado con el nivel crítico o con el rango de suficiencia, el DRIS es un método más sensible en identificar necesidades de uno o más nutrientes para las plantas. Lo que Permitiría, hacer más extrapolables los datos provenientes de otra región.

## 1.6 Desventajas del sistema DRIS

- ❖ Las relaciones y correlaciones que permite establecer en algunas ocasiones están alejadas de ciertas bases fisiológicas. Es por esto, que hay distintos grados de ajuste del DRIS.
- ❖ Puede disponer de una gran base de datos no confiable, no sólo en número, también en años y calidad de la información (Barbazán, 1998).
- ❖ El método de los cálculos y establecimiento de las normas e índices DRIS es engorroso.

## Bibliografía

1. Arboleda, C; J. Arcila y R. Martínez. 1988. Sistema integrado de recomendación y diagnóstico. Una alternativa para la interpretación de resultados de análisis foliar en café. *Agric. Colombiana*. V.5: 17-30.
2. Andrew, C. 1968. Problems in the use of chemical analysis for diagnosis of plant nutrient deficiencies. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 34: 154-162.



3. Arizaleta, M; Rodriguez, O y Rodriguez V. 2002. Relación de los índices DRIS, índice de balance de nutrientes, contenido foliar de nutrientes y el rendimiento del Cafeto en Venezuela. *Bioagro*. 14 (3): 153-159.
4. Barbazán, M. 1998. Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes. Universidad de la Republica Montevideo. Facultad de Agronomía. Uruguay, p. 14 – 15.
5. Beaufils, E. 1971. Physiological diagnosis: a guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. *Fertilizer Society of South Africa Journal*, v.1, pp.1-28.
6. Beaufils, E.R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa. *Soil Science Bulletin*, V. 1, p. 132.
7. Beaufils, E.R. y M. Sumner. 1976. Application of the DRIS approach for calibrating soil, plant yield and quality factors of sugarcane. *Proc. S. Afr. Sugar Tech. Assc*, V. 50: 118-124.
8. Beaufils, E y Sumner M. 1977. Effect of time of sampling on the diagnosis of N, P, K y Ca, and Mg requirements of sugarcane by the DRIS approach. *Proc. S. Afr. Sugar Tech. Assc*, V. 51: 62-67.
9. Baldock, J. y Schulte, E. 1996. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. *Agr. J.* 88:448- 456.
10. Braganca, S y A. Da Costa. 1996. Avaliação do estado nutricional do café Conilon (*Coffea canephora*) no norte do estado do Espiritu Santo, a través do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). *Inf. Agr.* V.76:3-4.
11. Chacón, E., J. Camacho y J. Bernal. 2012. Obtención de la norma de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) para el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Altillanura Colombiana. Tesis de investigación para Magister en Ciencias Agrarias. Facultas de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 96 p.
12. Da Costa, A. N y L. Prezotti. 1997. Padrão de referência para uso do DRIS na avaliação nutricional do café arábica. *Inf. Agr.* V. 80:9-10.
13. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Censo nacional agropecuario 2014: novena entrega de resultados 2014-cifras. 9° Boletín, 2015. Disponible en: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>
14. Elwali, M. y G. Gascho. 1984. Soil testing, foliar analysis, and DRIS as guide for sugarcane fertilization. *Agronomy Journal*, v.76, pp.466 – 470.

15. Hernández, Y., M. Marín y J. García. 2004. Respuesta en el rendimiento del plátano Musa AAB cv. Hartón, en función de la nutrición mineral y su ciclo fenológico. Parte II. Contenido mineral. . Rev. Fac. Agron. LUZ. V. 21 (1): 114-120.
16. Hallmark, W.; C. Mooy, y J. Pesek. 1987. Comparison of two DRIS methods for diagnosing nutrient deficiencies. Journal of Fertilizer Issues, v.4, pp.151-158.
17. Herrera, G y Camacho, J. 2015. Obtención del sistema de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) en el cultivo de Palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias Maestría en Ciencias Agrarias Bogotá, Colombia.
18. Jones, W. 1981. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.12, pp.785-794.
19. Kravchenco, A. N. y Bullock, D. G. 2000. Spatial variability, correlation of corn and soybean grain yield with topography and soils properties. Agron. J (92 p 75-83.
20. Letsch, W. S y Sumner, M. 1984. Effect of population size and yield level in selection of Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.15, p.997-1006.
21. López A. 1999. Interpretación de los análisis químicos de suelos y foliares en el cultivo de banano (Musa AAA, CV. Valery) en Costa Rica. análisis de un caso y factores involucrados. XI Congreso Nacional Agronómico / III Congreso Nacional de Suelo. 137-138.
22. Malavolta, E. Y Malavolta M.1989. Diagnose foliar: princípios e aplicações. In: Bull, L.T., Rosolem, C.A. Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação. Botucatu, Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. pp. 227-308.
23. Mourão, F. 2004. DRIS: Concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. Sci. Agric. (Piracicabla, Braz.), V. 61 (5): 550 – 560.
24. Mourão, F; Azevedo, J y Nick, J. 2002. Orders and function of the ratio of nutrients in the establishment of DRIS norms in orange “Valencia”. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, p.185-192.
25. 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 anole in central Indogangetic plains. Journal of Plant Nutrition, 34 (4), 547-556.

26. Pohl, H y M. Kaupenjohann. 1999. Interpretation of the nutritional status of freest trees by the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Forstwissenschaftliches Central blatt. V. 118: 5-9.
27. Ramírez, V. 2008. Calibraciones de análisis de suelos. Invest. Unisarc. 6(2) 8 – 14. [https://www.researchgate.net/profile/Victor\\_Ramirez\\_Builes/publication/283615368\\_Calibracion\\_de\\_Analisis\\_de\\_Suelos/links/56412cd208aebaae1f700aa.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Victor_Ramirez_Builes/publication/283615368_Calibracion_de_Analisis_de_Suelos/links/56412cd208aebaae1f700aa.pdf)
28. Reis, J. 2002. DRIS norms universality in the corn crop. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.33, n.5 y 6, p.711–735.
29. Ribeiro, G. 2008. Avaliação de metodologias na diagnose nutricional do melão cantaloupe irrigado nachapada do apodi-rn. Dissertação apresentada à Universidade de Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestrem Irrigação e Drenagem.
30. Rodríguez V. y O. Rodríguez. 1997. Normas foliares DRIS para el diagnóstico nutricional del plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón). Rev. Fac. Agron. LUZ. 14:285-296.
31. Rodríguez V. y O. Rodríguez. 1998a. Hoja de cálculo de índices DRIS e IBNDRIS. Material de apoyo. Curso de nutrición mineral. IX Jornadas de investigación del decanato de Agronomía. UCLA. junio 1998 Barquisimeto. Venezuela. Diskette. p 8.
32. Rodríguez, V. y O. Rodríguez. 1998b. Biometría de la cepa de plátano Hartón (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón) con rendimientos superiores a 18 kilogramos/racimo, en Venezuela. Rev. Fac. Agron. LUZ. 15:439-445.
33. Rodríguez, V., D. Bautista y O. Rodríguez. 1998a. Características biométricas de una subpoblación de plátano Hartón (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón) con rendimientos promedios de 17,4 kg/racimo en Venezuela. Resúmenes XLIV Reunión Anual de la Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical. Barquisimeto. Venezuela. p. 75.
34. Rodríguez, V., O. Rodríguez y P. Bravo. 1998b. Índice de balance de nutrientes DRIS (IBN-DRIS) para el diagnóstico nutricional del plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón). XIII Reunión ACORBAT Ecuador. 115- 113.
35. Rodríguez, V., D. Bautista, O. Rodríguez y L. Díaz. 1999a. Relación entre el balance nutricional y la biometría del plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón) y su efecto sobre el rendimiento. Rev. Fac. Agron. (LUZ). V. 16: 425-432.
36. Rodríguez, V., O. Rodríguez y P. Bravo. 1999b. Índice de balance de nutrimentos para la predicción del rendimiento del plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón). Rev. Fac. Agron. (LUZ). V. 16: 488-494.

37. Rodríguez. O y V. Rodríguez. 2000. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. Rev. Fac. Agron. (LUZ). V. 17: 449-470.
38. Rodríguez. V. 2003. Avaliação do estado nutricional e da fertilidade de solo na cultura do plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón). Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de Sao Paulo, Piracicaba, p. 70.
39. Rodríguez. V., E. Malavolta., A, Sánchez y O. Lavoranti. 2004. Balance nutricional de referencia de suelos y hojas en el cultivo del plátano Hartón. Bioagro 16(1): 39-46.
40. Rodríguez. V., A. Da Silva y O. Rodríguez. 2005. Balance nutricional y número de hojas como variables de predicción del rendimiento del Plátano Hartón. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 40 (2): 175-177.
41. Rodríguez. V. Malavolta., A, Sánchez., O. Rodríguez., O. Lavoranti y E. Guerra. 2007. Soil and Plant Reference Norms for Evaluating Hor Plantain Nutritional Status. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 38 (9 y 10): 1371-1383.
42. Rodríguez. V. 2009. Diagnóstico nutricional suelo-planta y fertilización en el plátano. Producción agropecuaria. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago. V. 2(1): 45 – 48.
43. Sumner, M. E. 1997. Preliminary NPK foliar diagnostic norms for wheat. Común. Soil Sci. Plant Anal. V. 8: 149-167.
44. Sumner, M. E. 1997. Application of Beaufils' diagnostic indices to maize data published in the literature irrespective of age and conditions. Plant and Soil. 46: 359-369.
45. Turner, D. 1988. The interpretation of leaf analysis results in bananas. Separata. Primer Seminario- Taller sobre nutrition y Fertilidad en Banano. San Jose, Costa Rica, p. 5.
46. Urricariet, S.; Lavado, R. 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.
47. Walworth, J.y M. E. Sumner. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Adv. Soil. Sci. 6:149- 18.

## 2. Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

### Methodological proposal for the establishment of indicative variables of chemical fertility in plantain soils.

#### **Resumen**

Con el objetivo de determinar y analizar el estado de las variables químicas del suelo de mayor impacto en la nutrición y producción del cultivo del plátano, se seleccionaron para el estudio dos zonas agroecológicas: Urabá con plátano Hartón y Suroeste con plátano Dominicó hartón; en cada una se evaluaron 25 predios. En muestras compuestas edáficas tomadas aleatoriamente de cada uno de los predios, se determinaron, las propiedades químicas edáficas: pH, MO, Ca, Mg, K, Na, CICE, P, S, Fe, Cu, Zn y B y la producción como peso (kg) promedio de racimo. El agrupamiento completo de los predios en relación a las propiedades químicas se realizó por conglomerados a través de la distancia Euclidiana; Se establecieron seis grupos de predios que posteriormente, el análisis de varianza permitió establecer diferencias significativas para producción entre estos grupos ( $p \leq 0.05$ ). La comparación de medias de Duncan permitió diferenciar para la región de Urabá tres conjuntos de predios con producción alta, media y baja, y para el caso del Suroeste aunque no hubo diferencias significativas, la metodología sí permitió encontrar tres grupos contrastantes de producción. El comportamiento de las propiedades químicas en los grupos de más alta y más baja producción, se presentan como, propuestas para los niveles de suficiencia y crítico respectivamente, específicos para las regiones del Urabá y Suroeste.

## **Abstract**

In order to evaluate the state of soil chemical variables with the greatest impact on nutrition and banana production, two agroecological zones of Antioquia (Colombia) in production were studied. Uraba with variety Harton and southwest with variety Dominico harton. In each one, 25 farms were evaluated. In samples composed of soil taken randomly, pH, OM, and elements, such as Ca, Mg, K, Na, P, S, Fe, Cu, Zn and B, CICE and average batch weight production were determined. The complete grouping of the farms was carried out by conglomerates through the Euclidian distance. Subsequently, six groups of farms were established, where analysis of variance allowed to establish significant differences for production between these groups ( $p \leq 0.05$ ). The Comparison of Duncan's means allowed to differentiate three sets of farms with high, medium and low production for the Uraba region. For the case of the Southwest, although it did not present significant differences, the methodology allowed to find three groups of contrast in production. The behavior of the chemical properties in the groups of highest and lowest production, are presented as proposals for the levels of sufficiency and critical (deficiency) respectively

**Keywords:** nutrition, critical points, *Musa* AAB Simmonds.

## **2.1 Introducción**

El cultivo de plátano en Colombia, ha sido un sector tradicional de economía campesina, con alta dispersión geográfica y gran importancia socioeconómica desde el punto de vista de generación de empleo y seguridad alimentaria (Espinal *et al.*, 2005; Espinal 2001,). En el

Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

---

departamento de Antioquia las principales regiones productoras de plátano son el Urabá y el Suroeste. En el caso de Urabá, se siembra la variedad Hartón, bajo el sistema de siembra de monocultivo con mercadeo tanto a nivel de exportación como nacional; en el del Suroeste, es utilizado tanto en sombrío transitorio como permanente en sistemas de siembra en asocio con café y, la variedad establecida es la Dominico Hartón (Herrera *et al.*, 2016).

El recurso suelo es fundamental para el mantenimiento y manejo de los cultivos, ya que cumple con las funciones esenciales como medio de crecimiento y desarrollo de la actividad biológica, reserva el flujo de agua, y ofrece la aireación en el perfil en los sistemas productivos (González y Castañeda 2012). De acuerdo a Belalcázar (1992), para el cultivo del plátano en el trópico, los parámetros nutricionales edáficos se han adaptado fundamentalmente con base en estudios nutricionales del cultivo de banano, de manera generalizada y con pocos ajustes a las zonas agroecológicas en donde éste se cultiva, por lo que es necesario realizar estudios que permitan simplificar, cuantificar y determinar fenómenos complejos como los indicadores de calidad físicos, químicos y microbiológicos existentes en los sistemas productivos (Cantú *et al.*, 2007; Aister *et al.*, 2001). Los indicadores edáficos se refieren a condiciones relevantes, que afectan las relaciones suelo planta, como la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y los microorganismos (SQI, 1996). Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrientes, el carbono orgánico total, el carbono orgánico lábil, el pH, la conductividad eléctrica, la capacidad de adsorción de fosfatos, la capacidad de intercambio de cationes, los cambios en la materia orgánica, el nitrógeno total y el nitrógeno mineralizable (Bautista, 2004). Para Castañeda *et al.*, (2011); Terra *et al.*, (2010); y Kravchenko *et al.*, (2003) entre las propiedades edáficas relacionadas de manera significativa

Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

con el comportamiento en la producción son el contenido de materia orgánica (MO), fósforo (P) disponible, textura, conductividad eléctrica, pH, potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) intercambiable.

El diagnóstico de la fertilidad del suelo consiste en la evaluación simultánea de los factores que interactúan en la respuesta a la producción de los cultivos entre los cuales se consideran algunos elementos climáticos y, los nutrientes disponibles en el suelo y en el tejido de las plantas (Carvajal, 1978) y (Kravchenko y Bullock 2000). Por lo tanto los estudios sobre la nutrición mineral edáfica, se basan en la calibración de los resultados de los análisis de suelos frente a la respuesta de los cultivos en campo, mediante el cual se busca determinar el nivel crítico y el de suficiencia para un nutriente en particular (Ramírez, 2008). El primer término se refiere al contenido del elemento en el suelo, por debajo del cual existe una alta probabilidad ( $\geq 0.9$ ) de respuesta a la fertilización; mientras que el segundo sugiere un nivel por encima del cual no hay respuesta ( $\leq 0.1$ ) al suministro del elemento (Sadeghian, 2009). Estos términos deben estar correlacionados con las concentraciones de nutrientes extraídos por métodos rutinarios de laboratorio y la respuesta del cultivo a la fertilización (Slaton *et al.*, 2003). Por otra parte, estos procesos requieren estudios repetitivos y continuos debido a que la calidad de los suelos y las tecnologías de producción cambian con el paso de tiempo lo que en algunos casos resulta ser costoso para las investigaciones y poco práctico (Nelson, 1999).

El análisis por conglomerados es un procedimiento estadístico multivariado que parte de un conjunto de datos que contiene información sobre una muestra de entidades e intenta reorganizarlas en grupos relativamente homogéneos a los que se llama clúster (Chacon *et al.*, 2012). Este Análisis tiene una importante tradición de aplicación en muchas áreas de



Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

---

investigación, ya que es una técnica de análisis exploratorio descriptiva, a teórica y no inferencial. Basándose en criterios geométricos ordena las variables en grupos de forma que el grado de asociación y similitud entre miembros del mismo grupo sea más fuerte que el grado de asociación y similitud entre miembros de grupos diferentes (De la Fuente, 2011). De acuerdo con Ludwig & Reynolds (1998), los resultados del análisis por conglomerados se presentan mediante dendogramas que son un resumen gráfico en forma de árbol del proceso de agrupación; allí los objetos similares se conectan mediante enlaces cuya posición en el diagrama está determinada por el nivel de similitud o disimilitud entre estos.

Patiño *et al.*, (2006) con el fin de caracterizar indicadores de fertilidad de los suelos en la zona cafetera utilizaron métodos por conglomerados y comparación de medias, lo cual les permitió la identificación de las variables relacionadas con el comportamiento nutricional de los suelos (pH, MO, Ca, Mg, P y K), permitiendo diferenciar grupos de zonas con adecuados niveles de fertilidad y grupos con mediana y baja fertilidad. Por su parte Jamioy *et al.*, (2011) recomiendan la prueba de Duncan para interpretar la influencia de los sistemas de producción en los indicadores químicos asociados a la calidad del suelo. El objetivo del presente trabajo consistió en agrupar por conglomerados los predios en estudio, utilizando como variables los indicadores de calidad química del suelo y su relación con la producción para el cultivo del plátano en las regiones de Urabá y Suroeste antioqueño.

## **2.2 Materiales y métodos**

### **2.2.1 Descripción del área de estudio**

El proyecto se realizó en las regiones de Urabá y Suroeste del departamento de Antioquia. En ambas se muestrearon 25 fincas distribuidas, en el Urabá en los municipios de Arboletes, Mutatá, Necoclí, San Juan de Urabá, San Pedro de Urabá y Turbo, las cuales están establecidas con la variedad Hartón (Figura 3 y Tabla 4), en el Suroeste, en los municipios de Andes, Betania, Hispania, Jardín, Jericó, Pueblo Rico y Támesis, donde se cultiva la variedad Dominico hartón que se adapta a estas zonas de vida (Figura 2 y Tabla 2).

Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

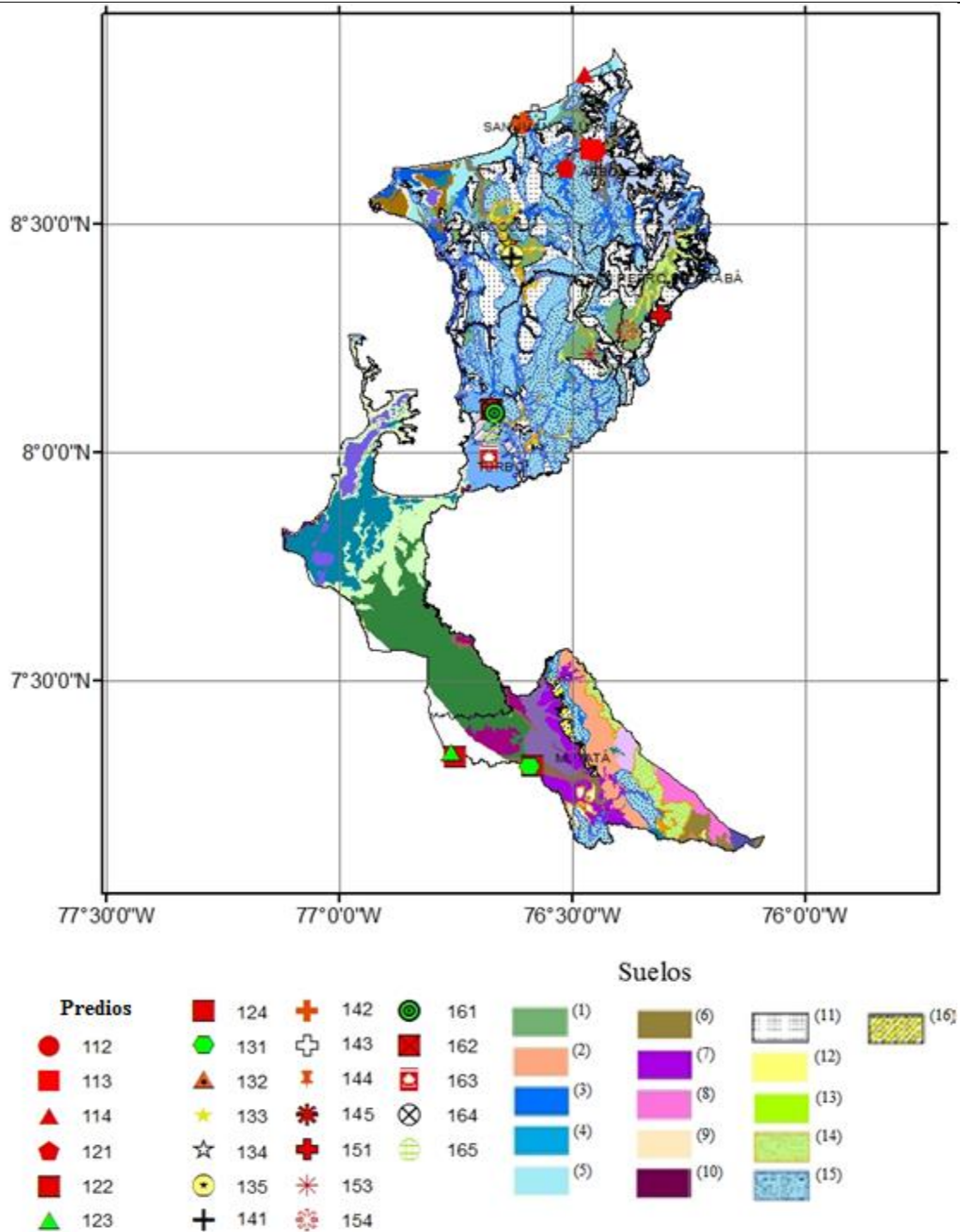


Figura 1. Mapa de Suelos y distribución de predios en los municipios de Arboletes, Mutatá, Necoclí, San Juan de Urabá, San Pedro de Urabá y Turbo (Ver Tabla 1 y 3 para la leyenda)

(García *et al.*, 2007).

## Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

Tabla 3. Descripción de los suelos de la región de Urabá en los municipios de Arboletes, Mutatá,

Necoclí, San Juan de Urabá, San Pedro de Urabá y Turbo (Ver mapa Figura 1) (García *et al.*, 2007).

Símbolo	Suelos
 1	Suelos de clima cálido húmedo desarrollados a partir de sedimentos aluviales medianos y finos con aportes gravillosos en los sectores más degradados; son pobremente drenados y profundos a superficiales (Entisol).
 2	Suelos de clima cálido muy húmedo, desarrollados a partir de rocas ígneas, bien drenados, texturas moderadamente finas, moderadamente profundos limitados por fragmentos de roca (Entisol).
 3	Suelos de clima cálido seco presentan sedimentos coluviales y aluviales; son pobremente drenados, moderadamente profundos, limitados por la fluctuación de nivel freático y la susceptibilidad a las inundaciones y encharcamientos (Inceptisol).
 4	Suelos de clima cálido húmedo desarrollados a partir de depósitos coluviales sobre gravas y basaltos, son bien drenados, texturas gruesas; profundos y limitados por pedregosidad (Inceptisol).
 5	Suelos de clima cálido seco; desarrollados a partir de sedimentos finos que son movidos por la acción de las mareas; son superficiales a profundos; el drenaje es pobre, las texturas son finas y medias, actualmente las olas los afectan y forman taludes o acantilados (Inceptisol).
 6	Suelos de clima frío muy húmedo desarrollados a partir de rocas sedimentarias, son profundos y bien drenados; presentan erosión ligera y moderada por escurrimiento difuso (Inceptisol).
 7	Suelos de clima cálido muy húmedo desarrollados a partir de depósitos aluviales mixtos, son bien drenados, texturas medias a gruesas, limitados por cascajo, piedra y nivel freático (Entisol).
 8	Suelos de clima frío húmedo son profundo a superficiales, limitados por gravillas y piedras, de texturas finas y medias con fragmentos de roca, fuertemente ácidos y fertilidad baja (Entisol).
 9	Suelos de clima cálido húmedo, presentan sedimentos minerales y orgánicos de origen fluvial y marino; son muy superficiales, con drenaje natural muy pobre a pantanoso y no evidencian desarrollo pedogenético; las texturas son finas a veces con substrato arenoso (Entisol).
 10	Suelos de clima cálido muy húmedo, la unidad representa la Planicie Aluvial de desborde del Río Atrato, lo que ocasiona inundaciones por desborde lateral y determina un patrón de sedimentación selectiva, con materiales orgánicos y minerales arcillosos (Entisol).
 11	Suelos de clima cálido seco desarrollados a partir de rocas sedimentarias, son bien drenados, de texturas moderadamente finas a finas (Inceptisol).
 12	Suelos de clima cálido, son esqueléticos, abarcan afloramientos de rocas en lomas y colinas (Entisol).
 13	Suelos de clima frío muy húmedo desarrollados a partir de materiales aluviales y coluvio-aluviales; son superficiales a moderadamente profundos, limitados por el nivel freático, gravillas o piedras; las texturas son medias a finas y la fertilidad moderada a baja (Inceptisol).
 14	Suelos clima templado húmedo desarrollados a partir de rocas ígneas plutónicas y volcánicas con influencia de cenizas volcánicas en las áreas más elevadas. Son bien drenados y profundos, con texturas finas y moderadamente finas y de fertilidad alta a moderada (Inceptisol).
 15	Suelos de clima cálido húmedo desarrollados a partir de rocas sedimentarias (arcillolitas, areniscas, calizas), son bien drenados, texturas moderadamente finas y finas, moderadamente profundos a profundos y limitados por pedregosidad (Inceptisol).
 16	Suelos de clima cálido húmedo y cálido muy húmedo desarrollados a partir de rocas sedimentarias y depósitos coluviales, en gran parte son bien drenados y las inclusiones de suelos presentan drenaje pobre, texturas moderadamente finas a finas, profundos y superficiales limitados por nivel freático fluctuante en un 10% de la unidad (Inceptisol).

Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

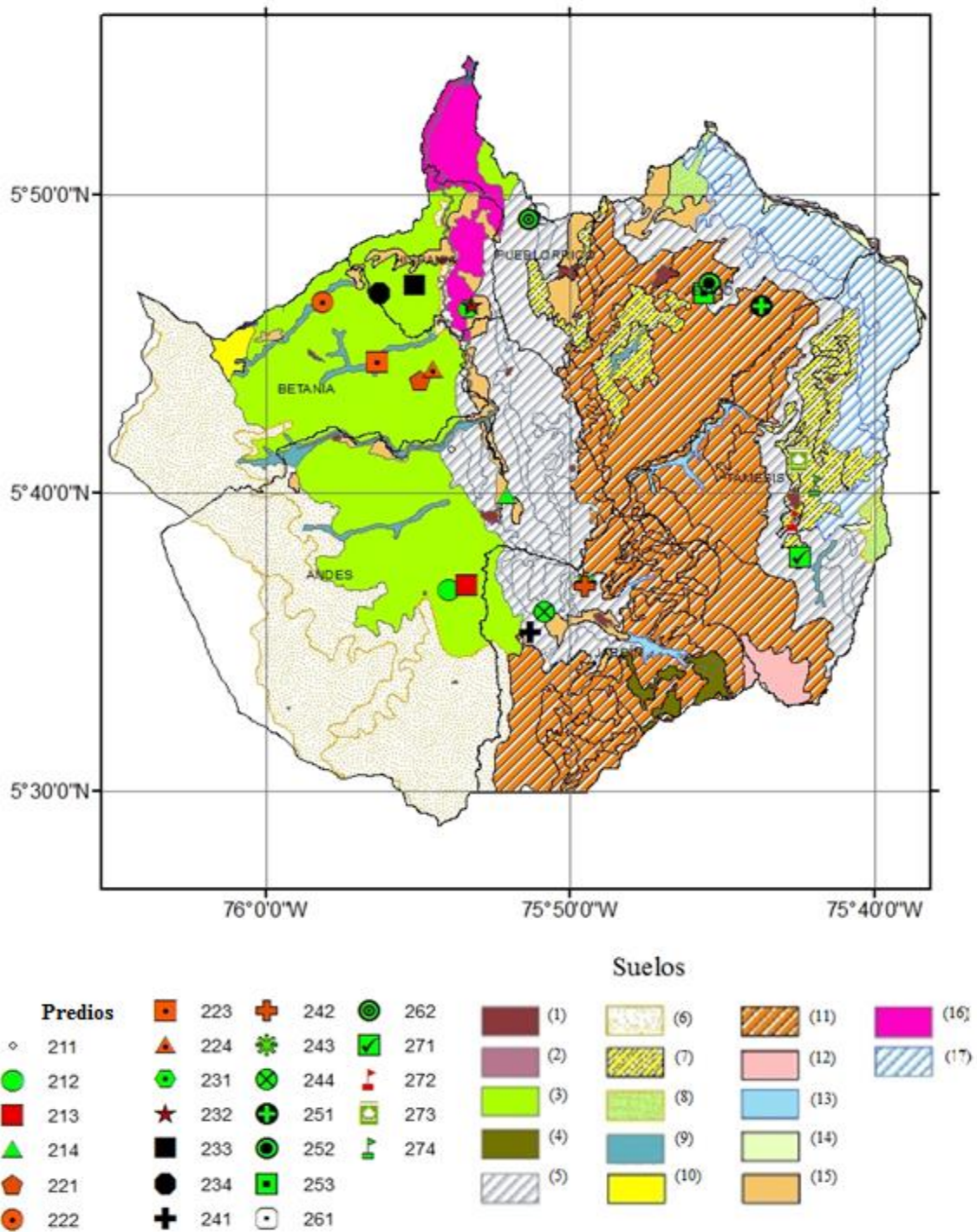


Figura 2. Mapa de Suelos y distribución de predios en los municipios de Andes, Betania, Hispania, Jardín, Jericó, Pueblo Rico y Tamesis (Ver Tabla 2 y 3 para la leyenda) (García *et al.*, 2007).

## Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

Tabla 4. Descripción de los suelos de la región del Suroeste en los municipios de Andes, Betania,

Hispania, Jardín, Jericó, Pueblo Rico y Támesis (Ver mapa Figura 1) (García et al., 2007).

Simbolo	Suelos
 1	Suelos de clima calido superficiales y moderadamente profundos, bien a moderadamente bien drenados con inundaciones periódicas; texturas variadas, fertilidad baja a alta (Inceptisol).
 2	Suelos de clima cálido húmedo, desarrollados a partir de aluviones; son superficiales, limitados por nivel freático fluctuante, imperfectamente drenados, afectados por Inundaciones periódicas (Inceptisol).
 3	Suelos de clima templado húmedo con depósitos de cenizas volcánicas en las áreas más elevadas, alta saturación de aluminio, moderadamente acidos y fertilidad baja a moderada (Andisol).
 4	Suelos de clima frío húmedo, moderadamente profundos, drenaje natural bueno, texturas finas a medias, reacción fuertemente ácida, fertilidad moderada (Andisol).
 5	Suelos de clima templado húmedo, son profundos y superficiales, limitados por la roca, bien drenados, algunos con alta saturación de aluminio, moderadamente ácidos, fertilidad baja a moderada (Andisol).
 6	Suelos de clima frío, moderadamente profundos, drenaje natural excesivo, texturas moderadamente gruesas a medias; algunos con material orgánico, fertilidad baja a moderada, erosión ligera.
 7	Suelos de clima templado, derivados a partir de cenizas volcánicas depositadas sobre rocas ígneas; son profundos, bien drenados, con texturas medias a finas y de buena fertilidad (Andisol).
 8	Suelos de clima cálido seco derivados de rocas sedimentarias, excesivamente drenados, superficiales limitados por pedregosidad; texturas moderadamente finas y su fertilidad es alta (Andisol).
 9	Suelos de clima templado húmedo, desarrollados a partir sedimentos coluviales, son superficiales. El drenaje es pobre, estructura en formación de los horizontes superiores y de fertilidad media. (Inceptisol).
 10	Suelos de clima frío muy húmedo, se han desarrollado a partir de cenizas volcánicas y rocas sedimentarias, son profundos y bien drenados; presentan erosión ligera (Andisol).
 11	Suelos de clima frío muy húmedo desarrollados de cenizas volcánicas sobre rocas ígneas plutónicas, de texturas medias, bien drenados, limitados por una capa endurecida de $Fe_2O_3$ (Andisol).
 12	Suelos de clima muy frío o paramo, el relieve es quebrado a muy escarpado con pendientes mayores de 25%, los suelos se han desarrollado a partir de cenizas volcánicas y bien drenados, de texturas medias, fuertemente ácidos y fertilidad baja (Andisol).
 13	Suelos de clima frío muy húmedo desarrollados a partir de materiales aluviales y coluviales, bajos, terrazas y abanicos; son superficiales, las texturas son medias a finas y de fertilidad baja (Andisol).
 14	Suelos de clima cálido seco desarrollados a partir de depósitos aluviales mixtos, son bien drenados, texturas moderadamente gruesas y finas, limitados por pedregosidad (Inceptisol).
 15	Suelos de clima templado, desarrollados a partir de depósitos coluviales; son profundos limitados por presencia de fragmentos de roca como gravillas y piedras en el perfil; fertilidad muy baja a alta (Andisol).
 16	Suelos de clima templado húmedo desarrollados a partir de rocas ígneas plutónicas y volcánicas, son bien drenados y profundos, con texturas y de fertilidad alta a moderada (Andisol).
 17	Suelos de clima cálido seco desarrollados a partir de depósitos aluviales y coluviales mixtos, son bien drenados, texturas medias, moderadamente finas y finas, profundidad moderada a profunda. (Andisol).

### 2.2.2 Zonas de vida de la zona estudiada

En los municipios evaluados en el Urabá la zona de vida más común es el bosque húmedo (bh) con una temperatura promedio de 24°C, mientras que en los municipios evaluados en el Suroeste prima el clima templado con una zona de vida de bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB) (Tabla 5).

Tabla 5. Características climáticas de la zona de estudio y código de predios.

Municipio	ASNM (m)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm año <sup>-1</sup> )	Zona de vida
1. Urabá				
1. Arboletes	0-100	>24	1000-2000	bs-T
	100-300	20 - 25	1500-3000	bh-PMt
2. Mutatá	0-100	>24	4000-8000	bmh-T
3. Necoclí	100-300	20 - 25	1500-3000	bh-PMt
4. San Juan	0-100	>24	1000-2000	bs-T
5. San Pedro	0-100	>24	2000-4000	bh-T
6. Turbo	0-100	>24	2000-4000	bh-T
2. Suroeste				
1. Andes	1300-1600	12 - 18	2000-4000	bmh-MB
2. Betania	1300-1600	12 - 18	2000-4000	bmh-MB
3. Hispania	1300-1400	12 - 18	2000-4000	bmh-MB
4. Jardín	1600-1900	12 - 18	2000-4000	bmh-MB
5. Jericó	1800-1900	12 - 18	2000-4000	bmh-MB
6. Pueblo Rico	1400-1600	12 - 18	2000-4000	bmh-MB
7. Támesis	1200-1600	18 - 24	1000-2000	bh-PM

Fuente: García *et al.* (2007)



### **2.2.3 Selección de predios y muestreo**

Los predios del estudio se seleccionaron de acuerdo a la aplicación de una encuesta de carácter socioagronómica (Álvarez *et al.*, 2016), para ello se contó con el apoyo logístico de las secretarías de agricultura y medio ambiente (SAMA) municipales, de las Asociaciones de plataneros y de la disponibilidad de los productores tanto para participar en el proyecto como para suministrar la información requerida. En este sentido se tuvieron en cuenta las siguientes características: productores comercializadores de fruta, prácticas agronómicas y de fertilización del cultivo.

Las fincas se codificaron mediante un número de tres dígitos, así: el primer dígito para la región (1. Urabá, 2. Suroeste), el segundo dígito hace referencia al municipio (1 a 6 para urabá y 1 a 7 para suroeste), y el tercer dígito al consecutivo de los predios seleccionados, dentro de cada municipio (Tabla 5).

El muestreo se realizó de manera aleatoria seleccionando en cada predio entre 20 y 30 sitios (plantas) a través de recorridos en zig - zag. Se retiró la hojarasca y arvenses existentes y con la ayuda de un barreno se tomaron submuestras edáficas a 20 cm de la base del pseudotallo (al frente del retorno o puyón) y a 30 cm de profundidad (Figura 2). Estas se vertieron en un recipiente limpio, se homogenizaron adecuadamente y se tomó una muestra compuesta de 500g, la cual se marcó y envió al Laboratorio de Suelos y Nutrición de Plantas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, para la determinación de las variables químicas.



Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

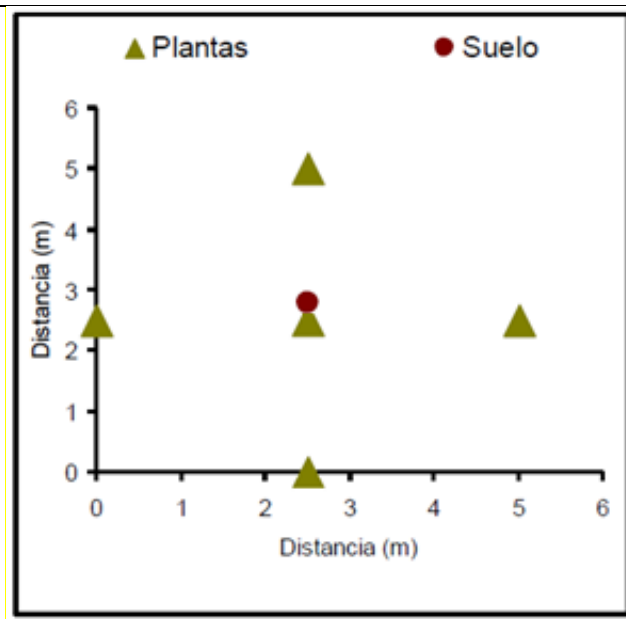


Figura 3. Representación del muestreo de suelos químico alrededor de la planta.

#### 2.2.4 Procesamiento de muestras

Las muestras de suelo que se utilizaron para determinar la textura, el pH, la CICE y los contenidos de Ca, Mg, K, Na, Al, P, Fe, Mn, Cu, Zn y B, se secaron a 40 °C durante 48 horas y se pasaron por un tamiz No. 10 con abertura de 2 mm. Las muestras para determinar el contenido de materia orgánica, después de secadas, se pasaron por un tamiz No. 30 de 0.6 mm de abertura. Los métodos para el análisis químico de cada una de las propiedades se detallan en la Tabla 6. Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

Tabla 6. Métodos y/o técnicas seguidos para evaluar las propiedades químicas de los suelos en el laboratorio

<b>Propiedad Química del Suelo (Símbolo)</b>	<b>Método y/o Técnica (Unidades)</b>
pH (pH)	Potenciométrico en agua (1:1 v:v)
Contenido de Materia Orgánica (MO)	Walkley – Black y volumetría (%)
Capacidad de Intercambio Catiónico efectivo (CICE)	Extracción con acetato de amonio 1N y neutro y colorimetría (cmol (+) kg <sup>-1</sup> suelo)
Contenidos de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), Sodio (Na) intercambiables	Extracción con acetato de amonio 1N pH neutro y absorción atómica (cmol (+) kg <sup>-1</sup> suelo)
Contenido de Aluminio intercambiable (Al)	Extracción con KCl y colorimetría (cmol (+) kg <sup>-1</sup> suelo)
Contenido de Fósforo disponible (P)	Bray II y colorimetría (ppm)
Contenidos de Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn)	Olsen modificado y adsorción atómica (ppm)
Contenido de Boro (B)	Extracción con agua caliente y colorimetría (ppm)

Fuente: García *et al.* (2007), Jaramillo (2014) y Zapata (2014)

### 2.2.5 Evaluación de la producción

Se realizaron muestreos en épocas de cosecha, seleccionando diez (10) racimos al azar y con la ayuda de una báscula digital, se les determinó su peso total (Kg). También se tomó en cuenta el historial de producción de cada predio así como de rendimiento.

### 2.2.6 Análisis de la información

El agrupamiento de las fincas se realizó con base en las variables químicas del suelo, siguiendo la metodología multivariada de conglomerados. Las variables fueron estandarizadas y normalizadas de acuerdo al método de Gower, con el objeto de evitar sesgos por unidades y magnitud de las variables. Para establecer las distancias entre variables y predios teniendo en cuenta que no existe conocimiento previo de los grupos a establecer,

Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

se analizaron los datos por la distancia métrica de Minkowsky, también conocida como distancia euclidiana definida como:

$$^{(1)}d(X, Y) = [\sum_{i=1}^p |X_i - Y_i^m|],^{1/m}$$

<sup>(1)</sup>Distancia entre dos punto en  $p$  dimensiones, donde  $m = 2$

Posteriormente se agruparon los predios mediante el método completo. Cada predio se asoció con el grupo del conglomerado en el cual se ubicó, generándose así una variable categórica adicional. Finalmente se estableció por análisis de varianza, la relación entre los grupos con la producción y usando la metodología de Duncan con un nivel de significancia ( $p < 0.05$ ), se establecieron las diferencias en el peso promedio de racimos entre los grupos. De acuerdo con esta prueba los predios se reagruparon en dos categorías, las de más alta producción y las de más baja. Para el establecimiento de los puntos de suficiencia de cada variable química del suelo, se estimaron como el valor promedio de las variables químicas evaluadas en los predios según la categoría Duncan de más alta producción y el punto crítico o de deficiencia y más alta respuesta como el valor promedio de las variables químicas evaluadas en los predios de más baja producción. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software estadístico y de programación R-project® 2015 versión 3.2.2.

## **2.3 Resultados y discusión**

### **2.3.1 Agrupamiento según las variables químicas del suelo**

Los árboles con las agrupaciones de las fincas, con su respectiva probabilidad de agrupamiento, se presentan en las Figuras 4 y 5, para las regiones de Urabá y Suroeste, respectivamente. En cada una de estas se muestran los seis agrupamientos de los predios del tercer nivel (A a F), seleccionados y formados a una distancia euclídea de alrededor de las 0.6 unidades, que fue el número de grupos con mejor asociación con los rendimientos. El porcentaje de probabilidad con la que los grupos fueron separados en cada región aparece en cada rama del árbol (Clusters).

En la región de Urabá el grupo A está conformado por tres predios ubicados en el municipio de San Juan de Urabá (143, 141 y 144); el grupo B (165, 113 y 145) son predios localizados en los municipios de Turbo, Arboletes y San Juan de Urabá respectivamente; para el grupo C los predios (121, 122, 123 y 124) pertenecen al municipio de Mutatá; el grupo D conformado por tres predios, dos (112 y 114) pertenecientes al municipio de Arboletes y uno (132) de Necoclí; al grupo E pertenecen los predios 131 y 133 correspondientes al municipio de Necoclí y los predios 151 y 154 que corresponden a San Pedro de Urabá; y finalmente el grupo F con mayor diversidad de predios, está conformado por ocho predios, cuatro de ellos localizados en el municipio de Turbo (161, 162, 163 y 164), dos pertenecientes al municipio de Necoclí (134 y 135), uno (153) ubicado en San Pedro de Urabá y uno (142) en el municipio de San Juan de Urabá (Figura 4). En la Tabla 7 y 8 se describen las características climáticas y de suelos para cada uno de los grupos clasificados por el conglomerado para ambas regiones de estudio.

Tabla 7. Características de los grupos de predios establecidos por el conglomerado en la región de Urabá.

Grupo	Predios	Municipios	Características	
			Climáticas	Suelos
A <sup>(1)</sup>	141, 143 y 144	San Juan de Urabá	Cálido seco	Desarrollados a partir de sedimentos finos que son movidos por la acción de las mareas y su drenaje natural es pobre.
B <sup>(1)</sup>	165, 113 y 145	San Juan de Urabá, Turbo y Arboletes	Cálido húmedo	Desarrollados a partir de rocas sedimentarias, con drenajes pobres por acción de las mareas y presenta texturas entre moderadamente finas y finas.
C <sup>(1)</sup>	121, 122, 123 y 124	Mutata	Cálido muy húmedo	Desarrollados a partir de depósitos aluviales mixtos, texturas medias a gruesas, limitados por cascajo, piedra y nivel freático lo que favorece su drenado.
D <sup>(1)</sup>	112, 114 y 132	Arboletes y Necoclí	Cálido	Presentan buen drenaje, texturas entre moderadamente gruesas y finas, limitados por fragmentos de roca.
E <sup>(1)</sup>	131, 133, 151 y 154	Necoclí y San Pedro de Urabá	Cálido seco	Desarrollados a partir de rocas sedimentarias, bien drenados y con texturas moderadamente finas.
F <sup>(2)</sup>	161, 162, 153, 164, 153, 134, 135 y 142	Turbo, Necoclí, San Juan y San Pedro de Urabá	Cálido húmedo y cálido seco	Caracterizados por franjas de depósitos aluviales no consolidados conformados por arenas, arcillas y gravas de origen marítimo.

<sup>(1)</sup>(García *et al.*, 2007); <sup>(2)</sup>(Invemar *et al.*, 2008).

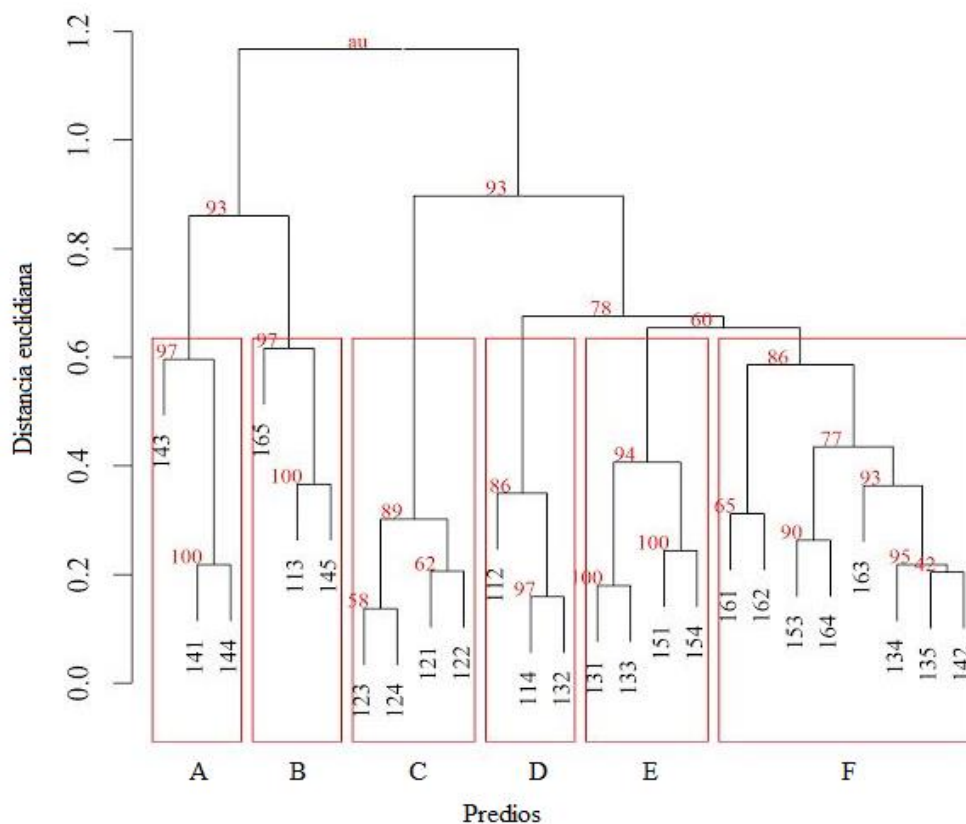


Figura 4. Agrupamiento de los predios en el Urabá de acuerdo a las variables indicadoras de fertilidad química de los suelos.

Para la región del Suroeste el grupo A está conformado por dos predios ubicados en el municipio de Andes (211 y 212); El grupo B (244, 231 y 261) son predios ubicados en los municipios de Hispania, Jardín y Pueblo Rico respectivamente; el grupo C está conformado por seis predios, uno de ellos localizado en el municipio de Andes (214), uno perteneciente al municipio de Pueblo Rico (262), dos ubicados en el municipio de Jardín (242 y 243) y uno en el municipio de Támesis (274); el grupo D con mayor diversidad de predios está conformado por seis predios, uno de ellos localizado en el municipio de Andes (213), uno perteneciente al municipio de Betania (222), uno perteneciente al municipio de Jardín (241), dos ubicados en el municipio de Jericó (251 y 253) y dos en el municipio de Támesis (271 y 273). El grupo E está conformado por tres predios, el primero de ellos localizado en el

Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

municipio de Jericó (252), el segundo en el municipio de Betania (223) y el tercero en el municipio de Támesis (272); y el finalmente el grupo F pertenecen los predios 221 y 224 correspondientes al municipio de Betania y los predios 233 y 234 que corresponden al municipio de Jardín (Figura 5).

Tabla 8. Características de los grupos establecidos por el conglomerado en la región del Suroeste.

Grupo	Predios	Municipios	Características	
			Climáticas	Suelos
A <sup>(1)</sup>	211 y 212	Andes	Templado húmedo	Presentan alta saturación de aluminio, son moderadamente ácidos y su fertilidad es baja a moderada con depósitos de ceniza volcánica.
B <sup>(1)</sup>	244, 231 y 261	Hispania, Jardín y Pueblo Rico	Templado húmedo	El comportamiento químico está definido por depósitos de cenizas volcánicas y alta cantidad de materia orgánica.
C <sup>(1)</sup>	214, 242, 243, 232, 262, 274	Andes, Hispania, Jardín, Pueblo Rico y Támesis	Templado Húmedo	Suelos derivados a partir de cenizas volcánicas, son profundos, de fertilidad moderada presentan alta capacidad "buffer", son bien drenados con texturas medias a moderadamente finas.
D <sup>(1)</sup>	213, 222, 241, 251, 253, 271 y 273	Andes, Betania, Hispania, Jericó y Támesis	frio húmedo	
E <sup>(1)</sup>	252, 223 y 272	Jericó, Betania y Támesis	Templado muy húmedo	Presentan depósitos de cenizas volcánicas, están limitados por una capa endurecida de óxidos de hierro, presentan texturas medias y son bien drenados.
F <sup>(1)</sup>	221, 224, 233 y 234	Betania y Jardín		Presentan texturas finas y medias, tienen alta saturación de aluminio, son fuerte a moderadamente ácidos y su fertilidad es de baja a moderada.

Fuente: <sup>(1)</sup> (García *et al.*, 2007).

Según Cardona y Sadeghian (2005) mediante estudios de suelos en esta región, indican que este comportamiento homogéneo en estos suelos es debido a que presentan alta capacidad

Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

“buffer” y a que se ubican en el orden Andisol, donde las variables químicas de mayor representación en el comportamiento nutricional son N, MO, pH y CICE. Estos indicadores de fertilidad se expresan y ajustan acorde al cultivo de interés, en el este caso el Café. Por su parte García *et al.* (2007), indica que estos suelos presentan alta saturación de acides y óxidos de hierro con baja fertilidad, donde las practicas agronómicas que se les realizan a los cultivos son aplicadas de manera no apropiada.

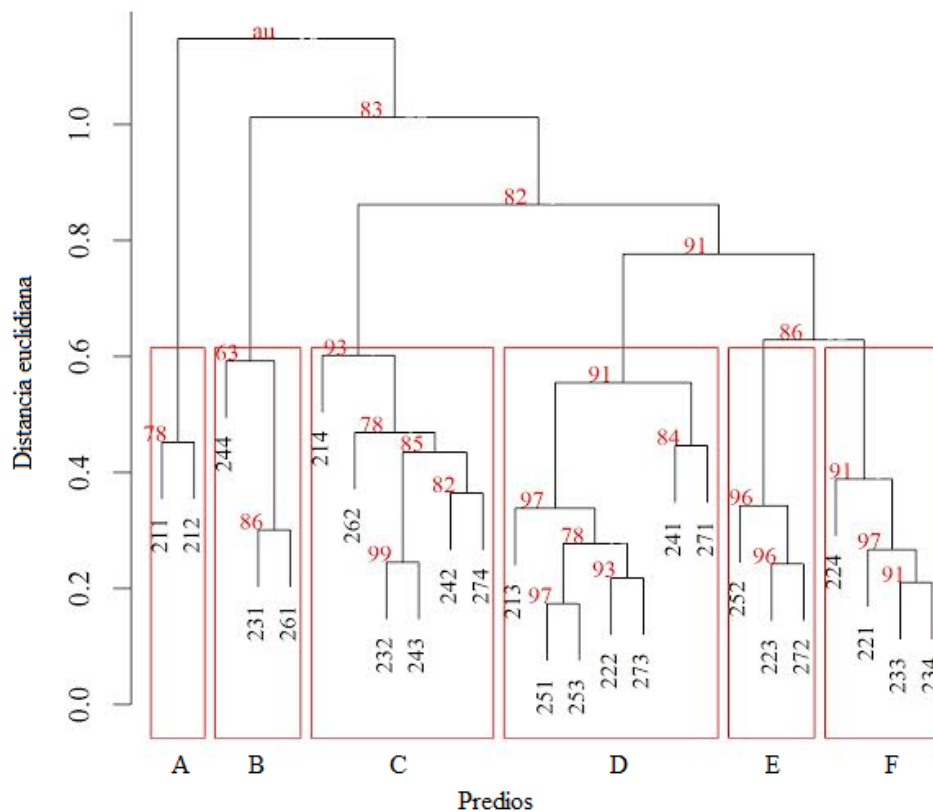


Figura 5. Agrupamientos de los predios en el Suroeste de acuerdo a las variables indicadoras de fertilidad química de los suelos.



