

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Postgrados

**Usando SIG para modelar la respuesta de la productividad del
cultivo de banano a las características químicas de suelos,
Colombia**

Yenny Natacha Madrid Serna

Richard Resl, Ph.Dc., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Magíster en
Sistemas de Información Geográficas.

Quito, Febrero de 2013.

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Postgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Usando SIG para modelar la respuesta de la productividad del cultivo de banano a las características químicas de suelos, Colombia

Yenny Natacha Madrid Serna

Richard Resl, Ph Dc.

Director de Tesis

Pablo Cabrera. MSc

Miembro del Comité de Tesis

Richard Resl, Ph.Dc.

Director de la Maestría en Sistemas de Información Geográfica

Stella de la Torre, Ph.D.,

Decana del Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

Victor Viteri Breedy, Ph.D.,

Decano del Colegio de Postgrados

Quito, Febrero de 2013

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art.144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: YENNY NATACHA MADRID SERNA

C. I.: 43745911

Fecha: Quito, Febrero de 2013

Dedicatoria

*Entrego este logro a todas aquellas personas que han tenido y tienen que ver con mi formación
moral, espiritual e intelectual y de manera muy especial a*

M. F. F. M. L. J. F.

Agradecimientos

Para iniciar a Dios, quien nos permite alcanzar cada logro.

A mi familia por su apoyo constante, su paciencia y confianza.

A C.I UNIBAN en especial a la Gerencia de Agroindustria y de Talento Humano por hacer posible esta formación académica, brindando siempre los elementos para nuestro buen desempeño.

Al personal de la Finca El Paso quienes suministraron la información necesaria.

A mis compañeros de estudio y labor que con sus recomendaciones y aportes hicieron posible la conclusión de este trabajo.

Resumen

Al inicio de la investigación se parte de la premisa que la respuesta productiva del cultivo de banano está determinada por las variaciones de elementos nutritivos contenidos por el suelo y por las prácticas de fertilización que buscan suplir los contenidos deficitarios de los mismos de acuerdo a los estándares (niveles críticos) utilizados en la zona de Urabá.

Se realizó un análisis de la Finca el Paso en la zona de Urabá. Las variables analizadas fueron: Contenido de nutrientes: pH, Aluminio, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro, Boro, Manganeso, Zinc, resultados obtenidos a través de análisis de laboratorio de los años 2008 y 2011 y para el nivel productivo de la finca en función del peso de racimo obtenido ara los años 2008,2009, 2010 y 2011.

Se desarrolló la espacialización de cada variable así como la combinación de las mismas con el fin de evaluar la respuesta productiva del cultivo de banano a las variaciones de elementos nutritivos.

En el análisis estadístico ffueron determinadas correlaciones positivas entre el Fósforo (P), el pH, el Calcio (Ca), el Magnesio (Mg), el Azufre (S), el Hierro (Fe) el Manganeso (Mn), el Cobre (Cu) y el Zinc (Zn). Los efectos derivados de estas propiedades no pueden valorizarse independientemente debido a las múltiples interacciones que se dan entre ellas.

Abstract

The investigation parts from the premise that the growth rate of banana cultivation is determined by variations of nutrients in soil and fertilization practices that seek to overcome the deficits in content according to standards (critical levels) applied in the area of Urabá.

An analysis of the farm "El Paso" in the area of Urabá, allowed for the analysis of variables such as nutrient content pH, aluminum, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, boron, manganese, zinc, which were obtained through laboratory analysis of the years 2008 and 2011 and furthermore a close look at the production level on behalf of the indicator obtained from the yearly weight total of the plant stock during the period from 2008 to 2011 on the farm.

A spatial database was built to determine the influence of each variable and their combinations on the response of banana production to variations of nutrients.

Statistical analysis showed positive correlations between phosphorus (P), pH, calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (s), iron (Fe) Manganese (Mn), copper (Cu) and zinc (Zn). The effects of these properties can not be derived individually because of the multiple interactions that occur between them.

Tabla de contenido

	Pág.
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS.....	6
RESUMEN	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE FIGURAS	12
1. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. <i>Antecedentes.....</i>	<i>15</i>
1.2. <i>Planteamiento del problema</i>	<i>16</i>
1.3. <i>Objetivo de la Tesis</i>	<i>18</i>
1.4. <i>Alcance y limitación</i>	<i>18</i>
1.5. <i>Contenidos de capítulos.....</i>	<i>19</i>
1.6. <i>Hipótesis.....</i>	<i>20</i>
1.7. <i>Objetivos.....</i>	<i>21</i>
2 REVISIÓN DE LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	22
2.1 <i>Sobre el cultivo</i>	<i>22</i>
2.2 <i>Sobre los elementos en el suelo y el establecimiento de los niveles críticos</i>	<i>25</i>
2.3 <i>Sobre la identificación de variables químicas suelo.....</i>	<i>29</i>
2.4 <i>Sobre antecedentes de Sistemas de Información Geográfico. GIS.....</i>	<i>41</i>
3 METODOLOGÍA.....	44
3.1 <i>. Caracterización del área de estudio.....</i>	<i>44</i>
3.2 <i>. Ubicación de la finca.....</i>	<i>48</i>
3.3 <i>Análisis de los datos</i>	<i>49</i>
3.4 <i>. Conceptualización.....</i>	<i>50</i>
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
4.1. <i>Comportamiento general de las variables.....</i>	<i>55</i>
4.2. <i>Obtención del conjunto de datos.....</i>	<i>73</i>
4.3. <i>Espacialización de variables de niveles elementos químicos en suelo y peso de racimo.</i>	<i>79</i>
5 CONCLUSIONES.....	100
6 RECOMENDACIONES.....	103
7 BIBLIOGRAFÍA.....	104

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1	28
Guia para la interpretacion de análisis de suelos en el cultivo de banano. Ministerio de Agricultura y ganadería de Costa Rica (MAG) (Bertsch , 1986)	
Tabla 2.	29
Niveles críticos de suelos para el cultivo de banano Universidad Nacional de Colombia.	
Tabla 3.	32
Algunas características generales de los nutrimentos del suelo.	
Tabla 4.	36
Necesidades nutricionales (N, K, P, CA, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B en kg) en cada una de las fases de desarrollo de la planta de banano para 1900 plantas en un ciclo de 404 días.	
Tabla 5.	36
Cantidades medidas (kg/ha) de nutrimentos extraídos por la cosecha.	
Tabla 6.	40
Extracción de nutrientes por el cultivo de banano de dos sistemas con diferentes niveles de productividad	
Tabla 7	51
Niveles críticos de suelos para el cultivo de banano Universidad Nacional de Colombia	
Tabla 8.	51
Rangos de Clasificación de Peso de Racimo para el cultivo de banano, zona de Urabá.	
Tabla 9.	53
Componentes, Indicadores y variables.	
Tabla 10.	57
Rangos de Clasificación de Peso de Racimo para el cultivo de banano, zona de Urabá.	
Tabla 11.	60
Indicadores y método de extracción en laboratorio.	
Tabla 12.	63
Rangos de Clasificación por colores para los elementos en el suelo de acuerdo a los niveles críticos establecidos por la Universidad Nacional para el cultivo de banano	
Tabla 13.	76
Correlaciones entre las variables químicas.	
Tabla 14.	77
Análisis componentes principales entre las variables químicas.	
Tabla 15.	78
Cosenos cuadrados de las variables químicas.	