### **2.3.2 Determinación de los puntos críticos y su relación con la producción**

El análisis de varianza para peso de racimo como variable respuesta y grupos de predios como variable explicativa mostró diferencias significativas para el peso promedio del racimo, entre los grupos establecidos por el conglomerado, para la región de Urabá. Con el análisis de comparación de medias de Duncan, en la región de Urabá se observó que el grupo con mayor producción es el A (14.11 kg racimo<sup>-1</sup> en promedio), los grupos B, F y E se ubican en la categoría de media producción (entre 10.33 y 11.55 kg racimo<sup>-1</sup> en promedio), mientras que los grupos D y C se ubican en la categoría con menor producción (8.17 y 6.9 kg racimo<sup>-1</sup> en promedio, respectivamente). En la Tabla 9 se describe el estado de cada elemento nutritivo según el reagrupamiento de los predios en las tres categorías de producción separadas por la metodología Duncan, así b: baja, ab: media y a: alta, producción respectivamente. En este sentido los grupos con baja y media producción en la región de Urabá presentan suelos moderadamente ácidos (pH 6.06 – 6.31), teniendo en cuenta la descripción de Jaramillo (2011), corroborado por el bajo nivel de las bases intercambiables calcio, magnesio y potasio; mientras que el grupo de alta producción presenta suelos ligeramente ácidos (pH 6.5). En ninguno de los suelos se determinó la presencia de aluminio intercambiable como era de esperarse según lo reporta Osorio, (2014) quien determinó que en los suelos del trópico con pH mayores de 5.5 no hay presencia de la forma intercambiable de este elemento en los sistemas productivos; a su vez García *et al.* (2007), reporta que los suelos cultivados en plátano de la región de Urabá normalmente presentan pH neutro, capacidad de intercambio catiónico media, presencia de bases totales media y de fósforo bajos. La materia orgánica en términos de porcentaje presenta un nivel bajo (1.5 y 2.5 %) en los grupos de baja y media producción, indicando suelos intervenidos y manejados de forma

Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

---

inadecuada. Belalcázar (1992), en estudios en la región de Urabá indica que por sus condiciones de clima cálido y húmedo ésta debe presentarse entre 3-5 % ya que contribuye a aumentar la CICE y a regular los contenidos de agua y aire en el suelo. En este caso el grupo A presenta un nivel de materia orgánica de 4%, lo que puede favorecer la CICE como lo sugiere Belalcázar (1992).

Por otra parte en los grupos de baja y media producción presentaron niveles altos de elementos como B y Mn con respecto al grupo de alta producción, lo que puede representar excesos dichos elementos en estos suelo (Tabla 9). El S presenta niveles bajos para todas las categorías según la descripción de Sánchez y Mira (2013), quienes recomiendan para estos suelos un nivel de entre 10 y 12 mg kg<sup>-1</sup> para una buena relación de equilibrio nutricional. De acuerdo a lo anterior López y Espinosa (1995), indican que esta situación suele presentarse en regiones húmedas y suelos con bajos contenidos de materia orgánica ya que el 95% de este elemento se encuentra asociado y retenido a este componente y el restante se puede lixiviar fácilmente.

Para el caso de la región del Suroeste el análisis de varianza no presentó diferencias significativas entre los grupos establecidos por el conglomerado con respecto la producción, debido a la alta variabilidad presentada por esta dentro de los grupos, Sin embargo, en la Tabla 9 se puede observar la asociación entre el nivel de producción con los grupos, aunque no significativa, permitiendo proponer tres categorías de producción, así: alta y baja para los predios del grupo de mayor (grupo D) y de menor (grupo E) peso de racimo, respectivamente y media los predios de los grupos (grupos F, B, C, A) entre los dos anteriores. En términos de acidez el pH encontrado en estos suelos varía entre 4.45 y 4.85, lo que según la descripción

Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

---

de Jaramillo (2011) los ubica entre las categorías de muy fuertemente ácidos a extremadamente ácidos (Tabla 9). De acuerdo con Espinal (2012) y Zapata (2014), esta acidez suele estar asociada al alto contenido de material orgánico fresco y humificado donde se producen biomoléculas de bajo peso molecular como fuentes de protones y como agentes complejantes de cationes metálicos. A su vez Sánchez, (1981) describe que este fenómeno está asociado a que los procesos de transformación de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) son muy lentos. En esta región los grupos de media y baja producción presentan un nivel bajo de materia orgánica con respecto al grupo de alta producción lo que puede aumentar la acidez de estos suelos como lo indica Sánchez (1981). A lo anterior también se asocia el bajo contenido de fósforo en estos suelos, esto según Espinosa (2004) es debido a la alta capacidad que poseen estos para inmovilizar (fijar) el fósforo (P) en la superficie de los minerales amorfos, con respecto al grupo de alta producción (Tabla 9).

Tabla 9. Niveles de fertilidad del suelo en relación con los niveles de producción, obtenidos por conglomerados y reagrupados según la metodología Duncan, propuestas para las regiones del Urabá y del Suroeste Antioqueño.

Región	GC <sup>(1)</sup>	PR <sup>(2)</sup>	CP <sup>(3)</sup>	Duncan <sup>(7)</sup>	Variables químicas															
					pH	MO %	Ca	Mg	K	Na	CICE	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B		
Urabá	<b>A</b>	14.11	A <sup>(4)</sup>	a	6	4	21.6	6.66	1.34	0.08	29.7	52.3	3	33.3	1.33	3.33	1.66	2.4		
	<b>B</b>	11.55		ab																
	<b>F</b>	11.49	M <sup>(5)</sup>	ab	6.06	2.5	11.6	6.5	0.44	0.11	18.7	9.42	1.5	39.6	3	2.5	1.42	3.6		
	<b>E</b>	10.33		ab																
	<b>D</b>	8.17	B <sup>(6)</sup>	b	6.31	1.5	10.31	5.2	0.21	0.08	15.8	16.25	3.6	32.7	2.37	3	1	6.7		
	<b>C</b>	6.90																		
Suroeste	<b>D</b>	22.16	A		4.45	17.7	9.15	2.93	0.6	0.03	7.05	29.5	9.5	226.5	10.5	3	3	1.05		
	<b>F</b>	19.4																		
	<b>B</b>	19.2		a																
	<b>C</b>	17.9	M		4.53	10.7	1.22	0.71	0.44	0.03	5.76	5	7.9	131.5	7.9	3.36	2.36	0.67		
	<b>A</b>	17.47																		
	<b>E</b>	14.21	B		4.85	5.82	3.052	0.65	0.4	0.05	14.21	7.1	7.83	83.2	11.3	4.91	4.25	0.68		

<sup>(1)</sup> Grupos definidos por el conglomerado, <sup>(2)</sup> Peso del racimo en kg, <sup>(3)</sup> Categoría de producción, <sup>(4)</sup> Alta, <sup>(5)</sup> Media, <sup>(6)</sup> Baja,

<sup>(7)</sup> Diferencia significativa ( $\alpha \leq 0.05$ ).

Por otra parte, el contenido de hierro (Fe) presente en los suelos de la región del Sureste es considerado alto en todos los grupos indicando procesos de reducción, durante largos períodos del año, superando ampliamente el rango sugerido por Muñoz y Guerrero (1995), quienes recomiendan que el nivel ideal de este elemento debe estar entre 50 -60 ppm para el cultivo del plátano Dominicano hartón. Los elementos como manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn) se presentan en mayor proporción en el grupo de baja producción (E) con respecto al grupo de alta producción (D) (Tabla 4), reforzando la idea de reducción, ya que el Cu y el Mn también se ven favorecidos por condiciones reductoras en el suelo. Para Marín, (1989) en suelos de orden Andisoles, estos nutrientes deben presentarse en los siguientes niveles: Mn: 6, Cu: 3 y Zn: 1.5 ppm.

### **2.3.3 Balance nutricional**

Según López y Espinosa (1995), en los cultivos de Musáceas es importante tener en cuenta el equilibrio K-Ca-Mg en el suelo debido a que, la aplicación de estos elementos suele estar basada en el contenido del elemento en el suelo y en función de corregir la acidez, sin tener en cuenta su balance nutricional. En la región de Urabá los grupos de baja y media producción presentan bajos niveles de las bases intercambiables (Ca, Mg y K) con respecto al grupo de alta producción. En este sentido el grupo A presenta niveles adecuados para dichas relaciones; Mg/K (4.97), Ca/K (16.11), (Ca + Mg)/K (21.08), valores muy parecidos a los descritos por Sánchez y Mira (2013), para la región de Urabá (4.4, 16 y 20, respectivamente). Por otra parte, para los grupos de media y baja producción la relación Ca/Mg se encuentra en

## Propuesta metodológica para el establecimiento de variables indicadoras de fertilidad química en suelos plataneros.

---

un nivel bajo (1.78 y 1.98, respectivamente), debido al alto contenido de calcio con respecto al de magnesio; la relación Mg/K se encuentra en un nivel ideal (24.76 y 14.77), mientras que la relación Ca/K (49.09 y 26.36) y la relación (Ca+Mg)/K (73.85 y 41.13, respectivamente) se encuentran en un nivel alto, con respecto al grupo de alta producción. Lahav y Tuner (1992), citados por López y Espinosa (1995), indican que en las relaciones Ca/K y Mg/K existe un antagonismo entre estos nutrientes, de tal forma que la alta concentración de uno afecta negativamente la disponibilidad de otro para la planta.

En el caso de la región del Suroeste según Rojas *et al.* (1992), la relación Ca/Mg es la más importante a tener en cuenta en estos suelos ya que se caracterizan por tener buena capacidad de amortiguamiento (buffer) y por ende se requieren altas aplicaciones de estos elementos. En este sentido el grupo de alta producción (D), presenta una relación Ca/Mg de 4.69, Ca/K de 7.62, Mg/K de 1.62 y (Ca + Mg)/K de 9.25. Muñoz y Guerrero (1995) indican que para estos suelos, la relación Ca/Mg debe estar alrededor de 2.5 y mientras que las relaciones Ca/K, Mg/K y (Ca + Mg)/K deben estar entre (3.5, 15.7 y 22 respectivamente). En los grupos de media y baja producción (F, B, C, A y E) las relaciones Ca/Mg (1.98 y 1.71), Ca/K, (8.83 y 2.77), Mg/K (4.45 y 1.61) y Ca + Mg/K (4.38 y 13.28) se encuentran en un nivel bajo, con respecto al grupo de alta producción, indicando que se debe realizar manejo de estos elementos en el suelo y posteriormente establecer un balance ideal entre los mismos. En ese sentido, los predios del grupo D, son los que tienden a presentar un mejor balance en cuanto a las relaciones Ca, Mg y K, aunque su nivel en el suelo es bajo y en consecuencia a estar asociados a los predios de más altos rendimientos. Caso contrario se presenta con los predios del grupo E, que a pesar de presentar los mayores contenidos de Ca, Mg y K en el suelo, están asociados con las menores producciones, debido a las bajas relaciones presentadas por

las bases. Teniendo en cuenta que para la región del suroeste, en cuanto a las bases, el principal problema son sus relaciones, se propone entonces que para tener un nivel de suficiencia adecuado, manteniendo las relaciones para el grupo de alto rendimiento, se sugieren 4.5, 2.5 y 1.5 veces el contenido de calcio, magnesio y potasio respectivamente, presentado en este grupo. Como punto crítico, los contenidos originalmente presentados en el grupo de mayor producción, anotando que aún, las relaciones no están en su nivel adecuado, principalmente en relación al potasio, dado los altos niveles presentados por los predios y el alto requerimiento de este nutriente.

En la Tabla 10, se describen las relaciones de equilibrio en el suelo entre bases intercambiables como el calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) para una buena nutrición mineral del cultivo del plátano de acuerdo a los grupos definidos por conglomerado y a la categoría de alta producción para cada región en estudio.

Tabla 10. Propuesta de relaciones de equilibrio K – Ca – Mg en el suelo para el cultivo del plátano en la región de Urabá y Suroeste Antioqueño.

Región	Relación			
	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca + Mg)/K
Urabá	3.30	16.11	4.97	21.10
Suroeste	2	3	1.66	4.66

## 2.4 Conclusiones

La metodología de agrupamiento por conglomerados permitió proponer niveles críticos de nutrientes edáficos en función de la producción de plátano tanto para la región del Urabá como del suroeste antioqueño. Los niveles establecidos permitirán dirigir de forma más acertada los planes de fertilización de los productores de las dos regiones.

En la región del suroeste uno de los principales problemas es el desbalance nutricional de cationes del suelo, lo que puede ser debido a que el manejo de fertilidad que recibe este cultivo es con base en recomendaciones nutricionales para el cultivo de Café, el cual se encuentra en asocio.

La región del Urabá presenta un buen equilibrio de los indicadores químicos de fertilidad del suelo, en relación con el grupo de categoría de alta producción, permitiendo establecer diagnósticos confiables.

Los suelos de la región del Suroeste requieren un manejo más intenso de los indicadores químicos de fertilidad para el cultivo del plátano, debido a los altos niveles de Fe, baja CICE y desbalance de las bases intercambiables (Ca, Mg y K).



## Bibliografía

1. Álvarez, Y; Gonzalez, R; Gilchrist, E; Sánchez, J; Martínez, A y Castañeda, D. 2016. Caracterización, rendimiento y nivel de adopción tecnológica de agro-sistemas plataneros en las subregiones del suroeste y Urabá (ANT) Colombia. Sometido.
2. Aister, M; Maass, M y Etchevers, J. 2001. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. Capítulo 2. Agrociencia. Pp 35-37.
3. Bautista, A.; Etchevers, J.; del Castillo, F. & Gutiérrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Revista científica y técnica de ecología y medioambiente13 (2). Recuperado de: <http://www.revistaecosistemas.net>.
4. Belalcazar, S. 1992. El cultivo del plátano (*Musa AAB* Simmonds) en el trópico. Manual de asistencia técnica N° 50. INIBAP. Departamento de cafeteros del Quindío. Colombia. pp. 102.
5. Carvajal, J. 1978. El diagnóstico del estado de nutrición de los cultivos. Análisis y comentario. Agron. Costarr. 2(2); 175 – 183.
6. Castañeda, D; Cotes. J y Jaramillo, D. 2011. Evaluación de métodos estadísticos para el desarrollo de una propuesta de manejo por sitio específico para banano. Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de: Doctor en Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agrarias Medellín, Colombia. p 68.
7. Cantú, P., Becker, A., Bedano, J y Schiavo, H. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. Departamento de Geología. Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina. 25(2): 173-178. <http://187.216.225.53/servicios/cinformacion/LIBROS%20FORESTAL/impacto%20ambiental/evaluacion%20de%20la%20calidad%20del%20suelo.pdf>.
8. Cardona, D y Sadeghian, S. 2005. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plana exposición solar. Cenicafe 56 (4): 348 – 364.
9. Chacón, E., J. Camacho y J. Bernal. 2012. Obtención de la norma de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) para el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Altillanura Colombiana. Tesis de investigación para Magister en Ciencias Agrarias. Facultas de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 96 p.
10. De la Fuente. 2011. Análisis conglomerados. Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de ciencias económicas y empresariales. 2 -3 p.

11. Espinal, L. 2012. Geografía ecológica del departamento de Antioquia (zonas de vida (formaciones vegetales) del departamento de Antioquia). Facultad de Ciencias, Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional, Sede Medellín. Pp 10-11.
12. Espinal, C. 2001. Acuerdo de competitividad de la cadena productiva del plátano en Colombia. Colección Documentos IICA Serie Competitividad No.18. Primera Edición. Elizabeth Meek y Hugo Aldana Navarrete. ISBN: 958-9328-29-6. Bogotá D.C. (pp 12-13). En: <http://repiica.iica.int/DOCS/B0119E/B0119E.PDF>.
13. Espinal, C., H. Martínez y Y. Peña. 2005. La cadena del plátano en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica. Documento de Trabajo No. 61 Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia. Bogotá D.C. En Agrocadenas: <http://www.asohofrucol.com.co/archivos/cadenas/platano.pdf>.
14. Espinosa, J. 2004. Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica. INPOFOS. Norte de América Latina. Gaspar de Villarreal – Quito. Ecuador 154. 2-3 pp.
15. Gonzalez, R y Castañeda, D. 2012. Evaluación de indicadores químicos del suelo en agroecosistemas cacaoteros (*Theobroma cacao* L.) en el Urabá y Nordeste Antioqueño. Politécnico Colombiano J.I.C. Facultad de Ciencias Agrarias. Pp 5-6.
16. García, L., J. Díaz, L. Burgos, L. Ortiz, J. González, D. Vera, R. Burgos, G. Peña, R. Siachoque y J. Romero. 2007. Estudio General de Suelos y zonificación de tierras Departamento de Antioquia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Tomo 2. Gobernación de Antioquia. Bogotá D.C. p. 720.
17. Herrera, N y Sánchez J. 2016. Cochinillas harinosas de la raíz en el cultivo del plátano: principios y estrategias de manejo en la subregión de Urabá. Augura – Cenibanano. Pp 8-9.
18. INVEMAR, CORPOURABA, Gobernación de Antioquia, CODECHOCO. 2008 Cartilla lineamientos y estrategias para el manejo integrado de la Unidad Ambiental Costera del Darién (UAC-Darién). Editado por López Rodríguez A., Reyes S.P., Sierra-Correa, P.C., Caicedo Herrera D., Mona Sanabria Y y D. Morales Betancourt. Serie de Documentos Generales INVEMAR No. 24. p 30.
19. Jaramillo, D. F. 2014. El suelo: origen, propiedades, espacialidad: segunda edición Universidad nacional de Colombia. Facultad de ciencias. Escuela de Geo ciencias. Medellín. Pp. 261 – 381
20. Jamioy, D; Menjivar, J y Rubiano, Y. 2011. Propuesta de indicadores de calidad edafológicos para valorar la influencia de los sistemas productivos sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos oxisoles del piedemonte llanero colombiano. Tesis de investigación para Magister en Ciencias Agrarias. Universidad nacional de COLOMBIA. Facultad de ciencias agropecuarias. Palmira. p74 - 75.

21. Kravchenko A, Bullock D. 2000. Spatial variability; correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy Journal*, 92(1): 75 – 83.
22. Kravchenko A, Thelen K, Bullock D, Miller N. 2003. Relationship among crop grain yield, topography, and soil electrical conductivity studied with cross-correlograms. *Agronomy Journal*, 95(5): 1132 – 1139.
23. Ludwig, J y Reynolds, J. 1998. *Statistical Ecology: a primer on methods and computing*. New York: John Wiley & Sons, p 15.
24. Marín, G. (1989). *Fertilidad de los suelos con énfasis en Colombia*. Manual de asistencia técnica No. 03. Bogotá. D.C. ICA. Pp. 193.
25. Martínez, H; Franco, E; Zapata, P; Monsalve, J; Posada, A y Agudelo J. 1999. Documento Antioquia. Convenio interadministrativo N°010298 Corpouraba – municipios zona norte de Urabá. pp 18 – 20.
26. Muños, R y Guerrero, R. 1995. Fertilización de cultivos de clima medio. Fertilización del plátano (*Musa AAB Simmonds*) en suelos de clima medio en Colombia. Monómeros. Segunda edición. ISBN: 958-95295-2-6. Bogotá, Colombia. pp 175-176.
27. Nelson, L. 1999. Estadística en la investigación del uso de fertilizantes. Universidad Estatal de Carolina del Norte. Ottawa, INPOFOS. p 66.
28. Osorio, N. 2014. *Manejo de Nutrientes en Suelos del Trópico*. Colombia: Editorial L. Vieco S.A.S. pp. 416
29. López, A y Espinosa, J. 1995. *Manual de nutrición y fertilización del banano. Una visión practica del manejo de la fertilización*. INPOFOS. Quito – Ecuador. Pp 26-27.
30. Ramírez, V. 2008. Calibraciones de análisis de suelos. Invest. Unisarc. 6(2) 8 – 14. [https://www.researchgate.net/profile/Victor\\_Ramirez\\_Builes/publication/283615368\\_Calibracion\\_de\\_Analisis\\_de\\_Suelos/links/56412cd208aebaae1f700aa.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Victor_Ramirez_Builes/publication/283615368_Calibracion_de_Analisis_de_Suelos/links/56412cd208aebaae1f700aa.pdf)
31. Sánchez, J y Mira, J. 2013. *Principios para la nutrición del cultivo de banano*. Augura – Cenibanao. ISBN: 978-958-99167-8-0. Medellín – Colombia. p 137.
32. Sánchez, P. 1981. *Suelos del trópico, características y manejo*. Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura. IICA. ISBN: 92-9039-017-4. San Jose. Costa Rica. p 172.
33. Sadeghian K. 2009. Calibración de análisis de suelo para N, P, K y Mg en cafetales al sol y bajo semisombra. *Cenicafé* 60 (1): 7-24.

34. Slaton, N; Brye, K y Bacon, R. 2003. Correlation and calibration of Melich-3 phosphorous recommendations for winter wheat following rice in Arkansas. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 36: 993 – 1004.
35. SQI-Soil Quality Institute. 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
36. Rojas, A; Ramírez, M; Lora, R; Amézquita, E y Sánchez, L. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de asistencia Técnica N° 25. ISBN: 978-958-9066-87-4. ICA. Bogotá D.C. 29 p.
37. Terra J, Melo D, Sawchik J. 2010. Atributos edáficos y topográficos relacionados a los patrones de variación de rendimiento de cultivos agrícolas en Uruguay [Cd-Rom]. En: 1a Reunión Técnica Sociedad Uruguaya de las Ciencias del Suelo: Dinámica de las propiedades del suelo bajo diferentes usos y manejos, Montevideo.
38. Zapata, R. 2014. Los procesos químicos del suelo: Primera edición. Universidad nacional de Colombia. Facultad de ciencias. Escuela de Geo ciencias. Medellín. Pp. 584 – 590.

### 3. Obtención de la norma de diagnóstico e índices de recomendación integral (DRIS) en agroecosistemas plataneros del departamento de Antioquia

#### Obtaining the diagnostic standard and integral recommendation indices (DRIS) in plantain agroecosystems of the department of Antioquia

##### **Resumen**

Teniendo en cuenta los parámetros conceptuales del sistema integrado de diagnóstico y recomendación- DRIS, se establecieron las normas de diagnóstico foliar para dos regiones platanicultoras del departamento de Antioquia; la primera pertenece a Urabá donde se cultiva la variedad Hartón y la segunda corresponde al Suroeste donde se cultiva la variedad Dominico Hartón. Mediante la aplicación de una encuesta de carácter socioagronómico, se seleccionaron para el estudio 25 predios en cada región, en etapas de producción, en los que se evaluó la producción en kilogramos racimo<sup>-1</sup> y mediante un diagrama de dispersión se identificaron los predios de mayor producción, para Urabá aquellos con peso de racimo  $\geq 12$  kg y para el Suroeste  $\geq 22$  kg. En cada uno de los predios se realizaron muestreos foliares, en plantas recién florecidas, en la hoja número 3, para determinar los indicadores químicos de fertilidad foliar, mediante los cuales se desarrollaron las normas DRIS para los elementos N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, B y Zn teniendo en cuenta todas las relaciones de equilibrio o balance nutricional.

**Palabras Clave:** análisis foliar, balance nutricional, *Musa AAB Simmonds*

## **Abstract**

With the parameters of the integrated diagnosis and recommendation system - DRIS, the foliar diagnosis standards for two plantain producing regions in Antioquia department were established. The first one is Uraba where the Harton variety is cultivated and the second corresponds to the Southwest where growing the variety Dominico Harton. With the application of a socio-agronomic survey, 25 farms were selected for each region, where the production in kilograms <sup>-1</sup> was evaluated. Through a dispersion diagram the most productive farms were identified, for Uraba those with cluster weight  $\geq 12$  kg and for the Southwest  $\geq 22$  kg. Leaf samples were collected in each plot (on leaf number 3 from new flowered plants) to determine chemical indicators of foliar fertility. Through these, the DRIS norms for the elements N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, B and Zn and taking into account the nutritional balance relationships were developed.

**Keywords:** leaf analysis, nutritional balance, *Musa AAB Simmonds*

## **3.1 Introducción**

El plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo, es considerado un producto básico y de exportación, es una fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo. El plátano que se comercializa internacionalmente, es procedente de los países latinoamericanos

y del Caribe, entre los cuales se encuentra Colombia. Este cultivo posee una alta dispersión geográfica y hace parte del sector tradicional de la producción campesina, ocupa áreas poco significativas en predios familiares para consumo doméstico y es de gran importancia socioeconómica, desde el punto de vista de generación de empleo y seguridad alimentaria (Espinal, 2001; Espinal *et al.*, 2005; Palencia *et al.*, 2006). De acuerdo a Fajardo y Patiño (2015), para el periodo 2014, los departamentos de Antioquia, Meta, Tolima, Nariño y Córdoba, representaban el 49.3% de la producción nacional. En el caso de Antioquia es un departamento con una fuerte vocación agrícola siendo el banano, el plátano, el café, la caña y la yuca, los productos que presentan el mayor número de toneladas producidas, con el 84,3% del total de la producción regional donde participan principalmente el Urabá y Suroeste Antioqueño. Del 85% del área total sembrada en plátano en la región de Urabá, Turbo participa con el 61%, seguido de San Juan de Urabá (13%), Arboletes (6%) y Necoclí (5%). En esta región, normalmente se siembra la variedad Hartón como monocultivo, con vocación de exportación y mercado nacional. En el caso de la región del Suroeste, este cultivo es utilizado como sombrío transitorio o permanente en sistemas de siembra en asocio con café y la variedad establecida es la Dominico Hartón. Del 75% del área total sembrada en plátano en esta región, Andes participa con el 40%, seguido de Jericó (20%), Hispania y Jardín (15%) (Herrera y Sánchez, 2016; Fajardo y Patiño, 2015).

El cultivo del plátano en el trópico no ha contado con un adecuado sistema de diagnóstico nutricional, por lo tanto no se establecen recomendaciones técnicamente correctas, de acuerdo a los requerimientos nutricionales para este cultivo. Para ello, es indispensable contar con normas de diagnóstico, las cuales permitan valorar el estado nutricional del mismo.

Desacuerdo con Marchal y Mallessard (1979), la escasez de estudios sobre la nutrición mineral del plátano en el trópico no cuenta con un conjunto integral de normas de diagnóstico de tejidos para este cultivo. El diagnóstico del estado nutricional y las recomendaciones de fertilización del plátano, tradicionalmente han estado basadas en normas de tejidos y suelos desarrolladas para otras musáceas del grupo AAA de las cuales difiere ampliamente. Algunos estudios sobre la nutrición y su balance en el cultivo de plátano realizados por Hernández *et al.* (2004) y Rodríguez (2009) en Venezuela, han contribuido como base fundamental para el diagnóstico nutricional en este cultivo; aun así es indispensable contar con normas de diagnóstico desarrolladas en condiciones específicas para el cultivo del plátano en Colombia.

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS, por sus siglas en inglés) consiste en un conjunto integrado de normas, desarrolladas para evaluar el estado nutricional de un cultivo. Estas normas representan las calibraciones de la composición del tejido de la planta y permiten integrar estudios con factores del suelo, parámetros del medio ambiente y las prácticas culturales, como funciones de la producción obtenida por un cultivo en particular. Las normas DRIS siempre se obtienen de una población de alto rendimiento, denominada población de referencia. La cual, es seleccionada de una población estándar, más amplia. La base de datos para la definición de las normas podría tener un tamaño variable, en función de las premisas adoptadas en el método y estas, pueden ser uniformes, referentes a las características del cultivo (Ribeiro, 2008). Las normas obtenidas a partir de una amplia base de datos derivada de diferentes tipos de suelos, climas y cultivares, usualmente no puede ser generalizada y debe ser considerada representativa, solo si incluye toda la variabilidad de la población. En consecuencia, estos atributos, pueden ser previamente definidos y así muestreados para formar la base de datos. Diversas investigaciones han revelado que la



selección de la población de referencia es un factor importante para la eficacia y el éxito del sistema DRIS; por lo tanto el DRIS integra más íntimamente el balance nutricional de la planta y el suelo e incorpora de manera indirecta en el diagnóstico otros factores tales como la edad de la planta y el clima, permitiendo así, hacer recomendaciones confiables sobre el manejo de los cultivos (Sumner, 1997). El objetivo de este trabajo consistió en generar propuestas de normas DRIS para el cultivo del plátano establecido en dos condiciones agroecológicas.

## **3.2 Materiales y metodología**

### **3.2.1 Características del área de estudio**

La investigación se desarrolló en dos regiones del departamento de Antioquia. La primera corresponde al Urabá, donde se muestrearon 25 predios distribuidos en los municipios de Arboletes, Mutatá, Necoclí, San Juan de Urabá, San Pedro de Urabá y Turbo, los cuales están establecidos con la variedad Hartón. En general la región está localizada en su mayoría en relieve plano y ligeramente plano, con algunas inclusiones de relieve ligero y moderadamente escarpado, se distribuye entre un clima cálido y húmedo en la zona centro, con precipitaciones entre 2.300 y 3.000 mm año<sup>-1</sup>; temperaturas promedio de 28°C; los suelos presentan características físicas variadas, la profundidad efectiva fluctúa de superficial a muy profunda, limitada en el segundo caso por el nivel freático, las texturas varían de muy finas a gruesas con dominancia de las finas y medias. Las características químicas en la mayoría de los suelos de Urabá presentan de mediana a alta capacidad de intercambio catiónico, alta

saturación de bases y bajo contenido de carbón orgánico. Los suelos en general tienen una fertilidad alta a muy alta (García *et al.*, 2007).

La segunda región corresponde al Suroeste, donde de igual manera se muestrearon 25 predios distribuidos en los municipios de Andes, Betania, Hispania, Jardín, Jericó, Pueblo Rico y Támesis, donde se cultiva la variedad Dominico hartón. En general la región presenta suelos con relieves de ligera a moderadamente escarpados, desarrollados por cenizas volcánicas, la textura es de media a moderadamente gruesa, con fertilidad baja a media y en las partes altas de ladera, están limitados por una capa endurecida de óxidos de hierro (Cárdenas *et al.*, 2009). De acuerdo con la clasificación de Holdridge, la región se puede categorizar en la zona de vida bosque húmedo Premontano (bh-Pm).

### **3.2.2 Selección de predios y muestreo**

Se aplicó una encuesta de carácter socioagronómico (Álvarez *et al.*, 2016), para ello se contó con el apoyo logístico de las Secretarías de Agricultura y Medioambiente (SAMA) municipales, Asociaciones de plataneros y comercializadoras de la fruta asentadas en cada región. La encuesta tuvo en cuenta las siguientes características: predios dedicados a la comercialización de la fruta, prácticas agronómicas de manejo y de fertilización del cultivo y disposición a participar y entregar la información. La selección de los 25 predios se realizó cubriendo todo el rango de características evaluadas.

### 3.2.3 Muestreo foliar y análisis de laboratorio

El muestreo foliar se realizó de manera aleatoria según la metodología descrita por Martin y Prevel (1974) en Musáseas, donde las muestras se toman de la sección central (10 x 10 cm) de la hoja número tres (3) (orden descendente) de plantas recién florecidas. En cada predio se muestrearon entre 20 y 30 plantas, a través de recorridos en zig - zag. Estas se vertieron en un recipiente limpio, se homogenizaron adecuadamente y se tomó una muestra compuesta de 200g, la cual se marcó y envió al Laboratorio de Suelos y Nutrición de Plantas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, para la determinación de las variables químicas.

Las muestras foliares se utilizaron para la determinación porcentual de elementos mayores, N, P, K, S, Ca, Mg y elementos menores como Fe, Cu, Mn, B y Zn. En la Tabla 11 se describen las metodologías de laboratorio utilizadas para evaluar dichos elementos.

Tabla 11. Métodos de laboratorio seguidos para determinar el contenido foliar de los elementos nutritivos.

Propiedad química	Método y Unidad
Ca, Mg, K, Fe, Cu, Mn y Zn	Absorción atómica. Elementos mayores (%) y elementos menores ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
N	Kjeldhal (%)
S	Turbidimetría ( $\text{BaCl}_2$ bactogelatina)
P	Colorimétrico (complejo fosfo-monolibdico)
B	Colorimétrico (Azometin H); descomposición de la muestra vía seca 550 °C; mineralización con HCl 1:1 (~6N)

Fuente: IGAC (2006) y Múnera (2012).

### **3.2.4 Definición de la población de referencia para la norma**

En cada uno de los predios se realizaron muestreos en épocas de cosecha, seleccionando diez (10) racimos al azar por cada predio y con la ayuda de una báscula digital, se les determinó su peso total (kg).

De acuerdo a los trabajos desarrollados por Letsch y Sumner (1984), Rodríguez y Rodríguez (2000), la población de referencia o de alta producción (PAP) consistió en una sub-muestra de predios, que representó por lo menos el 20% de la muestra total en estudio, con un peso de racimo superior a la de la media ideal (12 y 25kg) reportada, para cada una de las regiones del Urabá y Suroeste respectivamente (Sumner (1997). A los demás predios ubicados por debajo se les denominó población de baja producción (PBP) (Beaufils, 1971, 1793; Herrera y Camacho, 2015).

### **3.2.5 Determinación de las relaciones entre nutrientes**

Para el establecimiento de las relaciones y/o expresiones entre nutrientes foliares según la metodología descrita por Sumner (1985) y Rodríguez *et al.* (1998a), se tuvo en cuenta tanto el comportamiento sinérgico positivo y negativo, esto es que disminuyen (N, K, P, S y Mg) o aumentan (Ca, B, Zn, Cu, Mn, Fe) con la edad, como antagónico. En este sentido, se relacionaron en forma de producto ( $A*B$  o  $B*A$ ) elementos con comportamiento antagónico, y en forma de cociente elementos sinérgicos en ambas poblaciones de cada región ( $A/B$  o  $B/A$ ). Este enfoque ofrece la ventaja adicional, que permite estudiar de una mejor forma las relaciones entre nutrientes, ya que estas en los tejidos, son menos sensibles a los cambios con la edad del tejido (Beaufils, 1971).

### 3.2.6 Generación y selección de las normas DRIS

Determinado el punto de corte, en cuanto a producción, de las dos poblaciones, para un par de nutrientes la dirección del balance (A/B o B/A), en la selección de las normas DRIS, se basó en la prueba de discriminación de las varianzas. Cuando la proporción entre la varianza de la población de bajo rendimiento  $S_1^2$  (A/B) respecto a la varianza de la población de alto rendimiento  $S_2^2$  (a/b) de un banco de datos con distribución normal (Sumner, 1977), cumple las siguientes proporciones condicionales

$$\frac{S_1^2 (A/B)}{S_2^2 (a/b)} > \frac{S_1^2 (B/A)}{S_2^2 (b/a)}$$

El cociente A/B de los contenidos de esos nutrientes es establecido como norma, en caso contrario, es decir que no se cumple la expresión condicional anterior, el cociente B/A será la norma. Se repite este procedimiento, para establecer la dirección de los cocientes dada por todas las combinaciones de parejas posibles entre los nutrientes evaluados (Capítulo 1).

Finalmente la media, del contenido nutricional entre pares de nutrientes, de la población de alto rendimiento definen las normas DRIS de cada pareja y su desviación estándar, se utiliza posteriormente en el diagnóstico, para determinar, cuáles de los nutrientes de la muestra problema, caen dentro o fuera del balance nutricional (Rodríguez y Rodríguez (1998a; Rodríguez *et al*, 1999a). Para el procesamiento de la información se utilizó el software estadístico y de programación R-project® 2015 versión 3.2.2.

### **3.2.7 Determinación de los índices DRIS**

Teniendo en cuenta las relaciones entre cada par de nutrientes en forma de cociente o producto (A/B y/o A\*B) en función con las normas de diagnóstico foliar (DRIS) se determinaron las funciones e índices de nutrientes de acuerdo a la metodología de Beaufils. (1971 y 1973) y Sumner (1997), descritos en el Capítulo 1 (Tabla 2).

Para determinar la magnitud de deficiencia o suficiencia nutricional de un elemento se tuvo en cuenta el Índice de Balance Nutricional Medio (IBNm) como valor referente para el diagnóstico, que consiste en la sumatoria de los valores absolutos de los índices DRIS, obtenidos para cada nutriente conforme a la siguiente ecuación (Mourão 2004 y Rodríguez y Rodríguez, 1997 y 2000):

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

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

## **3.3 Resultados y discusión**

### **3.3.1 Determinación de la población de referencia**

El diagrama de cajas y bigotes “*Box Plot*” muestra el comportamiento del peso de racimo en cada uno de los predios evaluados, con respecto a la media ideal para la zona de Urabá ( $\geq 12.5$  kg), según la recomendación de Cárdenas y Meneses (2016). En este sentido en la región de Urabá esta variable se presentó en el intervalo entre 5.08 y 20.5 kg racimo<sup>-1</sup> bruto (Figura 6). Para la región del Suroeste donde se cultiva la variedad Dominico Hartón, de manera similar, se tomó como criterio el reportado por Comsap (2014), quien indica que el peso promedio

ideal del racimo debe tener un valor igual o superior a los 22 kg, en este caso los datos registrados de producción en los predios de esta región oscilaron entre los 10.2 y los 31.6 kg racimo<sup>-1</sup> bruto (Figura 7).

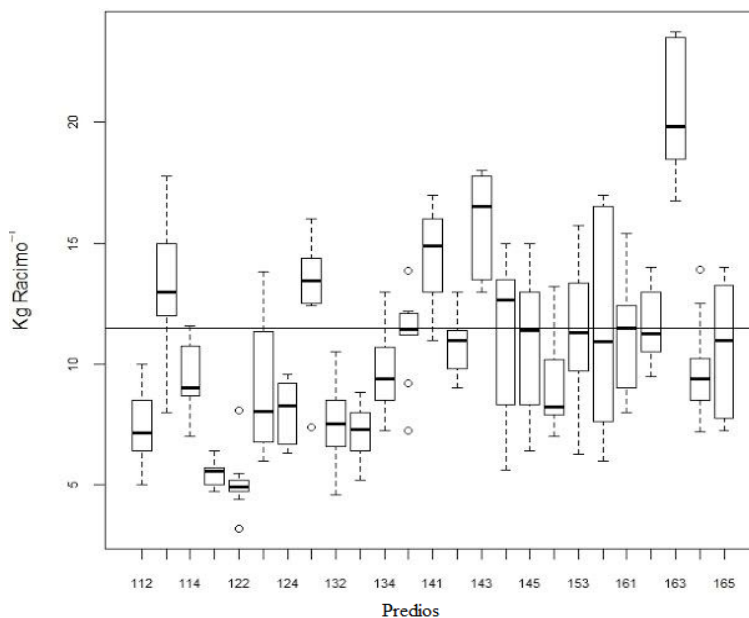


Figura 6. Dispersión de la producción para la selección de poblaciones de baja y alta producción en la región del Urabá. La línea representa la media del peso de racimo ideal (12.5 kg).

A su vez los predios localizados en el límite superior representan el 24 y 28% de la muestra de la población global, para las regiones de Urabá y Suroeste respectivamente (Figura 6 y 7), cumpliendo con lo sugerido por Letsch y Sumner, (1984), Rodriguez y Rodriguez (1997) y Sumner (1997) quienes recomiendan que la población de alta producción (PAP) debe representar por lo menos el 20% de la muestra general. Por otra parte Malavolta y Malavolta (1989) recomiendan que esta selección debe estar representada por la población ubicada entre la franja del 80 al 100% del máximo rendimiento observado, en este caso los predios seleccionados representan el 95 y 90% en producción de la muestra general para Urabá y

Suroeste respectivamente. De acuerdo a lo anterior, se puede garantizar que la selección de la población de alta producción presenta diferencias significativas con respecto a la población de baja producción (PBP), indicando que la base de datos propuesta para el desarrollo de las normas en cada región es confiable.

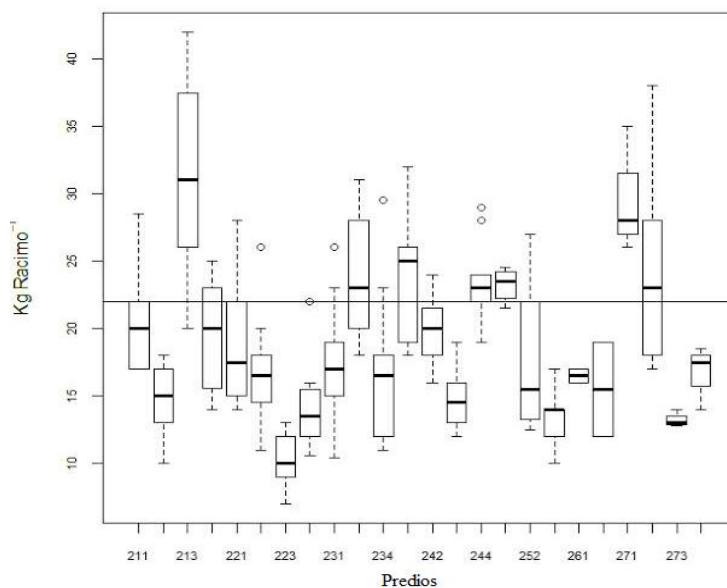


Figura 7. Dispersión de la producción para la selección de poblaciones de baja y alta producción en la región del Suroeste. La línea representa la media del peso de racimo ideal (22 kg).

En general la población de baja producción para la región de Urabá, presenta un contenido foliar de nutrientes más alto respecto a la de alta, siendo más grande la diferencia en el caso del hierro y el manganeso, lo que posiblemente pueda estar causando desbalances nutricionales. En cuanto a la variación no se detectó un comportamiento sistemático, indicando estabilidad en estos elementos (Tabla 12) en ambas poblaciones. Sin embargo, los elementos Fe, Mn, B y S son los nutrientes con mayor variabilidad (coeficiente de variación



> 0.3) en ambas poblaciones por lo que es posible inferir que probablemente, estos elementos son los que más inciden en la producción en términos de peso bruto por racimo (kg).

Tabla 12. Análisis descriptivo de las propiedades químicas según la concentración de nutrientes en tejido foliar para las poblaciones de alta y de baja producción en la región de Urabá.

E <sup>(1)</sup>	U <sup>(2)</sup>	PAP <sup>(3)</sup>			PBP <sup>(4)</sup>			
		$\bar{X}$ <sup>(5)</sup>	S <sup>(6)</sup>	CV <sup>(7)</sup>	$\bar{X}$	S	CV	
N	%	2,75	0,39	0,14	2,86	0,42	0,15	
P		0,18	0,04	0,21	0,18	0,03	0,17	
S		0,10	0,04	0,41	0,13	0,03	0,27	
Ca		0,89	0,29	0,32	0,78	0,14	0,17	
Mg		0,32	0,05	0,17	0,40	0,03	0,09	
K		3,49	0,24	0,07	3,40	0,46	0,13	
Fe		85,00	28,24	0,33	96,16	35,63	0,37	
Mn		251,67	124,75	0,50	318,53	179,03	0,56	
Cu		μg/gr	6,83	1,33	0,19	8,21	1,69	0,21
Zn			18,50	4,23	0,23	19,16	2,75	0,14
B	24,83		8,45	0,34	25,16	8,22	0,33	

<sup>(1)</sup>Elemento. <sup>(2)</sup>Unidad. <sup>(3)</sup>Población de alta producción. <sup>(4)</sup>Población de baja producción. <sup>(5)</sup>Media. <sup>(6)</sup>Desviación estándar. <sup>(7)</sup>Coefficiente de variación.

A nivel de la región del Suroeste, tiende a observarse de manera general el mismo comportamiento, en los contenidos foliares de nutrientes, siendo mayores estos en la población de alta producción con respecto a la de baja, con excepción del Mg, el Fe y el B que fueron mayores sus contenidos en la de baja. En cuanto a la variabilidad, no se detectó un comportamiento sistemático entre las poblaciones de alta y las de baja para los diferentes nutrientes, sin embargo, esta si fue alta ( $\geq 0.33$ ) para nutrientes como el Mn, Cu y B en ambas

poblaciones, así como para el Fe en la población de baja producción, indicando una mayor probabilidad de detección de desbalance para estos nutrientes (Tabla 13).

Los altos contenidos foliares de Fe, Mn y Cu, en ambas regiones, parecen estar relacionadas con los altos contenidos de estos elementos en el suelo, según lo reportado por Sánchez y Mira (2013) para Urabá (Fe: 80, Mn: 5 y Cu 2,5 mg kg<sup>-1</sup>) y, para el suroeste (Fe: 226,5 Mn: 10,5 y Cu 3 mg kg<sup>-1</sup>) (Capítulo 2 – Tabla 9), producidos por las condiciones reductoras en la que permanecen estos suelos durante largos períodos del año (aproximadamente 6 meses).

Tabla 13. Análisis descriptivo de las propiedades químicas según la concentración de nutrientes en tejido foliar para las poblaciones de alta y de baja producción en la región del Suroeste.

E <sup>(1)</sup>	U <sup>(2)</sup>	PAP <sup>(3)</sup>			PBP <sup>(4)</sup>		
		$\bar{X}$ <sup>(5)</sup>	S <sup>(6)</sup>	CV <sup>(7)</sup>	$\bar{X}$	S	CV
N	%	3,15	0,47	0,15	2,71	0,52	0,19
P		0,16	0,02	0,11	0,16	0,02	0,15
S		0,11	0,03	0,26	0,10	0,02	0,24
Ca		0,92	0,19	0,20	0,80	0,16	0,20
Mg		0,34	0,07	0,19	0,35	0,07	0,22
K		2,73	0,25	0,09	2,61	0,49	0,19
Fe		116,29	23,87	0,21	148,89	141,91	0,95
Mn	1.009,57	590,51	0,58	954,83	572,39	0,60	
Cu	µg/gr	12,43	10,00	0,80	10,89	7,90	0,73
Zn		20,14	2,27	0,11	19,50	2,18	0,11
B		22,43	9,54	0,43	23,11	7,64	0,33

<sup>(1)</sup>Elemento. <sup>(2)</sup> Unidad. <sup>(3)</sup> Población de alta producción. <sup>(4)</sup> Población de baja producción. <sup>(5)</sup> Media. <sup>(6)</sup> Desviación estándar. <sup>(7)</sup> Coeficiente de variación.

### 3.3.2 Desarrollo de las normas e índices DRIS

La selección de la norma entre cada par de nutrientes (A/B o A\*B), estuvo basada en la relación entre las varianzas de los grupos clasificados por productividad según lo propuesto por Silva (2005). De acuerdo a Payne *et al.* (1990), las relaciones entre elementos que presentan alto nivel de varianza indican mayor seguridad para el diagnóstico nutricional, mientras que Walworth y Sumner (1987) aseguran que esto permite resumir la explicación y análisis de la información con una mayor representatividad del comportamiento de la variabilidad de la población. Puesto que en cada una de las regiones se evaluó el contenido foliar de once nutrientes, se podían establecer 110 combinaciones de relaciones entre parejas de estos, no obstante se seleccionaron para el estudio 55, según el criterio de mayor relación entre varianzas ( $S^2B/S^2A$ ).

**3.3.2.1 Región Urabá:** Al comparar las relaciones de la norma con las de la población de baja producción, se observa que en esta región 45 relaciones entre elementos presentan diferencias entre la media y el coeficiente de variación, y 10 que poseen igual característica. Los coeficientes de variación de las relaciones oscilan entre 7 y 56 %, de los cuales siete presentan un valor mayor de 49%, consistentemente tanto en la población de alta como de baja producción. Además, en todas estas siete relaciones, de mayor variación está involucrado el Mn. Con un nivel intermedio de variabilidad (0.33 y 0.49) y los nutrientes que parecen estar aportando más fuertemente a esta son las relaciones establecidas con el Fe y el B. De acuerdo con Reis (2002), Herrera y Camacho (2015), la gran cantidad de normas con diferencias ya sea en la varianza o en la media respecto a la población de baja producción, indica que las normas son confiables y pueden indicar diferencias en la productividad

derivadas de desbalances nutricionales. En las normas presentadas las relaciones que indicaron en su mayor parte esta condición fueron: Fe\*K, Mn\*K, Cu\*K, Zn\*K y B\*K lo que puede indicar que los cambios menores que se presentan en las proporciones de potasio tienen una relación directa con el comportamiento productivo del cultivo (Tabla 14). Con respecto a lo anterior Rodríguez y Rodríguez (1997), indican que los valores de coeficiente de variación, varianza y desviación estándar no pueden considerarse ni altos ni bajos, si no reales, debido a que estos son productos de trabajar arbitrariamente con la población de un cultivo sobre el cual todas las variables que inciden sobre la producción no están controladas.

Por otra parte Walworth y Sumner (1987), indican que la desviación estándar permite determinar el rango por encima y por debajo de la norma en el cual se considera que el nutriente de interés se encuentra en un balance adecuado y por lo tanto en un nivel ideal. Los valores medios de las relaciones entre los nutrientes de las poblaciones de alta y de baja productividad de la región de Urabá, y sus respectivos coeficientes de variación y varianzas se encuentran en la Tabla 14.

Obtención de la norma de diagnóstico e índices de recomendación integral (DRIS) en agroecosistemas plataneros del departamento de Antioquia

Tabla 14. Normas para diagnóstico de la fertilidad foliar para la variedad Hartón en la región de Urabá.