Tabla 16.	Tabla resultante de combinación de niveles críticos de elementos químicos en suelos y variable de productividad en función del peso de racimo.	80
Tabla 17.	Resumen comportamiento pH y Peso racimo.	81
Tabla 18.	Resumen comportamiento Aluminio y Peso racimo.	84
Tabla 19.	Resumen comportamiento Fósforo P y Peso racimo.	85
Tabla 20.	Resumen comportamiento Potasio K y Peso racimo.	87
Tabla 21.	Resumen comportamiento Calcio Ca y Peso racimo.	88
Tabla 22.	Resumen comportamiento Magnesio Mg y Peso racimo.	90
Tabla 23.	Resumen comportamiento Azufre S y Peso racimo.	91
Tabla 24.	Resumen comportamiento Hierro Fe y Peso racimo.	93
Tabla 25.	Resumen comportamiento Cobre Cu y Peso racimo.	95
Tabla 26.	Resumen comportamiento Zinc Zn y Peso racimo.	96
Tabla 27.	Resumen comportamiento Manganeso Mn y Peso racimo.	97
Tabla 28.	Resumen comportamiento Boro B y Peso racimo.	99

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación zona de Urabá, Colombia.	44
Figura 2. Comportamiento mensual de la precipitación y la temperatura zona de Urabá años 2010- 2011.	47
Figura 3. Ubicación y distribución lotes Finca el Paso.	48
Figura 4. Procedimiento general o Ruta seguida.	49
Figura 5. Modelo Conceptual.	52
Figura 6. Grafica de peso de racimo a nivel semanal en la finca El Paso para los años 2008, 2009, 2010 y 2011.	56
Figura 7. Representación espacial peso de racimo Año 2008. Época de Baja y alta producción.	58
Figura 8. Representación espacial peso de racimo Año 2009. Época de Baja y alta producción.	59
Figura 9. Representación espacial peso de racimo Año 2010. Época de Baja y alta producción.	60
Figura 10. Representación espacial peso de racimo Año 2011. Época de Baja y alta producción	61
Figura 11. Comportamiento del pH y contenidos de Aluminio (Al) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.	64
Figura 12. Contenidos de Aluminio (Al) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.	65
Figura 13. Comportamiento del Potasio (K) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.	66
Figura 14. Comportamiento del Fósforo (P) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.	67
Figura 15. Comportamiento del Magnesio (Mg) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.	68

Figura 16.	Comportamiento del Calcio (Ca) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.	69
Figura 17.	Comportamiento del Azufre (S) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.	69
Figura 18.	Comportamiento del Hierro (Fe) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.	70
Figura 19.	Comportamiento Cobre (Cu) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.	71
Figura 20.	Comportamiento Manganeso (Mn) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.	72
Figura 21.	Comportamiento del Zinc (Zn) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.	72
Figura 22.	Comportamiento del Boro (B) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.	73
Figura 23.	Relaciones simples entre peso de racimo y cada una de las variables químicas.	74
Figura 24.	Círculo de las correlaciones.	78
Figura 25.	Combinación Nivel crítico de pH y Peso de Racimo.	81
Figura 26.	Combinación Nivel crítico de Aluminio (Al) y Peso de Racimo.	83
Figura 27.	Combinación Nivel crítico de Fosforo (P) y Peso de Racimo.	85
Figura 28.	Combinación Nivel crítico de Potasio (P) y Peso de Racimo.	86
Figura 29.	Combinación Nivel crítico de Calcio (Ca) y Peso de Racimo.	88
Figura 30.	Combinación Nivel crítico de Magnesio (Mg) y Peso de Racimo.	89
Figura 31.	Combinación Nivel crítico de Azufre (S) y Peso de Racimo.	91
Figura 32.	Combinación Nivel crítico de Hierro (Fe) y Peso de Racimo.	92
Figura 33.	Combinación Nivel crítico de Cobre (Cu) y Peso de Racimo.	94

Figura 34.	Combinación Nivel crítico de Zinc (Zn) y Peso de Racimo.	96
Figura 35	Combinación Nivel crítico de Manganeso (Mn) y Peso de Racimo.	97
Figura 36.	Combinación Nivel crítico de Boro (B) y Peso de Racimo.	98

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El cultivo del banano constituye una de las principales fuentes de ingreso en la economía de más de 120 países en el trópico y el subtrópico. Además los cultivos del banano y el plátano como un conjunto, representan el cuarto cultivo más importante en el mundo, después del arroz, el trigo y el maíz, siendo considerado un producto de consumo básico y de exportación, constituyendo una importante fuente de empleo e ingresos para numerosos países en desarrollo (FAO, 2004).

Para la región de Urabá el cultivo de banano de exportación es el de mayor representación, participando en la actividad un gran número de personas, áreas y recursos, causando de esta manera diferentes impactos en el ambiente.

Fontagro en 2010, encontró que en los últimos 10 años en las plantaciones comerciales de banano en Latinoamérica y el Caribe (ALC) ha habido una reducción considerable en la productividad a pesar de que la aplicación de tecnologías avanzadas e insumos ha sido más costosa e intensiva. Esto es debido al cambio y deterioro acelerado de los factores físicos, químicos y principalmente biológicos del suelo. (Villareal, 2010).

Para el cultivo de banano las herramientas de agricultura de precisión nacen como respuesta a la necesidad de rastrear y conocer el estado del producto durante todo su proceso, desde la siembra hasta el momento de venta. En los últimos años se han empezado a perfilar herramientas desde la óptica de la agricultura de precisión, la cual en su definición básica busca optimizar recursos con instrumentos que permitan su utilización de una manera eficiente y eficaz.

Hasta hoy los avances en agricultura de precisión para el sector bananero, aún están en su etapa de investigación y desarrollo, lo cual no significa que desde las fincas y con los recursos de que se dispone no se puedan dar los primeros pasos con la implementación de algunas prácticas y modos de operar que nos acerquen hacia sus principios.

1.2. Planteamiento del problema

En el caso particular de la fertilización que se realiza al cultivo de banano para el logro de los estándares de producción, es una de las actividades con mayor impacto en costos y en el ambiente, por escurrimientos y demás que pueden presentarse en la actividad, además de los efectos directos que causan al sistema suelo. La planta de banano requiere de grandes cantidades de nutrientes para su crecimiento y producción de frutos, los cuales son parcialmente suministrados por el suelo.

La investigación sobre nutrición mineral tiene una larga historia. En sus inicios, ésta se dedicó a la descripción de síntomas de deficiencias y a la determinación de cantidades de fertilizantes para un rango de suelos (1930-1970). En una segunda

fase (1960-2000) se investigó el rol de los nutrientes en el crecimiento y desarrollo del banano y el destino de algunos macronutrientes en el suelo, particularmente Nitrógeno y Potasio. (Delvaux, D Y Ruffykiri, G. 2003).

En la zona bananera de Colombia, muchas de las metodologías fueron copiadas de suelos con una realidad química y mineralógica diferente a la que aquí existe, muchos de esos métodos fueron calibrados hace muchos años y en suelos que no son representativos de los suelos bananeros de hoy; la mayoría de las veces han sido tomados de la literatura y se aplican sin evaluar su validez. En el país, el programa de correlación y calibración hace tiempo fue suspendido (Cuarta y Quinta aproximación ICA, 1981, 1992), Los niveles críticos se toman como fijos, situación que riñe con una de las características del análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo, el cual es la de ser un método empírico, que continuamente se debe estar revaluando.

La determinación del nivel crítico de un elemento es la herramienta para valorar el grado de disponibilidad del mismo para las plantas, y se realiza por medio de estudios de correlación entre los rendimientos relativos del cultivo (porcentaje de respuesta de un tratamiento con respecto a un testigo, al cual se le adiciona los tratamientos óptimos para que produzca al máximo) y la concentración del elemento en el suelo (Cabalceta 1993).

Se pretende realizar en el caso de la finca El Paso un comparativo de que los niveles críticos utilizados, las carencias de elementos químicos allí representadas corresponden directamente a cambios niveles productivos en la finca.

1.3. Objetivo de la Tesis

Al inicio de la investigación se parte entonces de la premisa que la respuesta productiva del cultivo de banano está determinada por las variaciones de elementos químicos contenidos por el suelo y por las prácticas de fertilización que buscan suplir los contenidos deficitarios de los mismos de acuerdo a los estándares (niveles críticos) utilizados en la zona de Urabá.

Se pretende investigar si las acciones realizadas a partir de los análisis de suelos están causando un efecto en la producción, utilizando sistemas de información geográfica.

1.4. Alcance y limitación

El trabajo tuvo el enfoque de desarrollar un caso aplicado en la finca El Paso, donde se identificaron, con la ayuda de los Sistemas de Información geográfica, la variabilidad espacial de los suelos presentes desde la perspectiva de sus contenidos de elementos químicos. Estos contenidos fueron cruzados con una variable productiva, la variable de peso de racimo y determinadas de esta manera su influencia.

Se utilizó la herramienta Combine del Spatial Analyst Tools en ArcGIS siguiendo la metodología descrita generando diferentes mapas para analizar la variabilidad espacio temporal de los datos.

El análisis de los niveles críticos de los elementos químicos del suelo para la Finca El Paso, aunque presentó limitaciones en la realización de los comparativos entre los rangos establecidos para peso de racimo y niveles críticos por elemento, amplía el conocimiento técnico y científico del cultivo del banano en la región, al determinar, la correlación espacial y estadística de los factores químicos de suelos y la productividad. Nos encaminamos a mejorar la competitividad de las fincas productoras de Banano utilizando los Sistema de Información Geográfica y a futuro poder realizar mayores análisis a nivel de localidad e implementar acciones para el uso eficiente de los recursos, en especial, los enfocados en la fertilización química.

1.5. Contenidos de capítulos.

El trabajo presenta un el marco teórico que contiene información sobre el cultivo de banano, los elementos en el suelo y el establecimiento de los niveles críticos, las variables químicas en los suelos y antecedentes sobre Sistemas de información geográfica.

En la metodología se incluye la ubicación de la zona en la que se desarrolló el trabajo y el proceso, modelo e indicadores utilizados para la evaluación.

En los resultados y discusión se desarrolla la metodología y se incluyen apartes del análisis de la información desde el punto de vista espacial y estadístico.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

1.6. Hipótesis

Como hipótesis de estudio se tiene:

H1: Los niveles críticos de elementos químicos en el suelo afectan la productividad del cultivo de banano.

En el cultivo de banano se realizan análisis de suelos que buscan identificar los sitios deficitarios en cada elemento químico de suelo analizado. A partir de la identificación del laboratorio, se elaboran programas de fertilización para reponer los elementos que se encuentren en niveles bajos y medios de acuerdo a los niveles críticos utilizados para el cultivo banano en la zona de Urabá que difieren de otros niveles críticos establecidos para el mismo cultivo en otras zonas de producción.

La práctica de fertilización ocupa un 34% de los costos totales del cultivo. Se pretende cruzar las variables productivas del cultivo en función del peso de

racimo e identificar si los rangos empleados en los niveles críticos guardan relación con la respuesta del peso de racimo.

1.7. Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Determinar el efecto de los niveles críticos de los elementos químicos en el suelo sobre la respuesta productiva del cultivo de banano en la finca el Paso mediante la relación espacial de los indicadores de productividad y las variables del suelo.

1.7.2 Objetivos específicos

- Identificar y cuantificar la variabilidad espacial de los suelos presente en la finca en cuanto a contenidos de elementos químicos contenidos en el suelo.
- Determinar el impacto de esta variabilidad de acuerdo a las tablas de niveles críticos utilizadas en la zona.
- Entender el efecto de la variabilidad dentro de la unidad analizada, relacionando espacial y estadísticamente las variables químicas de suelos y la variable peso de racimo.

2 Revisión de literatura o fundamentos teóricos.

2.1 Sobre el cultivo

Las musáceas tienen su origen en el Asia Sudoriental (Araya, 2003). La *Musa acuminata* tuvo su origen en la península de Malasia o islas cercanas, de donde fue llevada a otros lugares como Filipinas y la India, donde se mezcló con ejemplares de *Musa balbisiana* dando origen a grupos híbridos de los cuales se derivan los plátanos y los bananos.

El banano es una monocotiledónea herbácea de gran tamaño, con un tronco falso que produce un racimo único y luego muere.

El cultivo del banano constituye una de las principales fuentes de ingreso en la economía de más de 120 países en el trópico y el subtrópico. Además el cultivo del banano y el plátano como un conjunto, representan el cuarto cultivo más importante en el mundo, después del arroz, el trigo y el maíz, siendo considerado un producto de consumo básico y de exportación, constituyendo una importante fuente de empleo e ingresos para numerosos países en desarrollo (FAO, 2004).

Básicamente es un cultivo de regiones tropicales, donde el clima es húmedo y cálido. Este clima se presenta en la zona comprendida entre las latitudes 30° N y 30° S. considerándose como óptimo para el cultivo una latitud entre los 0° y 15° (Marcelino, 2008).

La morfología de la planta de banano exige suelos con características físicas especiales tales como: ausencia de rocas, buen drenaje, suelos profundos con buena aireación y buena capacidad de retención de agua, sin presencia de capas internas endurecidas ni señales de compactación. Los suelos más aptos para el desarrollo comercial del banano son los de origen aluvial de zonas bajas costera con texturas que van desde franco arenoso fino hasta franco arcillosos.