Forma de Expresión	PBP <sup>(1)</sup>				PAP <sup>(2)</sup>				
	$\bar{X}$ <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	CV <sup>(5)</sup>	S <sup>2</sup> B <sup>(6)</sup>	$\bar{X}$ <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	CV <sup>(5)</sup>	S <sup>2</sup> A <sup>(7)</sup>	S <sup>2</sup> B/S <sup>2</sup> A <sup>(8)</sup>
N/P	16,33	3,21	0,20	10,33	15,43	2,17	0,14	4,70	2,19**
N/K	0,85	0,16	0,19	0,03	0,79	0,13	0,17	0,02	1,38**
N*Fe	257,70	95,50	0,37	9,1E <sup>+03</sup>	227,80	75,69	0,33	5,7E <sup>+03</sup>	1,59**
N*Mn	853,65	479,80	0,56	2,3E <sup>+05</sup>	674,47	334,33	0,50	1,1E <sup>+05</sup>	2,06**
N*Cu	22,00	4,52	0,21	20,41	18,31	3,56	0,19	12,69	1,61**
P/K	0,07	0,01	0,13	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	4,09**
P*Fe	23,08	8,55	0,37	73,14	20,40	6,78	0,33	45,94	1,59**
P*Mn	76,45	42,97	0,56	1,8E <sup>+03</sup>	60,40	29,94	0,50	896,39	2,06**
P*Cu	1,97	0,40	0,21	0,16	1,64	0,32	0,19	0,10	1,61**
P*B	6,04	1,97	0,33	3,89	5,96	2,03	0,34	4,11	0,95**
S/N	0,04	0,01	0,14	0,00	0,04	0,01	0,15	0,00	0,81**
S/P	0,57	0,10	0,17	0,01	0,57	0,12	0,21	0,01	0,63**
S/K	0,03	0,00	0,13	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	4,09**
S*Fe	9,62	3,56	0,37	12,70	8,50	2,82	0,33	7,98	1,59**
S*Mn	31,85	17,90	0,56	320,52	25,17	12,47	0,50	155,62	2,06**
S*Cu	0,82	0,17	0,21	0,03	0,68	0,13	0,19	0,02	1,61**
S*Zn	1,92	0,28	0,14	0,08	1,85	0,42	0,23	0,18	0,42**
S*B	2,52	0,82	0,33	0,68	2,48	0,84	0,34	0,71	0,95**
Ca*N	2,83	0,41	0,15	0,17	2,73	0,39	0,14	0,15	1,15**
Ca*P	0,18	0,03	0,17	0,00	0,18	0,04	0,21	0,00	0,63**
Ca*S	0,12	0,03	0,27	0,00	0,12	0,07	0,58	0,00	0,24**
Ca*Mg	0,77	0,14	0,17	0,02	0,88	0,28	0,32	0,08	0,23**
Ca*K	0,39	0,03	0,09	0,00	0,31	0,05	0,17	0,00	0,41**
Ca/Fe	0,01	0,00	0,21	0,00	0,01	0,00	0,28	0,00	0,44**
Ca/Mn	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,49	0,00	0,77**
Ca/Cu	0,13	0,03	0,23	0,00	0,15	0,03	0,20	0,00	0,99**
Ca/Zn	0,05	0,01	0,14	0,00	0,06	0,01	0,17	0,00	0,56**
Ca/B	0,04	0,02	0,39	0,00	0,04	0,02	0,40	0,00	0,91**
Mg/N	0,14	0,02	0,14	0,00	0,14	0,02	0,15	0,00	0,81**
Mg/P	2,24	0,37	0,17	0,14	2,23	0,47	0,21	0,22	0,63**
Mg/S	3,39	1,15	0,34	1,31	4,16	1,98	0,48	3,94	0,33**
Mg/K	0,12	0,02	0,13	0,00	0,11	0,01	0,07	0,00	4,09**
Mg*Fe	37,50	13,90	0,37	193,14	33,15	11,01	0,33	121,31	1,59**
Mg*Mn	124,23	69,82	0,56	4,9E <sup>+03</sup>	98,15	48,65	0,50	2,4E <sup>+03</sup>	2,06**
Mg*Cu	3,20	0,66	0,21	0,43	2,67	0,52	0,19	0,27	1,61**

Obtención de la norma de diagnóstico e índices de recomendación integral (DRIS) en agroecosistemas plataneros del departamento de Antioquia

Forma de Expresión	PBP <sup>(1)</sup>				PAP <sup>(2)</sup>				
	$\bar{X}$ <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	CV <sup>(5)</sup>	S <sup>2</sup> B <sup>(6)</sup>	$\bar{X}$ <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	CV <sup>(5)</sup>	S <sup>2</sup> A <sup>(7)</sup>	S <sup>2</sup> B/S <sup>2</sup> A <sup>(8)</sup>
Mg*Zn	7,47	1,07	0,14	1,15	7,22	1,65	0,23	2,72	0,42**
Mg*B	9,81	3,21	0,33	10,28	9,69	3,29	0,34	10,85	0,95**
Fe*K	347,18	46,65	0,13	2,2E+03	355,64	24,64	0,07	607,04	3,59**
Fe/Mn	0,41	0,22	0,52	0,05	0,50	0,25	0,49	0,06	0,77**
Fe/Cu	13,00	3,02	0,23	9,13	15,41	3,04	0,20	9,23	0,99**
Fe/Zn	5,42	0,73	0,14	0,54	5,70	0,98	0,17	0,96	0,56**
Fe/B	4,57	1,77	0,39	3,15	4,61	1,86	0,40	3,47	0,91**
Mn*K	643,30	86,44	0,13	7,5E+03	658,98	45,65	0,07	2,1E+03	3,59**
Mn/Cu	24,08	5,60	0,23	31,34	28,55	5,63	0,20	31,69	0,99**
Mn/B	8,47	3,29	0,39	10,81	8,55	3,45	0,40	11,90	0,91**
Cu*K	23,83	3,20	0,13	10,25	24,41	1,69	0,07	2,86	3,59**
Zn*N	54,28	7,95	0,15	63,14	52,31	7,41	0,14	54,87	1,15**
Zn*P	3,40	0,57	0,17	0,32	3,45	0,72	0,21	0,51	0,63**
Zn*K	64,67	8,69	0,13	75,51	66,25	4,59	0,07	21,06	3,59**
Zn/Mn	0,08	0,04	0,52	0,00	0,09	0,05	0,49	0,00	0,77**
Zn/Cu	2,42	0,56	0,23	0,32	2,87	0,57	0,20	0,32	0,99**
Zn/B	0,85	0,33	0,39	0,11	0,86	0,35	0,40	0,12	0,91**
B*N	99,99	14,64	0,15	214,24	96,37	13,64	0,14	186,18	1,15**
B*K	119,13	16,01	0,13	256,25	122,03	8,45	0,07	71,47	3,59**
B/Cu	4,46	104	0,23	1,07	5,29	1,04	0,20	1,09	0,99**

<sup>(1)</sup>Población de baja producción; <sup>(2)</sup>Población de alta producción; <sup>(3)</sup> Media; <sup>(4)</sup> Desviación estándar; <sup>(5)</sup> Coeficiente de variación; <sup>(6)</sup> Varianza de la PBP; <sup>(7)</sup> Varianza de la PAP; <sup>(8)</sup> Relación entre varianzas entre la PBP y PAP, (\*\* Relaciones seleccionadas de acuerdo a su significancia).

Teniendo en cuenta las normas establecidas se calcularon los índices DRIS, con el propósito de identificar las posibles deficiencias (desbalances) o excesos (deficiencias) para cada elemento. En promedio lo elementos que presentaron mayor deficiencia fueron Ca, K y N, debido a que sus índices se encuentran con signo negativo y distantes de cero, valor que se considera como el equilibrio o el balance nutricional óptimo y a su vez son los nutrientes que pueden presentar mayor probabilidad de respuesta al suministrarlos. Por otra parte, los elementos Mg, S, Mn, Fe, Cu y P presentaron excesos, con índices superiores a cero y los elementos que mayor presentaron balance nutricional fueron el B y Zn (Tabla 15). En el caso del N aunque la población de baja producción presentó niveles superiores respecto a la

población de alta producción (Tabla 12), al realizar los índices se observaron deficiencias (-1,14), lo cual se puede interpretar como un desbalance con otros nutrientes dentro del tejido de la planta y no como una deficiencia (Herrera, 2015: Ruíz y Cajuste, 2002).

Tabla 15. Índices DRIS foliares, para el cultivo del plátano Hartón en la región de Urabá.

<b>Nutriente</b>	<b>Índice</b>
N	-1,14
P	1,66
K	-8,56
Ca	-11,09
Mg	55,00
S	6,15
Fe	3,17
Mn	4,65
Cu	3,01
Zn	0,94
B	0,67
IBN <sup>(1)</sup>	0,00
IBNm <sup>(2)</sup>	0,00

<sup>(1)</sup> Índice de balance nutricional <sup>(2)</sup> Índice de balance nutricional medio

**3.3.2.2 Región Suroeste:** De las 55 relaciones seleccionadas, todas presentan diferencias en el contenido foliar promedio de nutrientes presentado en la población de alto producción con respecto a la de baja. De manera general, en esta región se presentó una mayor variabilidad, tanto en la población de alta como de baja producción. Los coeficientes de variación oscilaron entre 0.38 y 3.6, siendo mucho más alta está en la población de baja. En las relaciones que presentan un coeficiente de variación mayor a uno, los nutrientes P, Ca, Mg, K, Fe, S, Mn, B y el Zn, son los que parecen estar realizando un mayor aporte a la variabilidad, cuando ellos se relacionan entre ellos o con otros nutrientes, ya que siempre aparecen involucrados (Tabla 16). En las normas presentadas para esta región, las relaciones de nutrientes que obtuvieron mayores diferencias con respecto a la población de baja

producción fueron aquellas con respecto al nitrógeno (N/P), al azufre (S/Fe), al magnesio (Mg/Fe), al potasio (K/Mn), al hierro (Fe\*N, Fe\*P), al manganeso (Mn\*N, Mn\*P, Mn\*S, Mn/Ca, Mn/Zn, Mn/B), al cobre (Cu/Ca, Cu\*K), al zinc (Zn\*N, Zn/Ca, Zn\*K), y al boro (B\*N, B\*K) (Tabla 16). Entre las relaciones mencionadas los elementos que se presentan en la mayoría de las relaciones son el Mn y N, lo que sugiere que los cambios menores que se presenten en las proporciones de estos elementos, tienen una relación directa con el comportamiento productivo del cultivo. En este sentido, Furcal y Barquero (2014) afirman que los elementos que más inciden en la producción del peso de racimo (kg) se presentan en la relación N:K produciendo alta acumulación de materia seca en los tejidos. A su vez Rodríguez (1978) indica que una baja absorción de N tiene como efecto altos contenidos y/o acumulación de Ca en los tejidos foliares. En el caso del Mn (Hiafa, 1990) reporta que cambios en la concentración de este elemento en el tejido disminuye la disponibilidad de Ca, Mg y Zn, por lo cual se recomienda un manejo adecuado entre los mismos, además es de resaltar su papel en el proceso fotosintético, en la formación de clorofila y en la reducción del N en forma de nitrato. En la PAP para el Mn se observa que algunas relaciones presentan los coeficientes de variación más elevados, en este sentido Flores *et al.* (2004) y Chacón *et al.* (2012) afirman que para las normas no integran problemas de interpretación puesto que en esta situación, dichos valores representan la variación real existente en los contenidos de los nutrientes en la población de baja producción, por lo que entre más variabilidad se presente en estas relaciones, hay menos diferencias significativas.

Teniendo en cuenta lo anterior las normas seleccionadas a partir de poblaciones de alto rendimiento para esta investigación, indican condiciones ideales para el diagnóstico de la concentración nutricional y sus respectivas relaciones. En la Tabla 14 y 16 se describen los



Obtención de la norma de diagnóstico e índices de recomendación integral (DRIS) en agroecosistemas plataneros del departamento de Antioquia

valores medios de las relaciones entre los nutrientes de las poblaciones de alta y de baja productividad de la región del Urabá y Suroeste respectivamente, y sus valores de varianzas y coeficientes de variación.

Tabla 16. Normas para diagnóstico de la fertilidad foliar para la variedad Dominico Hartón en la región del Suroeste.

Forma de Expresión	PBP <sup>(1)</sup>				PAP <sup>(2)</sup>				
	$\bar{X}$ <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	CV <sup>(5)</sup>	S <sup>2</sup> B <sup>(6)</sup>	$\bar{X}$ <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	CV <sup>(5)</sup>	S <sup>2</sup> A <sup>(7)</sup>	S <sup>2</sup> B/S <sup>2</sup> A <sup>(8)</sup>
N/P	16,87	4,04	0,24	16,31	15,86	7,87	0,50	61,86	0,26
N*Ca	2,16	0,61	0,28	0,38	2,04	1,05	0,52	1,10	0,34
N/Mg	8,24	2,61	0,32	6,81	7,68	4,14	0,54	17,11	0,40
N/K	1,07	0,31	0,29	0,10	0,98	0,45	0,45	0,20	0,49
P/S	2,24	0,82	0,37	0,68	1,84	0,83	0,45	0,69	0,98
P*Ca	0,16	0,03	0,20	0,00	0,20	0,21	1,04	0,05	0,02
P*Cu	2,18	1,58	0,73	2,50	2,49	1,94	0,78	3,76	0,66
P*B	4,62	1,53	0,33	2,33	3,69	1,82	0,49	3,31	0,70
S/N	0,04	0,01	0,19	0,00	0,04	0,04	1,00	0,00	0,03
S/K	0,04	0,01	0,20	0,00	0,05	0,04	0,95	0,00	0,03
S*Fe	14,89	14,19	0,95	201,40	22,43	47,85	2,13	2,3E <sup>+03</sup>	0,09
S*Cu	1,09	0,79	0,73	0,62	1,09	0,79	0,73	0,63	0,99
S*B	2,31	0,76	0,33	0,58	1,82	0,93	0,51	0,87	0,67
Ca*S	0,10	0,02	0,24	0,00	0,10	0,05	0,54	0,00	0,20
Ca*K	0,36	0,08	0,22	0,01	0,30	0,13	0,45	0,02	0,33
Ca/Fe	0,01	0,00	0,30	0,00	0,03	0,07	2,68	0,01	1,4E <sup>-03</sup>
Mg/P	2,21	0,48	0,22	0,23	1,97	0,95	0,48	0,91	0,25
Mg/S	3,93	1,44	0,37	2,07	3,34	1,42	0,42	2,00	1,04
Mg*Ca	0,28	0,06	0,20	0,00	0,26	0,11	0,41	0,01	0,27
Mg/K	0,14	0,03	0,20	0,00	0,13	0,05	0,41	0,00	0,28
Mg*Fe	52,11	49,67	0,95	2,5E <sup>+03</sup>	188,51	607,76	3,22	3,7E <sup>+05</sup>	0,01
Mg*Cu	3,81	2,77	0,73	7,65	4,04	3,00	0,74	9,00	0,85
Mg*B	8,09	2,67	0,33	7,15	6,63	3,16	0,48	9,97	0,72
K/P	20,58	4,49	0,22	20,14	19,39	8,05	0,41	64,75	0,31
K*Fe	485,38	462,64	0,95	2,1E <sup>+05</sup>	1,4E <sup>+04</sup>	5,3E <sup>+04</sup>	3,90	2,9E <sup>+09</sup>	7,5E <sup>-05</sup>
K*Mn	3,1E <sup>+03</sup>	1,9E <sup>+03</sup>	0,60	3,5E <sup>+06</sup>	2,2E <sup>+05</sup>	8,7E <sup>+05</sup>	3,95	7,6E <sup>+11</sup>	4,6E <sup>-06</sup>
Fe*N	1,9E <sup>+03</sup>	364,04	0,19	1,3E <sup>+05</sup>	1,0E <sup>+04</sup>	3,3E <sup>+04</sup>	3,3E <sup>+00</sup>	1,1E <sup>+09</sup>	1,2E <sup>-04</sup>

Obtención de la norma de diagnóstico e índices de recomendación integral (DRIS) en agroecosistemas plataneros del departamento de Antioquia

Forma de Expresión	PBP <sup>(1)</sup>				PAP <sup>(2)</sup>				
	$\bar{X}$ <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	CV <sup>(5)</sup>	S <sup>2</sup> B <sup>(6)</sup>	$\bar{X}$ <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	CV <sup>(5)</sup>	S <sup>2</sup> A <sup>(7)</sup>	S <sup>2</sup> B/S <sup>2</sup> A <sup>(8)</sup>
Fe*P	115,31	17,29	0,15	299,06	108,18	63,48	0,59	4,0E+03	0,07
Fe/Mn	1,02	0,65	0,64	0,43	0,94	0,66	0,70	0,44	0,98
Mn*N	1,7E+03	319,70	0,19	1,0E+05	7,9E+03	2,5E+04	3,20	6,3E+08	1,6E-04
Mn*P	101,27	15,19	0,15	230,64	93,00	49,56	0,53	2,5E+03	0,09
Mn*S	59,93	14,42	0,24	208,03	63,39	44,89	0,71	2,0E+03	0,10
Mn/Ca	811,23	191,15	0,24	3,7E+04	2,9E+03	9,0E+03	3,10	8,1E+07	4,5E-04
Mn*Mg	214,59	46,31	0,22	2,1E+03	306,11	496,60	1,62	2,5E+05	0,01
Mn/Cu	71,01	22,90	0,32	524,60	90,28	119,52	1,32	1,4E+04	0,04
Mn/Zn	32,19	3,78	0,12	14,32	28,03	11,86	0,42	140,60	0,10
Mn/B	29,95	10,61	0,35	112,50	34,71	25,08	0,72	629,18	0,18
Cu*N	32,46	6,19	0,19	38,29	30,85	12,50	0,41	156,17	0,25
Cu/Ca	15,70	3,70	0,24	13,69	12,77	4,80	0,38	23,07	0,59
Cu*K	31,31	5,91	0,19	34,91	27,35	10,52	0,38	110,62	0,32
Cu/Fe	0,10	0,03	0,30	0,00	0,11	0,06	0,55	0,00	0,24
Zn*N	59,51	11,34	0,19	128,69	60,20	29,09	0,48	846,43	0,15
Zn*P	3,59	0,54	0,15	0,29	2,82	1,34	0,48	1,79	0,16
Zn*S	2,13	0,51	0,24	0,26	1,82	0,88	0,49	0,78	0,34
Zn/Ca	28,79	6,78	0,24	46,01	24,71	10,50	0,42	110,18	0,42
Zn*Mg	7,61	1,64	0,22	2,70	6,29	2,96	0,47	8,74	0,31
Zn*K	57,41	10,83	0,19	117,32	53,46	25,48	0,48	649,17	0,18
Zn/Fe	0,19	0,06	0,30	0,00	0,20	0,08	0,40	0,01	0,52
Zn/Cu	2,52	0,81	0,32	0,66	2,10	1,08	0,51	1,16	0,57
Zn/B	1,06	0,38	0,35	0,14	1,01	0,51	0,51	0,26	0,54
B*N	83,86	15,98	0,19	255,52	89,45	54,59	0,61	3,0E+03	0,09
B/Ca	40,56	9,56	0,24	91,35	13,22	25,85	1,96	668,29	0,25
B*K	80,89	15,26	0,19	232,95	79,56	48,86	0,61	2,4E+03	0,10
B/Fe	0,27	0,08	0,30	0,01	0,27	0,10	0,38	0,01	0,60
B/Cu	3,55	1,15	0,32	1,31	2,98	1,50	0,50	2,26	0,58

<sup>(1)</sup>Población de baja producción; <sup>(2)</sup> Población de alta producción; <sup>(3)</sup> Media; <sup>(4)</sup> Desviación estándar; <sup>(5)</sup> Coeficiente de variación; <sup>(6)</sup> Varianza de la PBP; <sup>(7)</sup> Varianza de la PAP; <sup>(8)</sup> Relación entre varianzas entre la PBP y PAP, (\*\* Relaciones seleccionadas de acuerdo a su significancia).

De acuerdo con Sumner, (1977) las relaciones entre varianzas de la PBP respecto a la PAP para el establecimiento de las normas, estas siempre deben ser mayor a 1. En este sentido para la región del Suroeste las relaciones entre pares de nutrientes que se presentaron cercanos a este valor fueron P/S, S\*Cu y Fe/Mn con un nivel de 0,98, 0,99, 0,98

respectivamente y el resto (94,5%) se encontraron por debajo de la referencia ya que la PAP presentó mayor variabilidad respecto a las PBP (Tabla 16). En el caso de la región de Urabá el 35% de las normas establecidas no presentaron esta condición en las relaciones S/N, S/P, S\*Zn, Ca\*P, Ca\*S, Ca\*Mg, Ca\*K, Ca/Fe, Ca/Mn, Ca/Zn, Mg/N, Mg/P Mg/S, Mg\*Zn, Fe/Mn, Fe/Zn, Fe/P y Z/Mn con un nivel de 0,81, 0,63, 0,42, 0,63, 0,24, 0,23, 0,41, 0,44, 0,77, 0,56, 0,8, 0,63, 0,33, 0,42, 0,77, 0,56, 0,63, 0,77 respectivamente (Tabla 14), por lo cual probablemente se requiera realizar un muestreo más amplio de la población.

Tabla 17. Índices DRIS foliares, para el cultivo del plátano Dominico Hartón en la región de Suroeste.

Nutriente	Índice
N	1,89
P	0,24
K	-1,23
Ca	0,96
Mg	2,16
S	-5,98
Fe	4,21
Mn	1,78
Cu	-1,95
Zn	-1,45
B	-0,63
IBN <sup>(1)</sup>	0,00
IBNm <sup>(2)</sup>	0,00

<sup>(1)</sup> Índice de balance nutricional <sup>(2)</sup> Índice de balance nutricional medio

En promedio la región del Suroeste presentó elementos con índices DRIS de carácter negativo como el S, Cu, Zn, K y B, indicando mayor deficiencia o desbalance respecto a los demás elementos, por lo tanto pueden presentar mayor probabilidad de respuesta al suministro de los mismos. Por otra parte, los elementos Fe, Mg, N, Fe y Mn presentaron

excesos, con índices superiores a cero y los elementos que mayor presentaron balance nutricional fueron el P y Ca (Tabla 17). En el caso del B aunque se presentó con signo negativo se encuentra cercano a cero, valor que se considera como el equilibrio o el balance nutricional óptimo.

### **3.4 Conclusiones**

De acuerdo a este estudio, se puede indicar que para la región de Urabá el potasio (K) es el elemento que presenta mayor relación en con respecto al comportamiento productivo del cultivo. Mientras que en el Suroeste los elementos que presentaron relación directa con el estado nutricional y comportamiento productivo fueron el N y Mn.

En las regiones de Urabá y Suroeste los elementos limitantes en la producción del plátano son Ca, K, N y S, Cu, Zn, K respectivamente, por lo tanto se recomienda realizar aplicaciones frecuentes de estos nutrientes en los sistemas productivos.

Para las regiones de Urabá y Suroeste Antioqueño, se logró establecer las normas para el diagnóstico nutricional para el cultivo del plátano Hartón y Dominico Hartón respectivamente, bajo el sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) las cuales son específicas para cada una de las condiciones en las zonas de estudio.

Las normas establecidas para las regiones del Urabá y Suroeste, el 94,5 y 35 % de los valores respectivamente se presentaron inferiores a 1 (Summer 1977), indicando que probablemente se requiera un tamaño de muestra más grande.

Con la finalidad de identificar los nutrientes más limitantes en la producción del cultivo de plátano, se recomienda llevar a cabo la implementación de dichas normas y su

interpretación mediante el cálculo de los índices DRIS como herramienta base para el diagnóstico nutricional de este cultivo.

## Bibliografía

1. Álvarez, Y; Gonzalez, R; Gilchrist, E; Sánchez, J; Martínez, A y Castañeda, D. 2016. Caracterización, rendimiento y nivel de adopción tecnológica de agro-sistemas plataneros en las subregiones del suroeste y Urabá (ANT) Colombia. Sometido.
2. Beaufils, E. 1971. Physiological diagnosis: a guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. Fertilizer Society of South Africa Journal, v.1, pp.1-28.
3. Beaufils, E.R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa. Soil Science Bulletin, V. 1, p. 132
4. Cárdenas, H., C. Castro, L. Arcilla, L. Gómez y L. Marín. 2009. Perfil de la Subregión del Suroeste. Dirección de Planeación Estratégica Integral. Tomo II. Medellín. p. 152.
5. Cárdenas, J y H, Meneses. 2016. Informe técnico de la producción del plátano Hartón en la región de Urabá. C.I Banacol S.A p.1.
6. Chacón, E., J. Camacho y J. Bernal. 2012. Obtención de la norma de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) para el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Altillanura Colombiana. Tesis de investigación para Magister en Ciencias Agrarias. Facultades de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 96 p.
7. Comsap. 2014. Estándares de comercialización de productos: Plátano Dominic Hartón. Cooperativa Agromultiactiva San Bartolo. Andes. 2 p.
8. Espinal, C. 2001. Acuerdo de competitividad de la cadena productiva del plátano en Colombia. Colección Documentos IICA Serie Competitividad No.18. Primera Edición. Elizabeth Meek y Hugo Aldana Navarrete. ISBN: 958-9328-29-6. Bogotá D.C. (pp 12-13). En: <http://repiica.iica.int/DOCS/B0119E/B0119E.PDF>; consulta: Mayo 2015.
9. Espinal, C., H. Martínez y Y. Peña. 2005. La cadena del plátano en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica. Documento de Trabajo No. 61 Ministerio

de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia. Bogotá D.C. En Agrocadenas: <http://www.asohofrucol.com.co/archivos/cadenas/platano.pdf>.

10. Furcal, P y A, Barquero. 2014. Fertilización del plátano con nitrógeno y potasio durante el primer ciclo productivo. Agron. Mesoam. ISSN: 2215-3608. 25(2): p. 267-278.
11. Fajardo, S y Patiño, J. 2015. Anuario estadístico del sector agropecuario en el departamento de Antioquia 2014. Gobernación de Antioquia. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Medellín. 34-35 pp.
12. García, L., J. Díaz, L. Burgos, L. Ortiz, J. González, D. Vera, R. Burgos, G. Peña, R. Siachoque y J. Romero. 2007. Estudio General de Suelos y zonificación de tierras Departamento de Antioquia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Tomo 2. Gobernación de Antioquia. Bogotá D.C. p. 720.
13. Hiafa. 1990. Recomendaciones nutricionales para el cultivo de plátano y banano. Boletín técnico. Pioneering the frute. p. 25 – 26.
14. Herrera, G y Camacho, J. 2015. Obtención del sistema de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) en el cultivo de Palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias Maestría en Ciencias Agrarias Bogotá, Colombia.
15. Hernández. Y., M. Marín y J. García. 2004. Respuesta en el rendimiento del plátano Musa AAB cv. Hartón, en función de la nutrición mineral y su ciclo fenológico. Parte II. Contenido mineral. . Rev. Fac. Agron. LUZ. V. 21 (1): 114-120.
16. Herrera, N y Sánchez J. 2016. Cochinillas harinosas de la raíz en el cultivo del plátano: principios y estrategias de manejo en la subregión de Urabá. Augura – Cenibanano. pp 8-9.
17. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos, Sexta Edición. Bogotá, Colombia 2006. p 647. ISBN 978-958-9067-98-7.
18. Martin, J y Plevel, P. 1974. Les methods d'échantillonnage pour l'analyse foliaire du bananier: Resultats d'une enquete international et propositions en vue d'une reference commune. Fruits 29: 583-588.
19. Múnera, G. 2012. Manual general análisis de suelos y tejido vegetal. Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Tecnología Química. Pereira Colombia. p. 19.
20. Muños, R y Guerrero, R. 1995. Fertilización de cultivos de clima medio. Fertilización del plátano (*Musa AAB* Simmonds) en suelos de clima medio en Colombia. Monómeros. Segunda edición. ISBN: 958-95295-2-6. Bogotá, Colombia. 175-176 pp.