Fontagro en 2010, encontró que en los últimos 10 años en las plantaciones comerciales de banano en Latinoamérica y el Caribe (ALC) ha habido una reducción considerable en la productividad a pesar de que la aplicación de tecnologías avanzadas e insumos ha sido más costosa e intensiva. Esto es debido al cambio y deterioro acelerado de los factores físicos, químicos y principalmente biológicos del suelo. (Villarreal, 2010).

El deterioro de la raíz de banano y su efecto adverso en la producción se debe a factores ambientales (físicos, químicos y climáticos) y biológicos. Entre los biológicos se destacan la podredumbre de los rizomas, nemátodos y degradación de la actividad biológica del suelo. Esta última, como consecuencia de la degradación morfológica, física y química del suelo. La importancia de estas causas dependerá de las condiciones locales de suelo, clima y especificidad de los organismos dominantes.

Se deben diferenciar dos tipos de deterioro del sistema radical: a) **rápido**, con colapso pronunciado de la producción, que se da como consecuencia de condiciones edáficas, climáticas y fitopatológicas adversas e inherentes al sitio; entre

las cuales se destaca el drenaje pobre del suelo, extremos texturales, excesos de sales solubles y sodio en el suelo o excesos de humedad y materia orgánica que crean condiciones propicias para la podredumbre del rizoma y b) **gradual**, como consecuencia de la degradación paulatina del suelo y su componente biológico.

Tradicionalmente se ha dado gran importancia a las propiedades físicas del suelo: profundidad efectiva, textura, consistencia, porosidad y drenaje interno.

Ha sido universalmente reconocido que los extremos texturales (arcilla y arena) afectan negativamente la producción a través de limitar la disponibilidad de agua y nutrientes en general y limitar el drenaje interno en suelos arcillosos. En la última década se ha tomado en consideración la estructura, resistencia a la penetración de raíces y la densidad aparente del suelo.

Las propiedades químicas que comúnmente resultan en deterioro del sistema radical del banano en diferentes áreas geográficas de América Latina son sodio y aluminio intercambiables, sales, hierro y manganeso solubles en exceso, reacción del suelo (como determinante de la disponibilidad de nutrientes) y elementos tóxicos, bajos contenidos de materia orgánica y alteración de los balances nutricionales. La degradación biológica, por varias causas, resulta en la alteración de las poblaciones de los microorganismos del suelo con un posible deterioro del sistema radical y decrementos en la producción. (Gauggel, 2003)

2.2 Sobre los elementos en el suelo y el establecimiento de los niveles críticos

La planta de banano requiere de grandes cantidades de nutrientes para su crecimiento y producción de frutos, los cuales son parcialmente suministrados por el suelo. La investigación sobre nutrición mineral tiene una larga historia. En sus inicios, ésta se dedicó a la descripción de síntomas de deficiencias y a la determinación de cantidades de fertilizantes para un rango de suelos (1930-1970). En una segunda fase (1960-2000) se investigó el rol de los nutrientes en el crecimiento y desarrollo del banano y el destino de algunos macronutrientes en el suelo, particularmente Nitrógeno y Potasio K. Se espera que la alta demanda de nutrientes del banano afecte grandemente las propiedades del suelo y de su rizosfera y micorrizosfera, donde ocurren procesos cruciales tales como: absorción de agua y nutrientes, exudación de la acidez y sustancias orgánicas por las raíces, invasión de patógenos del suelo hacia las raíces, y establecimiento de simbiosis con micorrizas. (Delvaux, D y Ruffyikiri, G. 2003).

Los nutrientes más requeridos por el cultivo de banano son el nitrógeno y el potasio: la determinación exacta de la cantidad total de nutrientes requerida por el cultivo depende de la cantidad total de nutrientes absorbida para un rendimiento determinado y del suministro de nutrientes disponible en el suelo, considerado el elevado reciclaje de nutrientes que ocurre en la plantación. Por otro lado, la absorción total de nutrientes está determinada por las condiciones ambientales o el

estado de la plantación que van a ser las que finalmente determinaran el rendimiento esperado en cada sitio.

Lahav y Turner (1992) realizaron investigación en nutrición de plantas de banano en América Latina, bajo diferentes condiciones ambientales y desarrollaron los niveles críticos de nutrientes en diversos tejidos de plantas de banano variedad Cavendish Gigante completamente desarrolladas.

La determinación del nivel crítico de un elemento es muy importante para valorar el grado de disponibilidad del mismo para las plantas, y se realiza por medio de estudios de correlación entre los rendimientos relativos del cultivo (porcentaje de respuesta de un tratamiento con respecto a un testigo, al cual se le adiciona los tratamientos óptimos para que produzca al máximo) y la concentración del elemento en el suelo (Cabalceta, 1994). Por nivel crítico se entiende aquella concentración de un elemento, por encima de la cual, la probabilidad de incrementos sensibles en la producción, debido a la aplicación del elemento es baja; mientras que, valores inferiores probablemente corresponderán a producciones pobres y la probabilidad de incrementos debido a la aplicación del elemento es alta, esto en relación con el método analítico utilizado y a la respuesta del cultivo cuando se aplica un determinado nutrimento (Cabalceta, 1994).

En la zona bananera de Colombia, muchas de las metodologías fueron copiadas de suelos con una realidad química y mineralógica diferente a la que aquí existe y muchos de esos métodos fueron calibrados hace muchos años y en suelos que no

son representativos de los suelos bananeros de hoy. La mayoría de las veces se toman de la literatura y se aplican sin evaluar su validez.

En el país, el programa de correlación y calibración hace tiempo fue suspendido (Cuarta y Quinta aproximación ICA, 1981, 1992), Los niveles críticos se toman como fijos. Situación que riñe con una de las características del análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo, el cual es la de ser un método empírico que continuamente se debe estar revaluando.

El análisis químico de suelos incluye tres propósitos:

- Agrupar los suelos en clases en cuento a su fertilidad.
- Predecir la probabilidad de respuesta de un cultivo a la aplicación de fertilizantes.
- Recomendar la cantidad de fertilizante que debe ser aplicada al suelo.

En las zonas productoras de banano han sido publicados diferentes niveles críticos de elementos químicos de suelos. En Costa Rica una zona productora de banano se trabaja con los niveles críticos representados en la Tabla1.

Tabla 1. Guía para la interpretación de análisis de suelos en el cultivo de banano. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG) (Bertsch, 1986)

Elemento	Símbolo	BAJO	MEDIO	ALTO
Reacción del suelo	pH	5.0	5.5 – 6.5	7.0
Aluminio	Al (meq/100 g)		0.3	1.5
Potasio	K (meq/100 g)	0.2	0.2 – 1.5	1.5
Calcio	Ca (meq/100 g)	4	4 - 20	20
Magnesio	Mg (meq/100 g)	1	1 - 10	10
Fosforo	P (ppm)	10	10 - 40	40
Azufre	S (ppm)			
Hierro	Fe (ppm)	<10	10 - 50	50
Cobre	Cu (ppm)	1	1 - 20	20
Zinc	Zn (ppm)	3	3 - 15	15
Manganeso	Mn(ppm)	5	5 - 50	50
Boro	B (ppm)	< 0.5	0.5 – 1.0	> 1.0

pH relación 1:25 suelo – agua

Ca y Mg extraídos con KCl 1 N, Relación 1:10

K, P, Mn, Zn; Cu y Fe extraídos con NaHCO₃, (Olsen Modificado) relación 1:10

En el caso de la zona bananera de Urabá se utilizan igualmente diferentes niveles críticos de suelos, en la Tabla 2 se incluyen los utilizados por la Universidad Nacional de Colombia, quien ha desarrollado diferentes estudios en la zona y que cuentan con respaldo de la comunidad científica.

Tabla 2. Niveles críticos de suelos para el cultivo de banano Universidad Nacional de Colombia.

Elemento	Símbolo	BAJO	MEDIO	ALTO
Reacción del suelo	pH	< 5.0	5.0 – 6.0	> 6.0
Aluminio	Al (meq/100 g)	< 0.1	0.10 – 0.5	> 0.5
Potasio	K (meq/100 g)	< 1.0	1.0 – 1.5	> 1.5
Calcio	Ca (meq/100 g)	< 10	10 - 15	> 15
Magnesio	Mg (meq/100 g)	< 5.0	5.0 - 7.5	> 7.5
Fosforo	P (ppm)	< 10	10 - 25	> 25
Azufre	S (ppm)	<20	20 - 30	>30
Hierro	Fe (ppm)	<100	100-300	>300
Cobre	Cu (ppm)	<2	2-6	>6
Zinc	Zn (ppm)	< 10	10 - 15	> 15
Manganeso	Mn(ppm)	<80	80 - 90	>90
Boro	B (ppm)	< 0.5	0.5 – 1.0	> 1.0

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2006

2.3 Sobre la identificación de variables químicas suelo

La investigación en nutrición mineral y fertilización de banano ha sido amplia y efectiva. Esto ha permitido conocer las condiciones generales de respuesta del cultivo al manejo nutricional. Los trabajos de investigación en nutrición de muchos científicos han sido resumidos en varias publicaciones (Champion, 1963; Freiberg, 1966; Twiford, 1967; Lahav, 1980; Mitra y Dhua, 1988; Fox, 1989), pero la más popular en América Latina ha sido la revisión publicada por Lahav y Turner, 1992.

El 96.9% de la planta, está constituida por tres elementos orgánicos: carbono, hidrógeno y oxígeno (C-H-O), de los cuales el oxígeno y el carbono representan un

88 % de la planta; el oxígeno y el hidrógeno, un 50.6%, pero combinados como agua representan de 80 a 85%. El carbono combinado con el resto de elementos, como carbohidratos, proteínas, etc., representa de un 10 a 15%.

El carbono proviene del CO₂ del aire, que con una concentración promedio de 0.035% en la atmósfera, es suficiente para cubrir las necesidades de la planta; el hidrógeno proviene del agua absorbida por la planta del suelo y el oxígeno proviene única y exclusivamente de la atmósfera, que con una concentración de 20% entra en el suelo por los espacios porosos en un movimiento diferencial de presión de gases y es absorbido por las raíces, con excepción de algunas plantas con capacidad de absorber por las hojas, tal es el caso del arroz, pero bajo ninguna circunstancia en el banano.

La planta de banano es una HIDROFITA que requiere grandes cantidades de agua para su normal desarrollo, pero esos volúmenes de agua no deben restringir la asimilación de los otros elementos indispensables para el normal desarrollo de la planta, sobre todo el oxígeno.

El nitrógeno, con 1,5% es parte integrante fundamental de las moléculas de aminoácidos, vitaminas y proteínas, fase final del proceso metabólico.

El nitrógeno es el elemento nutricional que más falta en el mundo, entra en el suelo por adición en forma mineral, por descomposición de sustancias orgánicas nitrogenadas y es arrastrado por las lluvias de la atmósfera, la cual está constituida de 78% de nitrógeno del cual, el 98% del total está en la litosfera, y el 2% restante

está distribuido en la atmósfera, hidrosfera y biosfera; y sólo un 0,00014% se encuentra en los suelos. El nitrógeno total de los suelos superficiales fluctúa entre un 0,2 a 0,4% (Bertsch, 1995).

El segundo grupo de elementos nutricionales son elementos mayores y medios, que en conjunto representan un 1,7% de la composición total de la planta; estos elementos junto con los llamados micros (0,3%), son catalizadores enzimáticos de los procesos metabólicos de la planta; algunos de ellos son transportadores indispensables de las sustancias metabolizadas y unos pocos forman parte de componentes indispensables en el proceso de fotosíntesis.

Puede decirse que la planta es una fábrica de sustancias orgánicas, que en su proceso transforma y libera energía; para que se lleve a cabo dicho proceso se necesitan los siguientes componentes:

- a)** Una fuente de energía (luz solar)
- b)** Agua que capta del suelo
- c)** Elementos:

C - que capta del aire como CO_2 en el proceso de transpiración, como CO_2 disuelto en agua del suelo.

H - que capta del agua.

O - que capta del suelo producto del aire.

Estos elementos forman el trinomio C-H₂O base de todos los carbohidratos.

N - fijado biológicamente por los microorganismos del suelo y producto de la atmósfera.

Nutrientes minerales: P, S, Ca y Mg, indispensables en el proceso metabólico.

Biocatalizadores para facilitar la formación de enzimas como activadores del proceso metabólico: K, Mn, Fe, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ca, U, Ni, Se, etc.

Tabla 3. Algunas características generales de los nutrimentos del suelo.

Elemento	Forma de absorción	Forma metabólica activa	Movilidad en la planta	Mecanismo de movilización	Expresión en los fertilizantes	Funciones en la planta
N	NH ₄ ⁺	NH ₄ ⁺	+	flujo masas (96,8%)	N	Componentes de las Moléculas Orgánicas, proteínas y enzimas
	NO ₃ ⁻	NH ₃		Intercepción (1,2%)		
	urea	NH ₂ OH ⁻		Difusión (0%)		
	amidas					
	aminoácidos					
P	H ₂ PO ₄ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	+	flujo masas (63%)	P ₂ O ₅	Molécula Transportadora de Procesos metabólicos
	HPO ₄ ⁻²	HPO ₄ ⁻²		difusión (90,9%)		
		PO ₄ ⁻³		intercepción (2,8%)		
K	K ⁺	K ⁺	+	flujo masas (20%)	K ₂ O	Participa activamente en procesos metabólicos-activador de enzimas -transporte de azúcares sustituido parte por Na
				difusión (77,7%)		
				intercepción (2,3%)		
Ca	Ca ⁺⁺	Ca ⁺⁺	-	difusión (0%)	Ca	Forma parte de la Estructura de
				intercepción		