21. Malavolta, E. Y Malavolta M. 1989. Diagnose foliar: princípios e aplicações. In: Bull, L.T., Rosolem, C.A. Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação. Botucatu, Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. pp. 227-308.
22. Marcchal, J y Mallessard. 1979. Comparaison des immobilisations minerales de quatre cultivars de bananiers a fruits por cuisson at de duex 'Cavendish'. Fruits 34:373-392.
23. Letzsch, W. S y Sumner, M. 1984. Effect of population size and yield level in selection of Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.15, p.997-1006.
24. Payne, G; Rechcigl, J y Stephenson, R. 1990. Development of diagnosis and recommendation integrated system norms for bahiagrass. Agronomy Journal, Madison, v. 82, p. 930-934.
25. Palencia, G., Gómez, R y Martin, J. 2006. Manejo sostenible del cultivo del plátano. Corpoica. Edición: Luz María Calle Hoyos. ISBN 978-958-8311-18-0. Bogotá, DC – Colombia, pp. 7-9.
26. Ribeiro, G. 2008. Avaliação de metodologias na diagnose nutricional do melão cantaloupe irrigado nachapada do apodi-rn. Dissertação apresentada à Universidade de Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestrem Irrigação e Drenagem.
27. Rodríguez V. y O. Rodríguez. 1997. Normas foliares DRIS para el diagnóstico nutricional del plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón). Rev. Fac. Agron. LUZ. 14:285-296.
28. Rodríguez. V. 2009. Diagnóstico nutricional suelo-planta y fertilización en el plátano. Producción agropecuaria. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago. V. 2(1): 45 – 48.
29. Rodríguez V. y O. Rodríguez. 1998a. Hoja de cálculo de índices DRIS e IBNDRIS. Material de apoyo. Curso de nutrición mineral. IX Jornadas de investigación del decanato de Agronomía. UCLA. junio 1998 Barquisimeto. Venezuela. Diskette. p 8.
30. Rodríguez, V., D. Bautista, O. Rodríguez y L. Díaz. 1999a. Relación entre el balance nutricional y la biometría del plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón) y su efecto sobre el rendimiento. Rev. Fac. Agron. (LUZ). V. 16: 425-432.
31. Rodríguez, V., D. Bautista y O. Rodríguez. 1998a. Características biométricas de una subpoblación de plátano Hartón (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón) con rendimientos promedios de 17,4 kg/racimo en Venezuela. Resúmenes XLIV Reunión Anual de la Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical. Barquisimeto. Venezuela. p. 75.

32. Rodríguez, O y V. Rodríguez. 2000. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. Rev. Fac. Agron. (LUZ). V. 17: 449-470.
33. Reis, J. 2002. DRIS norms universality in the corn crop. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.33, n.5 y 6, p.711-735.
34. Sánchez, J y Mira, J. 2013. Principios para la nutrición del cultivo de banano. Augura – Cenibanao. ISBN: 978-958-99167-8-0. Medellín – Colombia. p. 137.
35. 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.
36. Sumner, M. E. 1997. Application of Beaufils' diagnostic indices to maize data published in the literature irrespective of age and conditions. Plant and Soil. 46: 359-369.
37. Walworth, J y Sumner, M. 1987. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). Advances in Soil Science, v.6, p.149-188.



## 4. Propuesta de manejo nutricional para el cultivo del plátano: caso de estudio en la región de Urabá

### Nutritional management proposal for banana cultivation: case study in the region of Uraba

#### **Resumen**

Basados en la metodología DRIS y de puntos críticos edáficos de suficiencia se diagnóstico e implementó el manejo nutricional del cultivo de plátano Hartón en dos predios en la región de Urabá, uno categorizado como de baja producción (40 cajas ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup>) y que se denominó predio experimental (PE) y el otro como de alta producción (80 cajas ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup>) tomado como predio control (PC). En el PE se realizaron muestreos foliares y edáficos, con el fin de analizar el estado de las variables químicas indicadoras de la fertilidad y en el PC se realizó un análisis de la fertilidad del suelo así como de seguimiento del manejo general del cultivo. En el predio experimental inicialmente se presentaron los siguientes nutrientes como déficit foliar de N, P, Ca, K, Zn y B y, a nivel edáfico de N, P, K, S y B con un nivel medio de CICE y altos contenidos de Fe activo. Teniendo en cuenta lo anterior, se generó e implementó una propuesta de manejo para mejorar la fertilización foliar y edáfica del predio control. Para determinar la efectividad del tratamiento propuesto, mediante una prueba de Tukey ( $\alpha=0.005$ ) se comparó el manejo tradicional (MT) realizado por el productor en los años anteriores (2014 y 2015) respecto al manejo experimental (ME) realizado en el 2016, asimismo se evaluó mensualmente el peso total de racimos (k), fruta tipo rechazo y premium (cajas ha<sup>-1</sup>), y se analizó la viabilidad económica de la práctica mediante indicadores de

rentabilidad como costos de producción, costo unitario, margen de venta y flujo de caja teniendo en cuenta los dos tipos de manejo (MT vs ME). Los resultados mostraron diferencias significadas de producción en el PE respecto al PC, permitiendo una mayor rentabilidad y flujo de ingresos para el PE.

**Palabras clave:** diagnóstico, nutrición, producción, fertilización, *Musa AAB Simmonds*

### **Abstract**

Based on the DRIS methodology and critical soil improvement points, the nutritional management of the plantain Harton crop in two farms in the Uraba region was diagnosed and implemented. First one categorized as low production (40 boxes ha<sup>-1</sup> month<sup>-1</sup>) and which was denominated experimental farm (PE) and the other one as high production (80 boxes ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup>) taken as control farm (PC). In both farms, fertility analyzes were carried out to determine the state of the indicator chemical variables. In PE, foliar and edaphic sampling were performed, and in the PC soil and crop management follow-up only. In the experimental plot, the following nutrients were present with foliar deficiency of N, P, Ca, K, Zn and B, and at the soil level of N, P, K, S and B with a middle level of CICE and high contents of Active Fe. With the above, a management proposal to improve the foliar and edaphic fertilization of the control plot was generated and implemented. In order to determine the effectiveness of the proposed treatment, a traditional Tukey test ( $\alpha = 0.005$ ) to compare the traditional management (MT) by the producer in the previous years (2014 and 2015) with respect to the experimental management (ME) carried out in 2016 was used. The total weight of bunches (k), reject type fruit and premium (boxes ha<sup>-1</sup>) were evaluated monthly. The economic viability of the practice was analyzed through profitability indicators such as costs

of production, unit cost, margin of sale and cash flow taking into account the two types of management (MT vs. ME). The results showed significant differences between PE and PC in terms of production, which allows a greater profitability and income flow for the EP.

**Keywords:** diagnosis, nutrition, production, fertilization, *Musa AAB Simmonds*

## 4.1 Introducción

Antioquia es un departamento con una fuerte vocación agrícola siendo el banano, el plátano, el café, la caña y la yuca los cultivos de mayor importancia económica, presentando con el 84,3% el mayor número de toneladas producidas del total de la producción regional; donde participan principalmente las zonas de Urabá y Suroeste Antioqueño. Del 85% del área total sembrada en plátano para la región de Urabá, Turbo participa con el 61%, seguido de San Juan de Urabá (13%), Arboletes (6%) y Necoclí (5%) (Fajardo y Patiño, 2015). En esta región donde su producción se destina básicamente a la exportación, se siembra la variedad Hartón o Falso Cuerno, (*Musa AAB Simmonds*), donde aproximadamente las áreas establecidas se encuentran entre 12.000 y 13.000 ha (Cárdenas y Orozco, 2008). El sistema de siembra comúnmente usado es el arreglo en triángulo, manejando distancias de 2.6 a 2.7 m entre plantas, lo que permite poblaciones máximas entre las 1.577 y las 1.700 plantas ha<sup>-1</sup>. No obstante, debido a la pérdida de espacio productivo por los sistemas de drenaje requeridos en la zona y a la insuficiencia en las labores de resiembra, es común que las densidades de siembra en la región se presenten entre las 1.300 y 1.500 plantas ha<sup>-1</sup>. La productividad promedio de los cultivos oscila entre las 7 a 8 cajas (23.8 kg netos)/ha/semana (364 a 416

cajas/ha/año), (9.6 a 11.0 Ton/ha/año), productividad considerada baja, respecto al potencial que posee este cultivo y frente a la productividad de otras regiones de Colombia y de otros países productores. En Urabá se comercializan tres diferentes tipos de calidad de la fruta 1. Cajas premium, 2. Cajas de segunda y 3. Fruta rechazada. Las cajas premium y segunda corresponden a la fruta que cumple con los requisitos de exportación y mercado nacional especializado respectivamente (calibre, longitud, desgarre, presencia de madurez, entre otros aspectos) y, la fruta rechazada corresponde a aquella que no cumple con los requisitos de exportación descritos anteriormente (Cárdenas y Meneses, 2016).

La producción promedio de la región de Urabá, expresada en peso total del racimo no supera los 10 kg. No obstante, algunas prácticas como la fertilización y el control de *Sigatoka negra* pueden influir directamente en este aspecto. Por esta razón, es necesario diferenciar el peso promedio del peso potencial, el cual se interpreta, el primero como la producción promedia obtenida en un campo considerando todos los factores que inciden en esta, y el segundo como el peso máximo promedio que puede expresar la variedad, acorde a su potencial genético, cuando los demás factores como el manejo agronómico, las condiciones edáficas, climáticas, entre otras, se encuentran en su punto óptimo; variable que suele estar en un valor  $>15$  kg racimo<sup>-1</sup>, alcanzando una productividad efectiva de  $\geq 15$  cajas premium ha<sup>-1</sup> (Cárdenas y Orozco, 2008). Según Castañeda *et al.* (2011), la producción de un cultivo en campo, frecuentemente es el resultado de la variación en las características del suelo, de la competencia con las arvenses, de las prácticas de manejo, de la microtopografía y de las posibles interacciones entre éstas), por lo que se es necesario contar con un sistema adecuado de diagnóstico nutricional que permita integrar dichas características y comprender de una manera más exacta el funcionamiento del cultivo frente a estas condiciones.

El sistema DRIS es un método que utiliza proporciones de nutrientes, en lugar de concentraciones absolutas o individuales de éstos para la interpretación del estado de estos en el tejido vegetal (Mourão, 2004). Adicionalmente, con la aplicación de esta metodología, es posible relacionar un elevado número de caracteres internos y externos de las plantas bajo condiciones restringidas o no (Beaufils, 1973). Como base teórica, el método DRIS expresa los resultados del diagnóstico nutricional vegetal mediante índices, que representan en una escala numérica continua el efecto de cada nutriente en el balance nutricional de la planta (estos índices son representados por valores adimensionales positivos o negativos). Sin embargo la metodología ha presentado falencias ya que el cálculo es engorroso y demanda mucho tiempo. Por otra parte el método es utilizado comúnmente como una alternativa para diagnosticar la nutrición del tejido vegetal y muy poco como seguimiento a las aplicaciones de fertilización mineral (Arboleda *et al*, 1998). De esta manera el objetivo de este trabajo consistió en implementar una estrategia de manejo con base en las variables edáficas indicadoras de fertilidad y en las normas DRIS para el cultivo del plátano en la región de Urabá con el fin de obtener una producción más eficiente y rentable para los productores.

## **4.2 Materiales y métodos**

### **4.2.1 Localización**

El trabajo se desarrolló en dos predios ubicados en el municipio de Turbo entre el mes de enero y octubre de 2016, uno tomado como predio experimental (PE) categorizado como de baja producción (8 kg racimo<sup>-1</sup>), en la vereda Las Camelias y el otro como predio control

(PC) categorizado como de alta producción ( $\geq 15$  kg racimo<sup>-1</sup>), ubicado en la vereda Honduras. El PE presenta una distribución de tres lotes (L1, L2 y L3), los cuales cuentan con un área efectiva ocupada por el cultivo de 1.3, 1 y 1.5 ha respectivamente, para un total de 3.8 ha con 1500 plantas ha<sup>-1</sup> de la variedad Hartón y una plantación con 15 años de establecida (Figura 1A). El PC presenta una distribución de seis lotes (L1 a L6), los cuales cuentan con un área efectiva de 0.9, 1.1, 1, 0.7, 0.5 y 0.6 ha respectivamente, para un total de 4.8 ha; la densidad de siembra es de 1600 plantas ha<sup>-1</sup> y una plantación con una edad de 12 años de establecida (Figura 1). Los predios presentan una zona de vida bosque húmedo tropical (bh-T) y se sitúan en la planicie aluvial en relieve plano y con pendientes inferiores al 3%. Sus suelos se ubican en los ordenes Entisoles e Inceptisoles, desarrollados a partir de sedimentos aluviales medios y finos; presentan drenaje natural entre imperfecto y pobre; la profundidad efectiva es moderadamente profunda, limitada por la fluctuación del nivel freático y las texturas son moderadamente finas (García *et al.*, 2007).

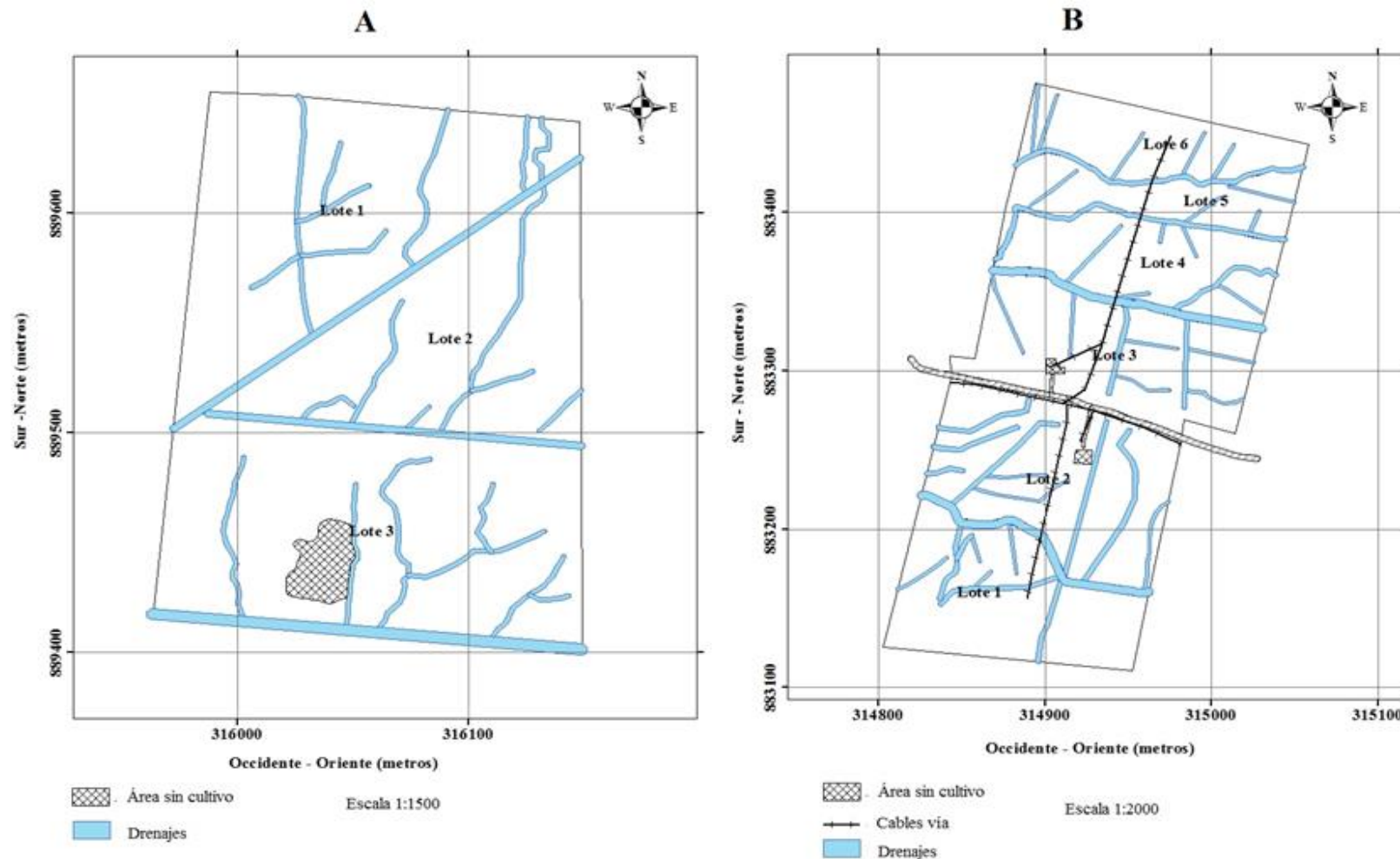


Figura 8. Distribución espacial de lotes, drenajes y áreas no cultivadas, en los predios en estudio. Sistema coordenado UTM, Zona 18N, Datum WGS84. A. Predio Experimental (PE). B. Predio Control (PC).4.2.2

### **Muestreo foliar y edáfico**

En los PE y PC se realizaron muestreos edáficos en el mes de enero de 2016 así como de seguimiento del manejo general del cultivo. A su vez en el PE se efectuaron tres muestreos foliares entre los meses de enero y octubre de 2016 de manera aleatoria según la metodología descrita por Martin y Prevel (1974) en Musaseas, seleccionando entre 20 y 30 plantas a través de recorridos en zig – zag. Las submuestras foliares se tomaron de la sección central (10 x 10 cm) de la hoja número tres (3) (orden descendente) de plantas recién florecidas generando una muestra compuesta de 200g. En estas mismas plantas se retiró la hojarasca y arvenses existentes y con la ayuda de un barreno se tomaron submuestras edáficas a 20 cm de la base del retorno (puyón) y entre 25 y 30 cm de profundidad. Estas se vertieron en un recipiente limpio, se homogenizaron adecuadamente y se tomó una muestra compuesta de 500g. Todas las muestras se marcaron y enviaron al Laboratorio de Suelos y Nutrición de Plantas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, para la determinación de las variables químicas según los métodos descritos en las Tablas 6 y 11 de los capítulos 2 y 3 respectivamente.

#### **4.2.3 Variables climáticas**

Las condiciones climáticas de las veredas en las que se encuentran los predios estudiados se detallan en la Tabla 18, de acuerdo con la información facilitada por Cenibanano de la estación meteorológica Indira – pista Uniban, localizada en las coordenadas 7° 56´ 26.7 N, 76° 41´ 46.40 O en el municipio de Turbo - corregimiento Nueva Colonia, a 8 km de la cabecera municipal, a 6 km de la vereda las Camelias y a 3 km de la vereda Honduras.



Tabla 18. Características climáticas de la zona de estudio durante el año 2016

Meses	Precipitación (mm mes <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	Temperatura aire (°C) <sup>(2)</sup>	Humedad aire (%)
Enero	1.2	27.9	ND <sup>(4)</sup>
Febrero	2.60	28,05	ND <sup>(4)</sup>
Marzo	43.10	27,5	79,26
Abril	161.6	27,56	84,26
Mayo	347,2	27,5	88,82
Junio	191,6	27,2	87,36
Julio	160	27,17	84,15
Agosto	263	26,72	87,46
Septiembre	304	25,72	88,29
Octubre	122,4	25,59	88,52
Noviembre <sup>(3)</sup>	250	26,4	84,3
Diciembre <sup>(3)</sup>	120	27	83

<sup>(1)</sup> Acumulada <sup>(2)</sup> Promedio mensual. <sup>(3)</sup> Estimada <sup>(4)</sup> No determinado

#### 4.2.4 Propuesta de manejo y aplicación de la fertilización

Para el ajuste de los elementos menores y mayores a nivel edáfico y foliar se usaron los niveles de suficiencia (Estimados para 90% de rendimiento) y de balance DRIS establecidos para el cultivo del plátano Hartón en Urabá propuestos en los capítulos 2 y 3 según la metodología de conglomerados y normas DRIS, respectivamente. Los elementos foliares que inicialmente estaban deficientes y necesitaron ajustarse de acuerdo al diagnóstico mediante los índices DRIS fueron N, P, Ca, K, Zn y B y, para su ajuste se realizaron aplicaciones de acuerdo a la descripción en las Tablas 21 y 22. A nivel edáfico los elementos que necesitaron ajustarse, para llegar al nivel de suficiencia fueron N, P, K, S y B, para esto se realizaron las aplicaciones descritas en la Tabla 20. Adicional a las deficiencias, se aplicó la remoción de nutrientes en el racimo, de acuerdo a lo recomendado por Robinson y Galán, (2011), y además se mantuvo estricto control de la relaciones de las bases en el suelo, en las

aplicaciones de estas. Para el cálculo de las cantidades se trabajó con un radio y profundidad de 30 cm y una densidad aparente de  $1.11 \text{ gr cm}^{-3}$  (Tabla 19). Para las dos primeras aplicaciones de fertilización edáfica en época de verano como se aprecia en la Tabla 5 se empleó la técnica de Drench propuesta por (Urban y Valdiviezo, 2014), con fuentes altamente solubles para los nutrientes K, P, N y S. Para una mayor eficiencia se humedeció el suelo con 2 L de agua por planta y luego se aplicó el fertilizante a una concentración 100gr de la mezcla de productos comerciales en un litro de agua, de acuerdo a lo planteado por Martínez y Guzmán (2011) y Moreno *et al*, (2009a; 2009b). La mezcla se aplicó entre 15 y 20 cm de distancia del retorno (puyón) en horas de la tarde, entre 4:00 y 6:00 p.m., y finalmente se cubrió el área de aplicación en el suelo con material vegetal fresco del mismo cultivo (hoja, raquis, pseudotallo, etc). La programación del manejo de la nutrición edáfica y foliar, así como de las fuentes y dosis aplicadas cada mes en el campo experimental se describe en la Tabla 20.

Tabla 19. Manejo de la fertilidad del suelo en el PE

Fuente	Remoción ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) <sup>(1)</sup>	Eficiencia (%)	Total a aplicar ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
N	76	40	130
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	25,2	30	200
K <sub>2</sub> O	292,7	40	1050
CaO	12,5	50	35
MgO	18,2	50	15
S	ND <sup>(2)</sup>	30	20

Fuente: <sup>(1)</sup> (Robinson y Galán, 2011) <sup>(2)</sup> No Determinado.

Propuesta de manejo nutricional para el cultivo del plátano: caso de estudio en la región de Urabá

Tabla 20. Programación del tratamiento aplicado de acuerdo al diagnóstico edáfico y foliar

M <sup>(1)</sup>	Fuente	C <sup>(2)</sup>	Modo		U <sup>(5)</sup>	M	Fuente	C	Modo		U
			E <sup>(3)</sup>	F <sup>(4)</sup>					E	F	
Enero	K <sub>2</sub> O	175	X		Kg ha <sup>-1</sup>	Julio	K <sub>2</sub> O	175	X		Kg ha <sup>-1</sup>
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	33,33	X				M.O	750	X		
	M2 <sup>(8)</sup>	33	X				M2	32	X		
	M.O <sup>(6)</sup>	750	X				(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7	X		
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7	X				M2	0,8		X	
	CaO y M2	1,6		X			N, K <sub>2</sub> O	0,8		X	
	N, Si, M1 <sup>(7)</sup> y M2	1,6		X			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,8		X	
Febrero	CaO y M2	1,6		X	L ha <sup>-1</sup>	Agosto	CaO y M2	0,8		X	L ha <sup>-1</sup>
	N, Si, M1 y M2	1,6		X			N, Si, M1 y M2	1,6		X	
	M1 y M2	0,8		X			CaO y M2	1,6		X	
Marzo	CaO y M2	1,6		X	Kg ha <sup>-1</sup>	Septiembre	Ni, Si, M y M	1,6		X	Kg ha <sup>-1</sup>
	N y Si	0,8		X			K <sub>2</sub> O	175		X	
	K <sub>2</sub> O	175		X			M.O	750		X	
Abril	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	33,33		X	L ha <sup>-1</sup>	Octubre	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	33,33		X	L ha <sup>-1</sup>
	M2	33		X			M2	33		X	
	K <sub>2</sub> O	175		X			K <sub>2</sub> O	175		X	
	CaO y M2	1,6		X			CaO y M2	1,6		X	
	N, Si, M1 y M2	1,6		X			N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y K <sub>2</sub> O	1,6		X	
	CaO y M2	1,6		X			Ni, Si, M1 y M2	1,6		X	
	N, Si, M1 y M2	1,6		X			N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , y K <sub>2</sub> O	1,6		X	
Junio	CaO y M2	1,6		X	Diciembre <sup>(8)</sup>	CaO y M2	1,6		X		
	N, Si, M1 y M2	1,6		X		N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , y K <sub>2</sub> O	1,6		X		

(1) Meses; (2) Cantidad; (3) Edáfico; (4) Foliar; (5) Unidad; (6) Materia orgánica; (7) Fuente de mayores; (8) Fuente de menores; (9) Aplicación programada.

#### **4.2.5 Determinación de los incides DRIS**

Para el establecimiento del balance nutricional foliar se utilizó la metodología propuesta por de Beaufils. (1971 y 1973), Sumner (1997b) y Mourão (2004), descrita en el Capítulo 1 (Tabla 2) y para determinar la magnitud de deficiencia o suficiencia nutricional de un elemento se tuvo en cuenta el Índice de Balance Nutricional Medio (IBNM) propuesto por Mourão (2004); Rodríguez y Rodríguez, (1997 y 2000), descrito en el Capítulo 3.

#### **4.3.6 Análisis de producción**

La producción, para el periodo entre enero y octubre de 2016, se evaluó a través de la producción tipo exportación y tipo de rechazo, comercializada nacionalmente, en cajas por hectárea (25 kg caja<sup>-1</sup>) mensual de cada predio. La producción, de los meses de noviembre y diciembre, se estimó a través de la fruta embolsada y encintada o marcada 11 semanas atrás. También se evaluó el peso aleatorio de 10 racimos, efectuado durante cada cosecha semanal del predio. En el análisis, se comparó la producción, obtenida en el PE, contra los datos de producción de la misma finca obtenidos en los años 2014 y 2015 y facilitados por la comercializadora Uniban. También se comparó la producción de los predios PE y PC. Todas las comparaciones efectuadas mediante un análisis descriptivo y de varianza para determinar las diferencias significativas. Para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey con un 5 % significancia.

#### **4.3.7 Análisis económico**

El análisis de viabilidad económica de la práctica se realizó mediante un estudio financiero, con el propósito de determinar el efecto de los cambios de la nutrición edáfico foliar en los rendimientos, comparándose el año 2015 que corresponde al manejo tradicional respecto al

año 2016 que corresponde a la propuesta de manejo experimental. En el análisis se tuvo en cuenta, la inversión inicial, los costos de mano de obra, los costos de materiales y los costos fijos, manteniendo constante la tasa de cambio (precios en el mercado y valor del dólar) para ambos años. Adicional a esto, se consideró los ingresos de la productividad generada en los dos años expresada en cajas tipo premium y cajas tipo rechazo. Teniendo en cuenta lo anterior se realizó un análisis comparativo de 2015 respecto a 2016 mediante los siguientes indicadores económicos: 1. Costo unitario por caja elaborada; 2. Margen bruto de la caja tipo premium y de la tipo rechazo; 3. Margen promedio esperado y 4. Flujo de caja.