				(28,6%) flujo masas (71,4%)		las Células
Mg	Mg ⁺⁺	Mg ⁺⁺	+	flujo masas	MgO	Parte de la molécula de clorofila
				intercepción		
S	SO ₄ -2	S-H/S-S	±	flujo masas (95%)	S	
				intercepción (5, %)		
Mn	Mn ⁺⁺	Mn ⁺⁺	±	flujo masas	Mn	Activador enzimático Metabolismo de N
	quelatos			intercepción		
Zn	Zn ⁺⁺	Zn ⁺⁺	±	flujo masas	Zn	Activador enzimático muy importante
	quelatos			intercepción		
Cu	Cu ⁺⁺	Cu ⁺⁺	-	flujo masas	Cu	Componente Enzimático de varias proteínas
	CuOH ⁺					
	Cu Cl ⁺					
	quelatos					
Fe	Fe ⁺⁺	Fe ⁺⁺	-	flujo masas	Fe ₂ O ₃	Activador enzimático en la síntesis de clorofila
	Fe ⁺⁺⁺					
	quelatos					
B	H ₃ BO ₃		-	flujo masas	B ₂ O ₃	Interviene en el transporte de azúcares. Diferenciación y Desarrollo celular. Metabolismo de N y P en la fotosíntesis
	H ₂ BO ₃ ⁻					
	HBO ₃ ⁻²					
	BO ₃ ⁻³					
	B(OH) ₄ ⁻					
Mo	MoO ₄ ⁻²		+	flujo masas	MoO ₄	Interviene en el Metabolismo de N y P
	HMoO ₄ ⁻					
Cl	Cl ⁻		+	flujo masas	Cl	Estimula la fase lumínica de la fotosíntesis

Fuente: Bertsch (1995) modificado por Soto (1999).

Diversos factores pueden modificar ese balance:

El oxígeno de los suelos es absorbido por la planta para la formación de carbohidratos, ante la ausencia de O₂ la planta revierte el proceso y obtiene energía de las sustancias fotosintéticas; por lo tanto el uso eficiente de las sustancias

fotosintetizadas depende de la presencia óptima de O₂ en el suelo. Suelos anaeróbicos aceleran la respiración produciéndose una respiración fermentativa que produce muy poca energía con alto costo de productos sintetizados.

En esas condiciones, los procesos metabólicos se vuelven lentos y rara vez llega a la fase final en proteínas y carbohidratos complejos. La raíz no se expande para interceptar nutrientes y la planta sufre de falta de agua y nutrimentos, aprovechando poco la fertilización.

La cantidad de O₂ en un suelo tropical productivo debe ser alrededor del 10% (Primavesi, 1982).

El H₂O es indispensable en el proceso de fotosíntesis; sin ésta los procesos no se efectúan y la formación de carbohidratos es incompleta.

La alta temperatura de los climas tropicales acelera la respiración, provocando el cierre temprano de las estomas, y una reducción sensible de la fotosíntesis, no obstante se mantiene la respiración con un gasto importante de productos sintetizados que no se pueden reponer.

Los climas tropicales resultan beneficiosos a las plantas, bajo las siguientes condiciones:

- Suelo protegido de sobre calentamiento por exposición solar que acelera la respiración.
- Existencia de agua suficiente a libre disposición de la planta.

- Suficiente cantidad de aire (O_2) en el suelo, sin costras superficiales o tablas de agua altas, que dificultan la penetración de aire atmosférico, manteniendo el equilibrio indispensable entre la oxidación y la reducción.

Condiciones de anaerobismo pueden dificultar la absorción de los nutrientes por las raíces, o bien hacer que por reducción se conviertan en sustancias tóxicas o se pierdan por evaporación, tal es el caso del nitrógeno en la desnitrificación, donde las pérdidas hacia la atmósfera pueden llegar hasta un 70% del nitrógeno total del suelo, asimismo, las concentraciones de CO_2 pueden llegar hasta un 3%, siendo tóxico para las plantas.

- Suficientes nutrimentos y bien balanceados a disposición de la planta.
- Área foliar eficiente y suficiente, para facilitar el proceso fotosintético.

En la nutrición de la planta de banano se debe considerar el efecto residual de los elementos aplicados con anterioridad; el P, K, Ca, Mg, S y los elementos menores se concentran en el suelo, cuando se aplican en cantidades elevadas y constantes; altas concentraciones de algún nutrimento, pueden restringir la absorción normal de otro u otros elementos, y en algunos casos puede llegar a provocar hasta fitotoxicidad con pérdidas importantes en el desarrollo de la planta y en las cosechas.

La época de aplicación de fertilizante y la dosis se fijan de acuerdo a las condiciones climatológicas y el desarrollo de la planta. Por ejemplo, el uso de nitrógeno es muy conveniente previo a una época seca, y en condiciones adversas la dosis debe

reducirse. Si la situación es favorable, el uso de altas concentraciones de nutrimentos es recomendable.

TABLA 4. Necesidades nutricionales (N, K, P, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B en Kg) en cada una de las fases de desarrollo de la planta de banano para 1900 plantas en un ciclo de 404 días.

Fases	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
INICIAL	6,99	0,82	22,57	0,76	0,97	0,49	0,21	4E-04	0.010	0.038	0.01
F-10	13,11	1,38	52,58	2,91	2,66	0,97	0,27	0,007	0.011	0.082	0.08
F-M	18,14	1,54	54,91	4,62	4,03	1,18	0,35	0,01	0.021	0.106	0.09
FLORACIÓN	199,72	15,5	432,4	95,61	63,9	11,95	3,68	0,078	0.188	2.673	0.12
COSECHA	353,85	29,37	767,2	134,1	101,2	19,35	4,04	0,145	0.350	2.801	0.21

Fuente: Soto, M. 1991. Bananos, cultivo y comercialización

TABLA 5. Cantidades medidas (kg/ha) de nutrimentos extraídos por la cosecha.

Clon	Densidad plantas/ha	Productividad ton/ha/ciclo	N	P	K	Ca	Mg
GRAN ENANO¹	2.500	42	71	8	202	5	8
VALERY¹	2.500	42	71	9	214	8	9
GRAN ENANO²	2.500	39	58	7	160	4	13
VALERY²	2.500	50	95	14	250	10	12
GROS MICHEL³	1.246	22	44	6	130	5	6
VALERY⁴	2.500	77	146	17	631	21	20
PRATA⁵	1.110	9,3	11	3	29	2	3
CAVENDISCH⁶	-	0	56	5	183	6	13
GRAN ENANO⁷	1.900	60	102	12	242	6	14
PLÁTANO⁸	2.200	28	33	3	155	12	6

Fuente:

1 Prével.

5 Gómez, (1980).

2 Montagut y Prével.

6 Twyford y Walmsley, (1974).

3 Prével et al, (1972).

7 Tavares y Falquez, Soto et al, (1997).

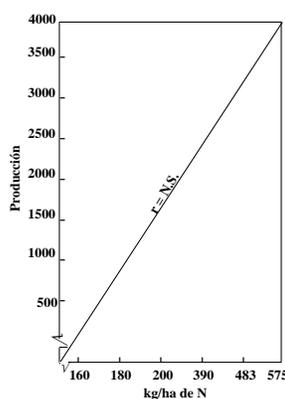
4 Gallo et al, (1972).

8 Instituto Colombiano Agropecuario, (1990)

Los aportes en nutrimentos de los residuos de las cosechas anteriores y los suelos, parecen ser suficientes para cubrir las necesidades de la planta de banano, pero es un hecho probado a través de múltiples ensayos llevados a cabo por muchos autores, en diversos países y con diferentes clones, que para mantener una cosecha económicamente rentable, es necesario abonar con fertilizantes químicos las plantaciones bananeras, si se pretende obtener una cosecha arriba de 40 toneladas de frutas por año.

2.3.1 Efectos de algunos elementos

La fertilización nitrogenada es indispensable para el cultivo económico de los bananos, ya que el Nitrógeno N y el Potasio K constituyen la base de la nutrición de la planta. Numerosos ensayos se han efectuado en el mundo bananero sobre este aspecto, United Fruit Co. ha investigado mucho en Costa Rica, Honduras y Panamá; y sus ensayos muestran una correlación lineal entre la producción y la cantidad de nitrógeno aplicado, esta última correlación puede invertirse con la aplicación de altas cantidades de potasio (Arias, 1984).



El potasio K constituye la base de la nutrición de los bananos del subgrupo “Cavendish”, a diferencia del “Gros Michel” en el cual el K no es significativo en la cosecha. Como consecuencia de esa circunstancia, los primeros ensayos llevados a cabo por Standard Fruit Co y United Fruit eran bajos en Potasio K, y hasta llegó a decirse que la fertilización con el macro nutriente no era necesaria. No fue sino hasta la década 1960, en que se tuvo una clara consciencia de la fertilización potásica para la obtención de altas cosechas.

La mayoría de los autores aseguran que entre mayor es la cantidad de K aplicada, mayor es la cosecha; sobre este aspecto, Bayona, 1986, encontró una correlación lineal entre la producción y la cantidad de potasio aplicado y entre la producción.

Segars, 1984, considera que cuando hay 1,5 meq/100 g de suelo, no se debe agregar más de 200 kg de K₂O/ha/año; a igual conclusión llegó el Departamento de Investigaciones de Marsman State Plantation en suelos hasta con 5,05 meq, donde en ensayos para los clones “Valery” y “Gran Enano”, con 100, 300, 500, 700 y 900 kg de K₂O para el primero y 200, 400, 600, 800 y 1000 kg de K₂O para el segundo clon. Los resultados mostraron que no había incremento en el rendimiento, peso de los

racimos, número de manos y calibración, sobre los 100 y 200 kg de óxido de potasio respectivamente.

En un ensayo de “cosecha programada”, llevado a cabo por el Departamento citado con niveles de 216, 432, 648, 864 y 1080 kg de K_2O /ha/año, en suelos con alto contenido de Potasio K (1,92 a 4,19 meq); los resultados no mostraron diferencia significativa entre tratamientos, lo que muestra una vez más que el contenido de K en el suelo es determinante en la fertilización con este elemento, y que una vez saturado el suelo, las adiciones posteriores necesarias para mantener altas cosechas son cada vez menores, y es importante suministrar únicamente la extracción (220 kg/ha/año) y las pérdidas por lixiviación (150 kg/ha por año).

El fósforo es un nutrimento es muy importante para el normal desarrollo de la planta de banano, sin embargo la extracción de la cosecha apenas llega a 12.14 kg de P por hectárea por año, y contenidos muy bajos de P disponible en el suelo son suficientes para satisfacer las necesidades básicas de la planta. Ledezma, 1981, dice que el desarrollo de las plantas de banano es satisfactorio con un contenido de P_2O_5 disponible en el suelo entre 0,1 y 0,2 ppm

El magnesio es un elemento importante en la nutrición del banano, y pueden provocarse deficiencias importantes si se presentan desbalances, ya sea por carencia en el suelo o por exceso en la fertilización potásica, que puede hacer necesario la aplicación de magnesio como fertilizante según varios autores (Dumas et al, 1964 Y 1967; Marchall et al, 1970; Fernández, 1973; Lahav, 1975; y Garcia et al, 1967 Y 1969, citados por Prevel, 1980).

El calcio es un elemento importante en la nutrición del banano, los contenidos de este nutrimento en la mayoría de los suelos resultan ser suficientes para proveer a la planta de sus necesidades básicas, con excepción de ciertas áreas en Filipinas (Godefroy et al, 1975), estiman las pérdidas por lixiviación en 380 kg/ha/año en CaO, y la extracción por cosechas apenas llega a 8.8 kg/ha/año.

Prével, 1970, recomienda el uso de 3 a 4 % de azufre en las fórmulas de fertilizantes a fin de mejorar la asimilación de Mg y K en suelos altos en Ca. También aconseja la aplicación de azufre con el fin de ayudar a la nitrificación de la urea, ya que tales formas se pierden menos por lixiviación, y por lo tanto el N es más aprovechado por la planta.

El zinc es un elemento que ha resultado crítico en Filipinas, donde se recomienda aplicar desde 32 a 40 kg de Zn/ha/año en forma de sulfato de zinc hepta hidratado ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$); sulfato de zinc hidratado ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) u óxido de zinc (ZnO). En Honduras la United Brands, 1975, recomienda el uso de 40 a 50 kg de $ZnSO_4$ cuando el contenido en el suelo es menor de 18 ppm.

Tabla 6. Extracción de nutrientes por el cultivo de banano de dos sistemas con diferentes niveles de productividad.

RENDIMIENTO/Ha	N	P	S	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Cu	Zn	B
63 *	110.2	16.7	5	11.7	16.7	369.2	0.51	0.47	0.06	0.16	0.22
44**	74.1	11.2	3.4	7.9	11.2	248.0	0.34	0.32	0.04	0.11	0.1

*Aproximadamente 3400 cajas /ha/ año

**Aproximadamente 3000 cajas /ha/ año

Fuente: Soto, M. 1991. *Bananos, cultivo y comercialización*

El efecto directo del hierro y manganeso solubles en la raíz del banano debe ser investigado en más detalle; observaciones de campo y tendencias en rendimiento sugieren interacciones entre estos dos elementos, la raíz de la planta y los microorganismos del suelo durante episodios de saturación temporal del suelo que todavía no son completamente entendidos.