## **4.4 Resultados y discusión**

### **4.4.1 Descripción del estado nutricional de los suelos**

El PE presentó suelos moderadamente ácidos (pH: 5,6) respecto al PC los cuales fueron ligeramente ácidos (pH: 6.1), según la descripción de Jaramillo (2014), sin embargo no presenta saturación con aluminio intercambiable como era de esperarse según lo propuesto por Osorio (2014), quien afirma que en los suelos del trópico con pH mayores de 5.5 no hay presencia de la forma intercambiable de este elemento en los sistemas productivos. Por otra parte es alto el contenido de Fe encontrado en el PE ( $98 \text{ mg kg}^{-1}$ ) superando el nivel propuesto en el capítulo 2 (Tabla 9) indicando procesos de reducción, esto según García *et al.*, (2007) es típico de suelos ácidos presentes en esta región; caso contrario presentó el PC con un nivel bajo de este elemento ( $26 \text{ mg kg}^{-1}$ ), esto posiblemente debido a las buenas prácticas de aireación que se establecen en este predio (hércules, drenajes, etc). Los predios presentaron un nivel medio de capacidad de intercambio catiónico específico (CICE) con tendencia a bajo

para el PE ( $16.4 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ ) corroborado por el bajo contenido de bases intercambiables como, en el caso del calcio y medio como en el caso del Magnesio, mientras que el PC presentó un nivel de  $20.2 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$  indicando buena fertilidad. El K se ubica en rango medio para ambos predios ( $0.61$  y  $0.29 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$  respectivamente), mientras que el P se encuentra en un nivel bajo ( $10$  y  $11 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente) (Tabla 21), según Gojon *et al*, (2009), este elemento se encuentra normalmente en baja disponibilidad, debido a que es adsorbido por los minerales del suelo o es fijado en formas inorgánicas.

La Materia Orgánica en términos de porcentaje presentó un nivel medio para ambos predios ( $2,5$  y  $2.1 \%$  respectivamente), contribuyendo a mejorar la CICE y a regular los contenidos de agua y aire en el suelo Belalcázar (1992). La textura presentada en los predios PE y PC es Arcillo limosa (arena:  $0 \%$ , limo:  $46\%$  y arcilla:  $54\%$ ) y Franco Arcillosa (arena:  $34\%$ , limo:  $32\%$  y arcilla:  $34\%$ ) respectivamente. De acuerdo con lo anterior el PE manifestó suelos pesados con buena retención de humedad y baja aireación, lo que puede causar pudrición de raíces y favorecer la presencia de plagas (Herrera y Sánchez 2016). Los elementos menores estudiados, en el PE la mayoría se encontraron en un nivel alto como Fe, Mn, Cu y Zn ( $98$ ,  $3$ ,  $4$  y  $3 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente) respecto al PC donde se encuentran en un nivel medio, indicando buen equilibrio entre estos; el S, Fe, Cu y Zn ( $2$ ,  $26$ ,  $3$  y  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente) y el B se encontró en un nivel bajo para ambos predios ( $0.44$  y  $0,36 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente). Sin embargo, el análisis mostró que no hay presencia del S en el PE, lo cual puede estar asociado al desbalance entre los elementos menores en este predio, siendo una posible limitante para la producción del cultivo (Tabla 21). Según Sánchez y Mira (2013), afirman que más del  $95\%$  del azufre en esta región está asociado a la materia orgánica y el restante

Propuesta de manejo nutricional para el cultivo del plátano: caso de estudio en la región de Urabá

(5%), se encuentra en la solución del suelo y se mueve en el flujo de agua, por lo tanto puede lixiviarse fácilmente.

Tabla 21. Descripción de la fertilidad de los suelos de los predios experimental y control, Ubicados en el municipio de Turbo, Colombia

Propiedad <sup>(1)</sup>	PE <sup>(2)</sup>	PC <sup>(4)</sup>	NS <sup>(5)</sup>	Unidad	Nivel						
					Bajo		Medio		Alto		
					PE	PC	PE	PC	PE	PC	
pH <sup>(6)</sup>	5.6	6.1	6		X						X
MO <sup>(7)</sup>	2.5	2.1	4	%			X	X			
Ca <sup>(8)</sup>	8.9	12.3	21.6	cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup>	X		X				
Mg <sup>(8)</sup>	6.8	7.6	6.6						X	X	
K <sup>(8)</sup>	0.61	0.29	1.34				X	X			
Na <sup>(8)</sup>	0.06	0,04	0.08		X	X					
CICE <sup>(9)</sup>	16.4	20.2	29.7				X	X			
P <sup>(10)</sup>	10	11	52.3		X	X					
S <sup>(11)</sup>	ND <sup>(3)</sup>	2	3		X			X			
Fe <sup>(12)</sup>	98	26	33.3	mg kg <sup>-1</sup>				X	X		
Mn <sup>(12)</sup>	3	2	1.33						X	X	
Cu <sup>(12)</sup>	4	3	3.33					X	X		
Zn <sup>(12)</sup>	3	1	1.66					X	X		
B <sup>(13)</sup>	0.44	0.36	2.4		X	X					

<sup>(1)</sup> Propiedad química; <sup>(2)</sup> Predio experimental; <sup>(3)</sup> No detectable; <sup>(4)</sup> Predio control; <sup>(5)</sup> Niveles de suficiencia; <sup>(6)</sup> Determinado en Agua (1:1); <sup>(7)</sup> Walkley Black; <sup>(8)</sup> Acetato de amonio 1M; <sup>(9)</sup> Suma de cationes de cambio; <sup>(10)</sup> Bray II; <sup>(11)</sup> Fosfato monocálcico 0.008M; <sup>(12)</sup> Olsen – EDTA; <sup>(13)</sup> Agua caliente.

#### **4.4.2 Descripción del estado nutricional foliar en el PE**

Primer trimestre (*entre enero y marzo*): aunque los elementos que más se suministran de manera periódica y no apropiada al cultivo del plátano en la región son Nitrógeno, Potasio y Calcio, a través de fuentes como la Urea, el Cloruro de Potasio y las enmiendas (Moreno, 2009), el diagnóstico nutricional foliar mostró que el orden de menor a mayor limitación por elemento respecto al Índice de Balance Nutricional Medio (IBNm) fueron: Potasio, Boro, Calcio, Nitrógeno y Fósforo, indicando deficiencia entre estos. Los elementos que se presentaron por suficiencia o exceso fueron Azufre, Manganeso y Hierro y, los elementos que se ubicaron en el rango de adecuado fueron Magnesio, Cobre y Zinc, (Tabla 22) ya que entre más cercano a cero estén estos nutrientes mayor será su equilibrio en la planta (Herrera y Camacho 2015). Por ende las aplicaciones de fertilización foliar que se realizaron en este periodo fue basado en los elementos que implicaron limitaciones por deficiencia nutricional (K, B, Ca, N y P), propuestos en la Tabla 22, período para el cual el predio PE presentaba un peso promedio de racimo de  $10.6 \pm 2.2$  kg.

Para el *segundo trimestre (abril a junio)*, el diagnóstico nutricional presentó que el orden de menor a mayor limitación por elemento y que se encuentran fuertemente desbalanceados por deficiencia fueron: Manganeso, Cobre, Calcio y Azufre. Los elementos que se presentaron por suficiencia o exceso fue el Potasio y, los elementos que se presentaron en el rango de adecuado fueron el Boro, Nitrógeno, Zinc, Hierro, Magnesio y Fosforo. Por lo tanto la aplicación de fertilización en este periodo estuvo enfocada en elementos como Mn, Cu, Ca, S y N. De acuerdo a lo anterior los nutrientes que indicaron inicialmente suficiencia o exceso se presentaron como fuertemente deficientes (Mn y S), para el caso del Ca aunque se presentó



fuertemente deficiente en el período inicial (IBCa: -20) se logró nivelarlo (IBCa: -7) (Tabla 22). Por ende se puede indicar que las aplicaciones de fertilización lograron un mejor balance nutricional en el cultivo, con un incremento en el peso promedio de racimo de  $14.3 \pm 1.5$  kg.

Para el *Tercer trimestre (julio a septiembre)*, los elementos que se presentaron como limitantes para la producción del cultivo por deficiencia fue: el fósforo. Por suficiencia o exceso fueron: el Hierro, el Potasio y el Cobre. Al respecto Sánchez y Mira (2009), indican que en la región de Urabá en los periodos de fuertes precipitaciones (Tabla 18) aumentan la biodisponibilidad del Fe, Mn principalmente y Cu en algunos, de los sistemas productivos de zonas específicas en el sector del centro y norte de la región, influyendo sobre el movimiento de estos nutrientes en la planta. Aquellos elementos que presentaron mayor balance nutricional fueron: Magnesio, Nitrógeno, Zinc, Azufre, Manganeso, Boro y Calcio, registrándose un peso promedio de racimo de  $14.6 \pm 1.1$  kg. En el caso del *cuarto trimestre (entre octubre y diciembre)*: como elementos limitantes para la producción por deficiencia fueron el Hierro y el Zinc. Por suficiencia o exceso fueron Potasio, Azufre y Manganeso y, los elementos que se presentaron balanceados fueron Nitrógeno, Fósforo, Calcio, Magnesio, Cobre, Zinc y Boro, con una producción media estimada de  $15.4 \pm 1.7$  kg racimo<sup>-1</sup> (Tabla 22). En investigaciones realizados por Rodríguez *et al.*, (1998a, 1998b) en Maracaibo Venezuela mediante la relación del balance nutricional y características biométricas del plátano Hartón logró generar rendimientos entre 17 y 18 kg racimo<sup>-1</sup> para el segundo y tercer ciclo productivo.

Tabla 22. Diagnostico foliar mediante los índices de balance nutricional DRIS en función de la nutrición mineral, para el predio experimental, municipio de Turbo, Colombia.

Meses	Propiedad química foliar (IB-DRIS <sup>(1)</sup> )											IBNm <sup>(2)</sup>	PR <sup>(3)</sup> (kg)
	N	P	S	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Cu	Zn	B		
<sup>(4)</sup> Ene - Mar	-10.6	-9.88	8.5	-20	1.39	-46.13	27.34	9.25	-0.1	-5.02	-23.52	-6.25	10.6±2.2
<sup>(5)</sup> Abr - Jun	-1.39	1.61	-4.47	-7	1.46	10.37	0.81	-35.93	-10.21	0.57	-2.53	-4.25	14.3±1.5
<sup>(6)</sup> Jul - Sep	0.27	-2.63	0.4	2.3	0.1	5.72	15.67	1.4	3.11	0.38	1.8	2.53	14.6±1.1
<sup>(7)</sup> Oct - Dic	-0.25	0.21	7.1	1.02	1.2	15	-12	3.7	1.3	1.4	-0.26	1.67	15.4±1.7 <sup>(8)</sup>

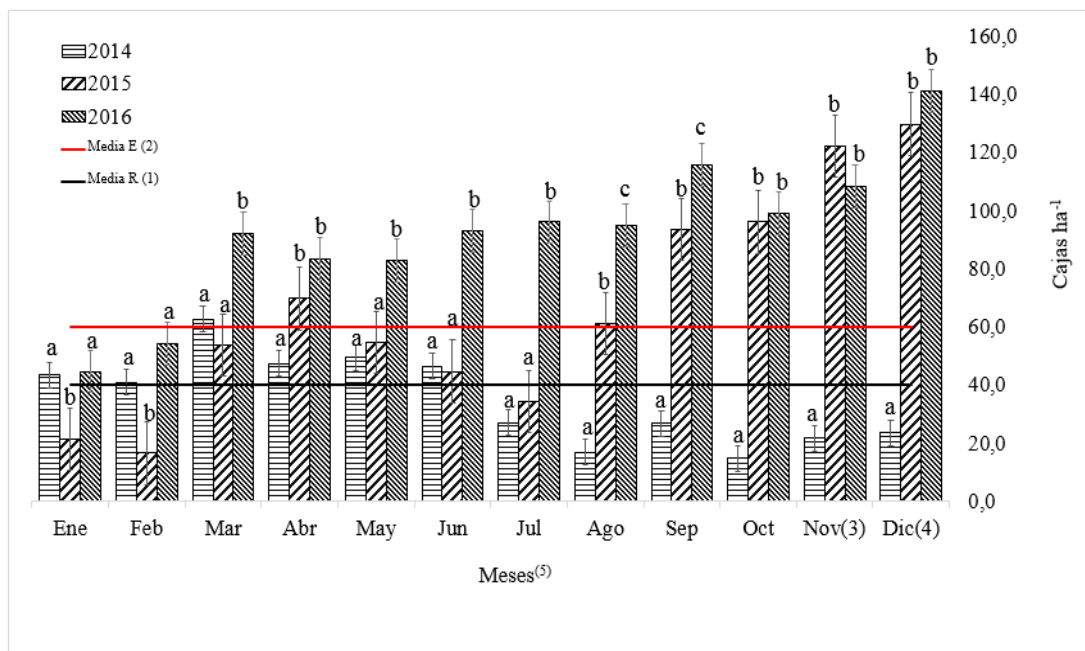
<sup>(1)</sup>Índices de balance nutricional DRIS. <sup>(2)</sup>Índice de balance nutricional medio. <sup>(3)</sup>Peso del Racimo. <sup>(4)</sup>Periodo de enero, febrero y marzo. <sup>(5)</sup>Periodo de abril, mayo y junio. <sup>(6)</sup>Periodo de julio, agosto y septiembre. <sup>(7)</sup>Periodo de octubre, noviembre y diciembre, <sup>(8)</sup> Producción estimada a través del embolse y marcado de inflorescencias (Uniban, 2016).

#### 4.4.3 Respuesta del cultivo a la fertilización

Los resultados muestran que el PE en el periodo del año 2014 presentó una producción baja donde los meses entre enero y junio estuvo por encima de la media regional (40 cajas ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup>) e inferior a la media efectiva (60 ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup>) (Cárdenas y Meneses 2016) y el resto del año presentó un comportamiento entre 14 y 20 cajas ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup>. Para el periodo del 2015 los dos primeros meses de ese año presentaron un nivel bajo de producción entre 16,58 y 21,58 cajas ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup>, luego en el mes de abril supera la media efectiva (60 cajas ha<sup>-1</sup>) y vuelve a descender junio y julio alcanzando a estar de nuevo por debajo de la media regional (Figura 9). Según Espinal (2001); Espinal *et al.*, (2005), Ruiz y Ureña (2009) este comportamiento se debe a que para este periodo del año normalmente la fruta cosechada se presenta con bajos

niveles de calidad (delgada y pequeña) y a que las plantas cosechadas vienen de un estrés hídrico provocado por la época seca. Por otra parte Hernández *et al.* (2007), indica que estas condiciones climáticas pueden afectar de manera general la fotosíntesis por la ausencia de agua, lo cual se ve reflejado en el peso del órgano de interés comercial (fruto) y en la calidad del mismo.

Según Urban y Valdiviezo (2014), en las épocas de verano son muy pocos los predios que realizan aplicaciones de fertilización foliar y edáficas, puesto que estas prácticas solo las implementan los predios con sistemas de riego. En el período 2016 con el inicio de las aplicaciones foliares y edáficas (Drench) se presentó diferencias significativas en la producción ( $\alpha=0.05$ ) respecto a los dos años anteriores entre marzo y septiembre, presentando un comportamiento productivo más constante durante el año (82,89 y 141,05 cajas  $ha^{-1} mes^{-1}$ ) (Figura 9), superando ampliamente la media regional y efectiva reportada por Cárdenas y Meneses (2016), indicando alta respuesta en el rendimiento del cultivo de plátano en función de la nutrición mineral.

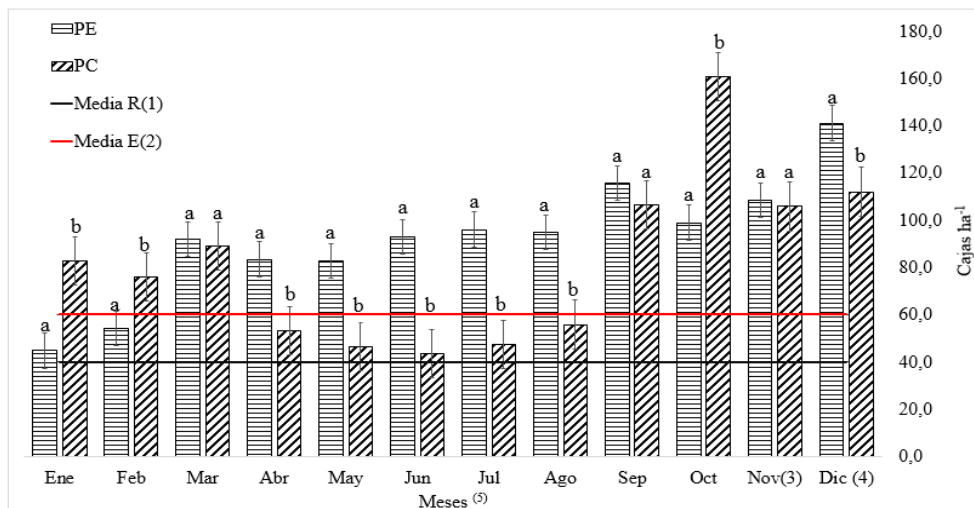


(1) Media regional; (2) Media efectiva; (3) y (4) Producción estimada a través del embolse y encinte de inflorescencias; (5) Comparación pareada de Tukey ( $p=0.05$ ) por mes, letras iguales no diferencias significativas en la producción promedio entre los meses de los tres años, letras diferentes, diferencias en la producción promedio entre meses.

Figura 9. Rendimiento mensual en cajas ha<sup>-1</sup> del predio experimental años 2014 a 2016.

En cuanto a la producción del PE con respecto de PC, los dos primeros meses (enero y febrero) el PE presentó significativamente menor producción ( $\alpha=0.05$ ) (44,74 y 54,21 cajas ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup> respectivamente) respecto al PC (82,8 y 76 cajas ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup> respectivamente). Sin embargo a partir del mes de marzo se logró nivelar la producción del PE respecto al PC superando la media efectiva reportada por Cárdenas y Meneses (2016). Por otra parte el PE presento un comportamiento productivo más constante en el año (entre 83,42 y 141,05 cajas ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup>) respecto al PC, el cual presentó un descenso entre los meses de abril y agosto, validando lo descrito anteriormente por Hernández *et al.* (2007) (Figura 10). Lo anterior

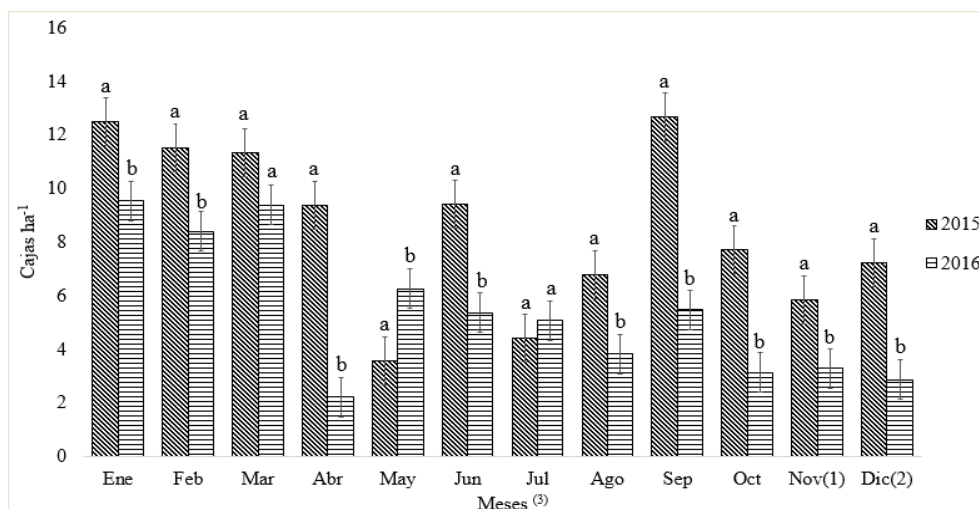
indica que hay una alta respuesta del cultivo del plátano a la fertilización foliar y edáfica, de acuerdo al diagnóstico DRIS e indicadores de calidad química del suelo.



(1) Media regional; (2) Media efectiva; (3) y (4) Producción estimada a través del embolse y encinte de inflorescencias; (5) Comparación pareada de Tukey ( $p=0.05$ ) por mes, letras iguales no diferencias significativas en la producción promedia entre los meses de los tres años, letras diferentes, diferencias en la producción promedia entre meses.

Figura 10. Producción de fruta tipo premium, en cajas  $ha^{-1} mes^{-1}$ , registrada en el año 2016 en los predios experimental y control, municipio de Turbo, Colombia

Por otra parte la producción mensual de rechazo (cajas  $ha^{-1} mes^{-1}$ ), o comercializada en el mercado nacional del año 2016 bajo el manejo experimental, respecto al año 2015 bajo el tradicional, presentaron diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ) en la cantidad de fruta rechazada en los periodos finales del año llegando hasta 13 cajas  $ha^{-1}$  en el mes de septiembre respecto al año 2016 (Figura 11) donde se observó menos cantidad de esta variable, lo cual demuestra que el manejo experimental permitió mejorar la calidad de la fruta, permitiéndole ser aceptada en mercados especializados.

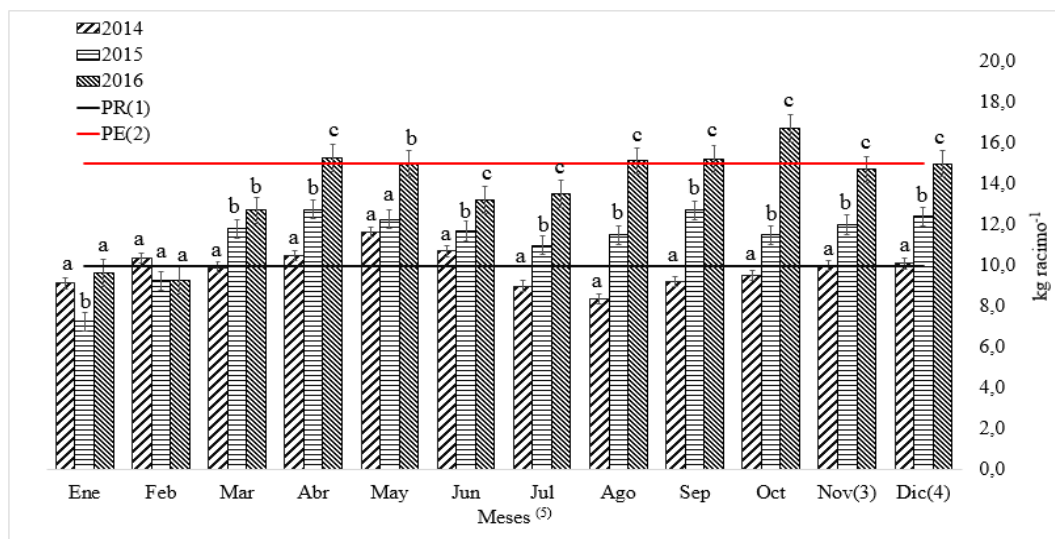


(1) y (2) Producción estimada a través del embolse y encinte de inflorescencias; (3) Comparación pareada de Tukey ( $p=0.05$ ) por mes, letras iguales no diferencias significativas en la producción promedio entre los meses de los tres años, letras diferentes, diferencias en la producción promedio entre meses.

Figura 11. Comparativo de la producción de fruta de rechazo en cajas ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup> para los años 2014 a 2015 (manejo tradicional) y 2016 (manejo experimental)

**4.4.3.1 Peso del racimo:** se presentaron efectos significativos ( $\alpha=0.05$ ) entre el mes de abril y diciembre del 2016 (entre 12,7 y 16,75 kg racimo<sup>-1</sup>) respecto a los dos años anteriores (2014 y 2015) (entre 9,13 y 11,63; 7,25 y 12,7 kg racimo<sup>-1</sup> respectivamente) (Figura 12). Estos resultados son similares a los reportados, Rodríguez y Rodríguez (1997. 1999), sobre el diagnóstico nutricional del plátano mediante el DRIS, quienes establecieron un rendimiento máximo de más de 15 kg racimo<sup>-1</sup> en plantas de plátano Dominicó. Por su parte Barrera *et al.* 2011, mediante la implementación de fuentes orgánicas en el cultivo del plátano Hartón encontraron rendimientos entre 11 y 13,5 kg racimo<sup>-1</sup>. Caso contrario reporta Combatt *et al.* (2004), quienes aplicando 300 kg de N y dosis mayores de 400 kg de K, lograron 25,63 y 25,44 kg de racimo, de forma respectiva y a su vez, Hernández *et al.* (2007), encontraron

para la variable peso del racimo, valores de 17,74 kg y 13,05 kg racimo<sup>-1</sup> en la zona Sur del Lago de Maracaibo (Venezuela). En este sentido los periodos donde se registró mayor peso de racimo corresponden a los meses de abril, mayo, agosto, septiembre y octubre, superando la media efectiva.

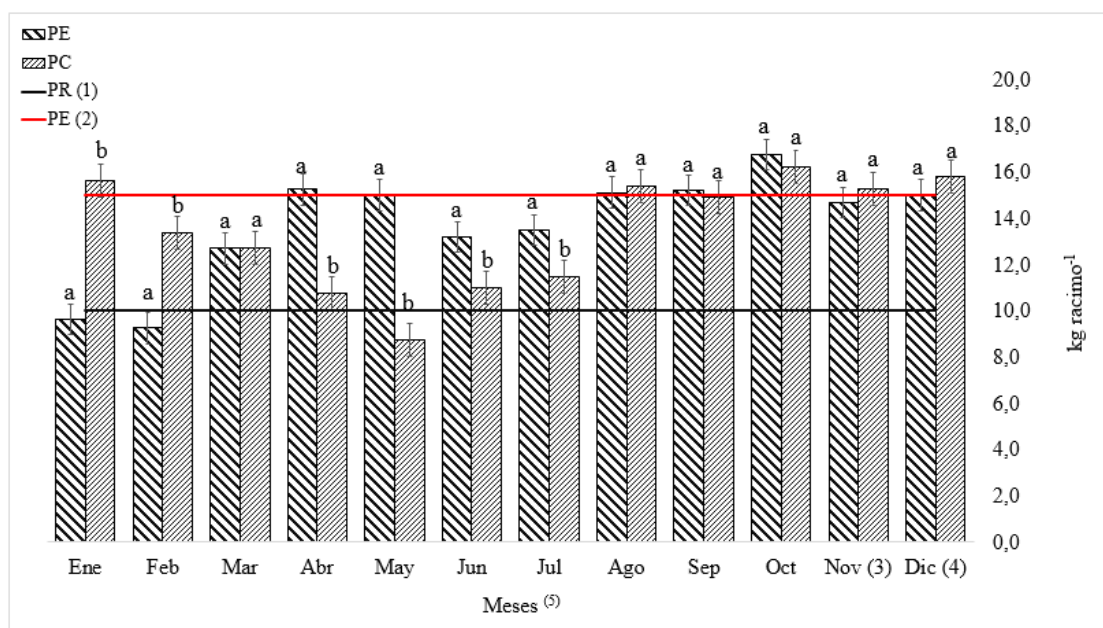


<sup>(1)</sup> Peso del racimo regional; <sup>(2)</sup> Peso del racimo efectivo; <sup>(3)</sup> y <sup>(4)</sup> Producción estimada a través del embolse y encinte de inflorescencias; <sup>(5)</sup> Comparación pareada de Tukey (p=0.05) por mes, letras iguales no diferencias significativas en la producción promedio entre los meses de los tres años, letras diferentes, diferencias en la producción promedio entre meses.

Figura 12. Peso mensual promedio de racimos para los años 2014 a 2015 (manejo tradicional) y 2016 (manejo experimental).

Para el caso de la evaluación del peso total de los racimos en el PE vs PC, los dos primeros meses el PC presentó diferencias significativas respecto al PE. Por otra parte la respuesta del PE mediante la aplicación y manejo de la fertilización (Tabla 19 y 20) inició a partir del mes de marzo, donde ambos predios presentaron una producción de 12,7 kg racimo<sup>-1</sup> a pesar de que se registraron bajos niveles de precipitación (Tabla 18), sin embargo entre el mes de abril

y julio el PE presentó diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) respecto al PC (15,2 y 13,5 kg racimo<sup>-1</sup> respectivamente) (Figura 13). Lo que indica que el manejo de fertilización mejoró la productividad en esta época como no era de esperarse según la descripción de Hernández *et al.* (2007) y Ruiz y Ureña (2009) quienes mencionan que normalmente para estas épocas del año la fruta producida en los sistemas plataneros son de baja calidad y bajo peso del racimo.



(<sup>1</sup>) Peso del racimo regional; (<sup>2</sup>) Peso del racimo efectivo; (<sup>3</sup>) y (<sup>4</sup>) Producción estimada a través del embolsado y encinte de inflorescencias; (<sup>5</sup>) Comparación pareada de Tukey ( $p=0.05$ ) por mes, letras iguales no diferencias significativas en la producción promedio entre los meses de los tres años, letras diferentes, diferencias en la producción promedio entre meses.

Figura 13. Peso mensual promedio de racimos, registrado en el año 2016 en los predios experimental y control, municipio de Turbo, Colombia



## **Análisis económico**

En la región de Urabá las estructuras de costos de producción pueden variar de una zona a otra debido a factores agro-climáticos, de infraestructura y tecnológicos (Espinal *et al.*, 2015). Mediante la implementación de la fertilización de acuerdo a la metodología DRIS foliar y puntos críticos de suficiencia edáficos, para el año 2016 donde se aplicó el estudio, los costos totales aumentaron respecto al año 2015 (11%). Discriminado por rubros la mano de obra representó un 9%, materiales e insumos un 10%, costos fijos un 49% (Tabla 23), valores muy similares a los descritos por Perfetti *et al.* 2012), quienes mediante la aplicación de una encuesta socioeconómica determinaron que el costo total por ha por año de una finca tecnificada en producción se encuentran entre los 14 y 16 millones de pesos aproximadamente. Sin embargo, el manejo experimental permitió obtener una mayor producción en total de cajas tipo premium (1026 cajas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), lo cual representa un aumento del 30% de la producción respecto al manejo tradicional con 790 cajas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; también permitió reducir la cantidad de cajas tipo rechazo para el año de estudio con 65 cajas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> respecto al manejo tradicional con 102 cajas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, lo cual representa una disminución de -37% para esta variable permitiendo mejorar la calidad y cantidad de fruta tipo exportación producida (Figura 3). Por su parte Asohofrucol (2005), realizando investigaciones en costos de producción para el cultivo del plátano Hartón y Dominico Hartón, describe que la fertilización por hectárea en el transcurso del tercer ciclo de producción en adelante los costos se encuentran alrededor del 52%, por lo tanto los fertilizantes representan, un factor crítico de la producción, la cual se vería drásticamente afectada si estos no se utilizan en la época y cantidad recomendada y, teniendo en cuenta el empleo racional de los mismos significa obtener altas producciones de excelente calidad, que

se comercializan con buenos precios en mercados especializados (Belalcázar 1992). En este sentido el rubro de insumos presenta el mayor costo para el primer ciclo productivo con 46,35 %, seguido por la mano de obra con 26,74 % y los costos fijos con 23,26% y para el segundo ciclo los insumos, los costos fijos y mano de obra con un 50,83 %, 23,53 %, 21,99 % respectivamente.

Tabla 23. Distribución de costos por ha año-1 (ME vs MT)

Costos	Valor ha año <sup>-1</sup>		ME <sup>(1)</sup> vs MT <sup>(2)</sup>
	MT (2015)	ME (2016)	
Mano de obra	\$ 3.670.268,95	\$ 3.987.089,47	9%
Materiales	\$ 8.750.273,85	\$ 9.642.167,25	10%
Fijos	\$ 269.785,31	\$ 401.364,25	49%
<b>Total</b>	<b>\$ 12.690.328,10</b>	<b>\$ 14.030.620,98</b>	<b>11%</b>

<sup>(1)</sup>Manejo experimental; <sup>(2)</sup>Manejo tradicional

Por otra parte aunque en el año 2016 mediante el manejo experimental se generaron aumentos en los costos de producción el análisis comparativo de este año respecto al 2015 con manejo tradicional, se observó que la distribución del costo unitario por caja elaborada tipo premium, los mayores costos en ambos años corresponde a los materiales, seguido de la mano de obra y por último a los costos fijos. Para el año 2015 el costo de producir una caja tipo Premium, caja bajo el manejo tradicional, fue de \$15.529, el cual se distribuye en materiales e insumos con \$10,708, mano de obra con \$4,491 y fijos con \$330, en una proporción de 69, 29 y 2 % de los costos respectivamente (Figura 14). Mientras que en el año 2016 con el manejo experimental el costo unitario por caja fue de \$13.448, distribuido en materiales e insumos con \$ 9,242, mano de obra con \$ 3,824 y fijos con \$385, en una proporción de 69, 28 y 3 % de los costos respectivamente. El aumento en los costos fijos (%) se refleja por los análisis de suelos y foliares para el diagnóstico nutricional del cultivo ya que por lo general el

agricultor tradicional, no recurre al empleo de estos análisis considerados en este análisis. Según Olmos (2015), los costos del análisis de suelo y foliares en el cultivo del plátano en Colombia, equivalen a 9% del total de los costos de producción.

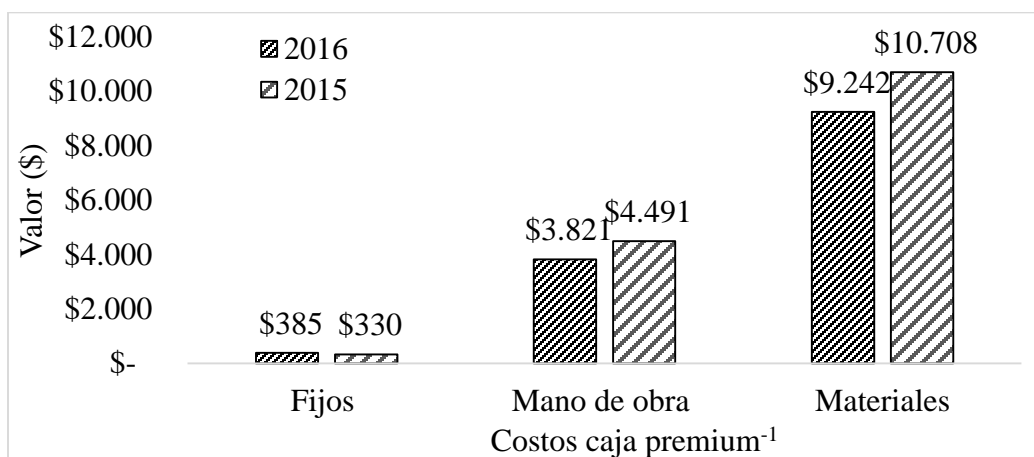


Figura 14. Costo unitario por caja elaborada de acuerdo al manejo experimental (2016) y tradicional (2015)

En Urabá, el plátano de exportación presenta dificultades derivadas de las condiciones socioeconómicas de los productores y la baja implementación de nuevas tecnologías para reducir la incidencia de enfermedades como la Sigatoka Negra y fertilización, que afectan los rendimientos e incrementan los costos de producción (Espinal *et al*, 2015 y Araya, 2008). Otro factor que afecta al sector platanero es la variación de dólar y su influencia en la definición y/o estandarización de los precios por unidad de caja producida, por lo tanto el margen de venta de esta unidad suele estar entre el 25 y 30 % (CPP, 2010) y a nivel general el sector agrícola en Colombia el margen bruto se presenta entre el 38 y 40% (Trujillo y Sánchez, 2013). Teniendo en cuenta los tipos de producción (cajas tipo premium y tipo rechazo), en este trabajo se encontró que el margen bruto para la caja tipo premium de acuerdo al manejo experimental fue de 48,4 % respecto al tradicional con un 40,4%,

superando el margen descrito por Trujillo y Sánchez (2013) y, en el caso de la caja tipo rechazo para el manejo experimental presentó un 1,1% respecto a -14,2% en el manejo tradicional (Figura 15), lo cual indica que esta variable genera pérdidas económicas debido a la alta cantidad de fruta rechazada, que puede ser producida como fruta de primera, sin embargo se considera como fuente de ingreso en los sistemas productivos. Lo anterior muestra que a pesar del aumento de componentes que influyen en los costos de producción, el cultivo genera mayor ingreso y rentabilidad mediante la implementación del método de fertilización experimental.

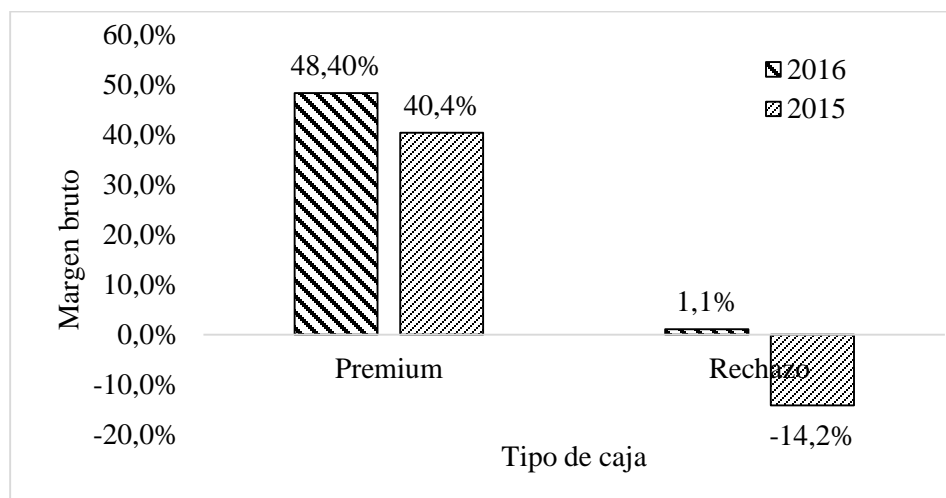


Figura 15. Margen de venta de cajas tipo premium y rechazo (ME-2016 vs MT-2015)

Por otra parte se evaluó el flujo de ingresos activos mediante el manejo tradicional (2015) respecto al experimental (2016), donde se pudo observar que al inicio de la ejecución de los programas de fertilización teniendo en cuenta los equipos y herramientas necesarias para dicho propósito, se presenta una inversión inicial, con un mayor impacto en el año 2015 mediante bajo el manejo tradicional (-\$530.031), debido a la baja producción en este periodo (Figura 9), mientras que en el manejo experimental (2016) el gasto inicial fue mucho menor

(-\$187.292) (Figura 16). Investigaciones realizadas por Corpocauca (2006) en el valle del cauca presenta que los ingresos netos mensuales en los sistemas productivos de plátano fluctúan entre \$ 681.708 y \$ 1.022.563 ha<sup>-1</sup> a partir del quinto ciclo. En el caso de la región de Urabá aunque no se encontraron cifras exactas del flujo neto o ingresos en el sector platanero, Espinal *et al.* (2005) y León *et al.* (2015), presentan este cultivo como una buena alternativa y fuente de ingreso y generación de empleo para el sector campesino permitiendo satisfacer sus necesidades. En este sentido en el transcurso del año 2016 se presentó mayor flujo de ingresos alcanzando un valor de \$1.762.744 ha<sup>-1</sup> respecto al año anterior (2015) con un ingreso máximo de \$ 1.300.811 ha<sup>-1</sup> (Figura 7).

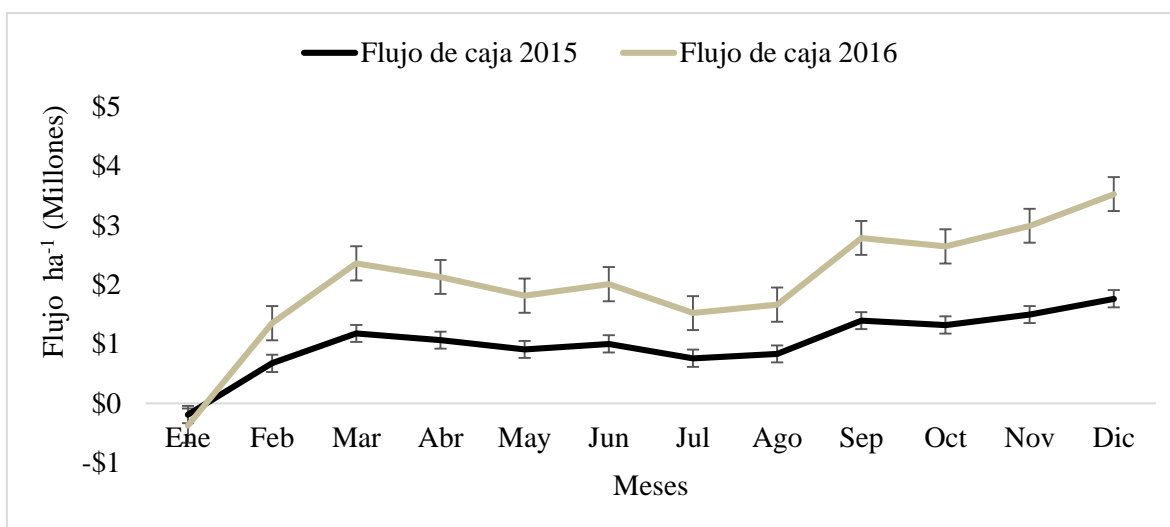


Figura 16. Flujo de caja neto mensual ME-2016 vs MT-2015

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que el cultivo del plátano es una actividad agrícola que realizada en forma racional, con el empleo de la tecnología apropiada, permite obtener una mayor rentabilidad, generando empleo directo e indirecto y permite satisfacer adecuadamente las necesidades de los productores de plátano (Espinal *et al.*, 2005).

## 4.5 Conclusiones

La fertilización foliar mediante el diagnóstico DRIS, es una alternativa económicamente viable para complementar el manejo nutricional del cultivo en épocas de verano principalmente para elementos como Ca, B, Cu y Zn.

Los elementos que inicialmente se presentaron como deficientes o desbalanceados como el N, P, K, Ca y B se lograron nivelar o balancear mediante las fertilizaciones foliares y edáficas.

Los resultados muestran que el cultivo del plátano responde, en términos de producción a las aplicaciones de fertilización foliar en épocas de verano.

La técnica de fertilización Drench presenta una buena alternativa para el manejo nutricional del cultivo del plátano en las épocas de verano, complementado con los residuos de cosecha.

La práctica permitió obtener una alta producción en términos de peso de racimo (entre 14 y 15 kg) y rendimiento en términos de cajas tipo premium (entre 83,42 y 141,05 cajas ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup>).

Los indicadores de rentabilidad como el margen de venta de las cajas tipo premium, costo unitario de producción, flujo de caja y mejoramiento de la calidad de la fruta, expresan que el cultivo del plátano genera una buena fuente de ingresos para los productores.

La práctica mediante el uso de los análisis foliares y edáficos, aunque genera costos adicionales en el cultivo, permite realizar aplicaciones con mayor precisión de acuerdo a las necesidades del cultivo y asimismo reponiendo los gastos iniciales.

## Bibliografía

1. Arboleda, C., Arcila, J y Martínez, R. Sistema Integrado de Recomendación y Diagnóstico: Una Alternativa para la Interpretación de Resultados del Análisis Foliar en Café. *Agronomía Colombiana*. V:17 – 30.
2. Araya, J. 2008. Agrocadena de plátano caracterización de la agrocadena. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección Regional Huetar Norte. Pp. 66.
3. Asohofrucol. 2005. Modelo de producción de plátano tecnificado (*Musa AAB*) con miras a un mercado de exportación en el departamento de Antioquia - Colombia. Investigación de mercados. pp 13.
4. Barrera, J., Combatt, E y Ramírez, Y. 2011. Efecto de abonos orgánicos sobre el crecimiento y producción del plátano hartón (*Musa AAB*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* - vol. 5 - no. 2 - pp. 186-194.
5. Belalcázar, S. 1992. El cultivo del plátano (*Musa AAB* Simmonds) en el trópico. Manual de asistencia técnica N° 50. INIBAP. Departamento de cafeteros del Quindío. Colombia. pp. 102.
6. Belalcázar, S. 2005. El cultivo del plátano en altas densidades de siembra una nueva concepción tecnológica de producción. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA Programa de Plátano y Banano, Armenia, Quindío, Colombia. pp. 3-4
7. Beaufils, E. 1971. Physiological diagnosis: a guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. *Fertilizer Society of South Africa Journal*, v.1, pp.1-28.
8. Beaufils, E.R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa. *Soil Science Bulletin*, V. 1, p. 132.
9. Beaufils, E.R. y M. Sumner. 1976. Application of the DRIS approach for calibrating soil, plant yield and quality factors of sugarcane. *Proc. S. Afr. Sugar Tech. Assc*, V. 50: 118-124.

10. CPP. 2010. Cadena productiva del plátano. Plan estratégico de la cadena en Colombia. Pp 36-37.
11. Castañeda, D; Cotes, J y Jaramillo, D. 2011. Evaluación de métodos estadísticos para el desarrollo de una propuesta de manejo por sitio específico para banano. Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de: Doctor en Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agrarias Medellín, Colombia. p 68.
12. Cárdenas, J y H, Meneses. 2016. Informe técnico de la producción del plátano Hartón en la región de Urabá. C.I Banacol S.A p.1.
13. Cárdenas, J y Orozco, M. 2008. Evaluación de algunas variedades de plátano promisorias para la región de Urabá. Convenio Corpoica – C.I. Banacol. Centro de Investigación Tulenapa. Carepa, Antioquia, Colombia. pp 12 -15.
14. Espinal, C. 2001. Acuerdo de competitividad de la cadena productiva del plátano en Colombia. Coleccion Documentos IICA Serie Competitividad No.18. Primera Edición. Elizabeth Meek y Hugo Aldana Navarrete. ISBN: 958-9328-29-6. Bogotá D.C. 76 p. En: <http://repiica.iica.int/docs/B0119e/B0119e.pdf>; consulta: Agosto 2016.
15. Espinal, C., H. Martínez y Y. Peña. 2005. La cadena del plátano en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica. Documento de Trabajo No. 61 Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agro cadenas Colombia. Bogotá D.C. En Agro cadenas: <http://www.asohofrucol.com.co/archivos/cadenas/platano.pdf>.
16. Fajardo, S y Patiño, J. 2015. Anuario estadístico del sector agropecuario en el departamento de Antioquia 2014. Gobernación de Antioquia. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Medellín. 34-35 pp.
17. García, L., J. Díaz, L. Burgos, L. Ortiz, J. González, D. Vera, R. Burgos, G. Peña, R. Siachoque y J. Romero. 2007. Estudio General de Suelos y zonificación de tierras Departamento de Antioquia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Tomo 2. Gobernación de Antioquia. Bogotá D.C. (p. 720).
18. Gojon, A; Nacry y Davidian, J. 2009. Root uptake regulation: a central process for NPS homeostasis in plants. *Current Opinion in Plant Biology*. 12 (3): p. 328-338.
19. Granados, C; Acevedo, D; Cabeza, A y Lozano. 2014. Análisis de Perfil de Textura en Plátanos Pelipita, Hartón y Topocho. *Información Tecnológica*. 25(5), pp 35-40.
20. Guerrero M. 2010. Guía técnica del cultivo del plátano programa mag-centa-frutales. Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal. El Salvador. pp 8-9.



21. Herrera, N y Sánchez J. 2016. Cochinillas harinosas de la raíz en el cultivo del plátano: principios y estrategias de manejo en la subregión de Urabá. Augura – Cenibanano. Pp 8-9.
22. Herrera, G y Camacho, J. 2015. Obtención del sistema de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) en el cultivo de Palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias Maestría en Ciencias Agrarias Bogotá, Colombia.
23. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos, Sexta Edición. Bogotá, Colombia 2006. p 647. ISBN 978-958-9067-98-7.
24. Jaramillo, D. F. 2014. El suelo: origen, propiedades, espacialidad: segunda edición Universidad nacional de Colombia. Facultad de ciencias. Escuela de Geo ciencias. Medellín. Pp. 261 – 381.
25. León, L., Mejía, L y Montes, L. 2015. Caracterización socioeconómica y tecnológica de la producción del plátano en el bajo occidente del departamento de Caldas. DOI: 10.17151/luaz.2015.41.11. Luna Azul ISSN 1909-2474. 41: 184-200.
26. Martin, J y Plevel, P. 1974. Les methods d'échantillonnage pour l'analyse foliaire du bananier: Resultats d'une enquete international et propositions en vue d'une reference commune. Fruits 29: 583-588.
27. Martínez, I y Guzmán M. 2011. Guía básica para la preparación de mezclas, uso de fungicidas y calibración de motobombas utilizadas en el combate de la Sigatoka negra. Proyecto demostrativo con implementación de bpa en el cultivo del banano. Hoja divulgativa No 3. Pp. 2-3.
28. Moreno, J., Blanco, C y Mendoza R. 2009a. Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de banano en la región del Magdalena. Augura. ISBN 978-958-99167-2-8. Pp. 6-7.
29. Moreno, J., Candanoza, J y Olarte F. 2009b. Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de plátano de exportación en la región de Urabá. Augura. ISBN 978-958-99167-1-1. Pp. 8.
30. Mourão, F. 2004. DRIS: Concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), V. 61 (5): 550 – 560.
31. Múnera, G. 2012. Manual general análisis de suelos y tejido vegetal. Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Tecnología Química. Pereira Colombia. pp. 19.
32. Osorio, N. 2014. Manejo de Nutrientes en Suelos del Trópico. Colombia: Editorial L. Vieco S.A.S. 416 pp.

33. Olmos, A. 2015. Cadena productiva del cultivo del plátano en el departamento del Casanare. Secretaria de Agricultura Ganadería y Medio Ambiente. Pp 14-15.
34. Perfetti, J., Escobar, D., Castro, F., Cuervo, B., Rodríguez, M., Vargas, J. 2012. Costos de Producción de Doce Productos Agropecuarios. Centro de Investigación Económico Social. Pp 32-34
35. Robinson, J y Galán, V. Bananas and Plantains. 2da Edition. Crop Production Science in Horticulture Series 19. ISBN-13: 978 1 84593 658 7. Pp. 161 -162.
36. Rodríguez V. y O. Rodríguez. 1997. Normas foliares DRIS para el diagnóstico nutricional del plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón). Rev. Fac. Agron. LUZ. 14:285-296.
37. Rodríguez, V. y O. Rodríguez. 1998b. Biometría de la cepa de plátano Hartón (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón) con rendimientos superiores a 18 kilogramos/racimo, en Venezuela. Rev. Fac. Agron. LUZ. 15:439-445.
38. Rodríguez, V., D. Bautista, O. Rodríguez y L. Díaz. 1999a. Relación entre el balance nutricional y la biometría del plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón) y su efecto sobre el rendimiento. Rev. Fac. Agron. (LUZ). V. 16: 425-432.
39. Rodríguez, V., D. Bautista y O. Rodríguez. 1998a. Características biométricas de una subpoblación de plátano Hartón (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón) con rendimientos promedios de 17,4 kg/racimo en Venezuela. Resúmenes XLIV Reunión Anual de la Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical. Barquisimeto. Venezuela. p. 75.
40. Rodríguez. O y V. Rodríguez. 2000. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. Rev. Fac. Agron. (LUZ). V. 17: 449-470.
41. Ruiz, M. y M. Ureña. 2009. Situación actual y perspectivas del mercado del plátano. En: Programa MIDAS, (16 p), [http://www.ard.org.co/midas/spanish/departamentos/agricultores-y-cadenas-de-valor/pdf/Mercado\\_Situacion\\_Actual\\_y\\_Perspectivas\\_PLATANO.pdf](http://www.ard.org.co/midas/spanish/departamentos/agricultores-y-cadenas-de-valor/pdf/Mercado_Situacion_Actual_y_Perspectivas_PLATANO.pdf), consultado Abril 2015.
42. Sánchez, J y Mira, J. 2013. Principios para la nutrición del cultivo de banano. Augura – Cenibanao. ISBN: 978-958-99167-8-0. Medellín – Colombia. 137 p.
43. Sumner, M. E. 1997a. Preliminary NPK foliar diagnostic norms for wheat. Común. Soil Sci. Plant Anal. V. 8: 149-167.
44. Sumner, M. E. 1997b. Application of Beauflis' diagnostic indices to maize data published in the literature irrespective of age and conditions. Plant and Soil. 46: 359-369.

45. Trujillo, L y Sánchez, J. 2013. Factibilidad económica - comercializadora de plátano semiprocado INNOVAPLAT S.A.S. Proyecto de grado para optar al título de ingeniero industrial. Universidad tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Industrial. Pereira. Pp. 98.
46. Uniban. 2016. Guía Técnica Producción plátano. Unión de Bananeros de Urabá. Pp. 6 – 18
47. Urban, N y Valdiviezo, E. 2014. Aplicación de soluciones nutritivas inyectadas y en Drench más la adición de leonardita en el cultivo de banano (*Musa AAA*) variedad Williams. Previa a la obtención del título de ingeniero agrónomo. Universidad de Guayaquil facultad de ciencias agrarias. Ecuador. Pp. 65 -66
48. Zapata, R. 2014. Los procesos químicos del suelo: Primera edición. Universidad nacional de Colombia. Facultad de ciencias. Escuela de Geo ciencias. Medellín. Pp. 584 – 590.