2.4 Sobre antecedentes de Sistemas de Información Geográfico. GIS

En los últimos 30 años, se han producido significativos avances en la producción de cultivos (variedades mejoradas, fertilización, control de malezas, plagas y enfermedades, etc.) que han permitido alcanzar altos niveles de productividad. Sin embargo, esta alta productividad no ha sido necesariamente eficiente ni sustentable, en todos los casos, principalmente por la aplicación de paquetes tecnológicos rígidos sobre grandes áreas geográficas, sin considerar la variabilidad espacial de los factores de producción ni del potencial de rendimiento de los cultivos.

Por otra parte, la globalización de la economía mundial, observada durante la última década, obliga a los productores agrícolas a ser cada día más eficientes como única alternativa de mantenerse en el negocio. El desafío es entonces producir eficientemente, con el menor impacto ambiental posible.

Con el advenimiento de las tecnologías de información, que permiten una más rápida y económica recolección de datos, no existe justificación económica ni ambiental para utilizar paquetes tecnológicos fijos para grandes áreas de cultivo, especialmente

en lo que dice relación a fertilización y control de plagas y enfermedades. (Ortega, 1999).

A principios de la década del 90 la agricultura de precisión se desarrolló con el impulso de nuevas tecnologías, como son los nuevos y complejos equipos, monitores de rendimiento, sensores remotos y sistemas GPS o de posicionamiento global (Pérez et al. 2001). Sin embargo, actualmente se buscan nuevas oportunidades y circunstancias para perfeccionar y utilizar esta tecnología. En este sentido, esta agricultura se ha concentrado en los aspectos espaciales, donde los sistemas geospaciales han aportado novedosos datos; pero aún falta mucho que hacer con respecto a la variación temporal (NRC 1997).

J. Espinosa et al, 2007, manifiestan que “El Manejo del cultivo por sitio utilizando los Sistemas de Información geográfica (SIG) se desarrolló inicialmente para identificar y mapear la variabilidad espacial de los nutrientes dentro de los lotes de producción y correlacionarla con la variabilidad espacial de rendimiento”. Este mismo autor presenta un estudio realizado en un cultivo de cacao de la Hacienda Cañas. El primer paso, para el mejoramiento de la plantación, consistió en la demarcación de los lotes y el cálculo del área utilizando los SIG. Adicional a esto se obtuvo de una forma arbitraria la capacidad de uso de los suelos. Se utilizaron como variables la textura y el comportamiento del nivel freático con esto se planteó una nueva forma de evacuar la tabla de agua como factor limitante y un plan de manejo de aplicación de fertilizantes que mejoró notablemente los rendimientos.

La metodología consistió en espacializar la información de los límites de los lotes obtenida de una fotografía aérea y el nivel freático medido en campo, analizar datos históricos del cambio de disponibilidad de nutrientes y absorción de los mismos mediante gráficas de estadística descriptiva y relacionar la productividad con estas variables a través del tiempo. El resultado final fue un plan de manejo de acuerdo con lo observado durante este modelamiento.

En C.I. UNIBAN S.A. se evidencia que los productores del cultivo de banano recolectan datos en formatos físicos y digitales pero no la convierten en información útil para analizar los diferentes fenómenos que ocurren en el ambiente y que afectan positiva o negativamente los rendimientos del cultivo. La forma más acertada de analizar esta información es utilizando la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica. Esta tecnología permite aplicar agricultura por sitio específico en el cultivo de banano con el fin de utilizar cada sector de acuerdo con su potencial evitando que se deterioren los recursos y obtener los máximos rendimientos a largo plazo.

La tecnología de dosis variables (TDV) de fertilizantes, también denominada manejo de nutrientes sitio específico (MNSE), es, sin lugar a dudas, el área de mayor desarrollo dentro de la Agricultura de Precisión y posiblemente, la que podría tener mayor impacto en el aumento de la eficiencia productiva en la agricultura intensiva de Latinoamérica. Esto debido a las altas dosis de fertilizantes aplicadas, en la mayoría de los países, con la excepción de Argentina, y el elevado costo de estos dentro del total de costos variables (Ortega, 1999).

3 Metodología

3.1. Caracterización del área de estudio

El Urabá antioqueño es la región costera de Antioquia, sobre el mar Caribe. Es la salida de Antioquia al mar, la región bananera y platanera más importante del país y despensa de esa fruta tropical de varios mercados internacionales. La región central, también conocida como el eje bananero caracterizada por un excelente dinamismo económico, está integrada por los Municipios de: Apartadó, Carepa, Chigorodó y Turbo.

Los suelos de la región son de origen sedimentario, principalmente suelos aluviales con una altura promedio de unos 40 m.s.n.m y relieve bastante plano (5-10°).

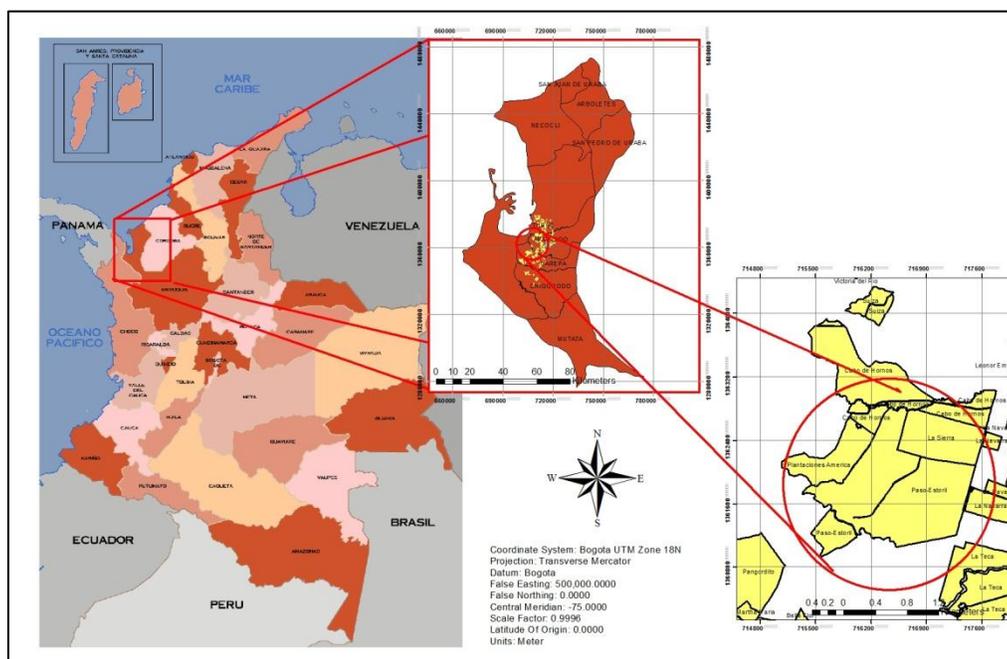


Figura 1. Ubicación zona de Urabá, Colombia.

3.1.1 Geología

La geología del área circundante se encuentra representada en mapas de cubrimiento nacional con algunos sectores de tipo general. La información corresponde a planchas publicadas en el Atlas Geológico a escala 1:500.000 y planchas geológicas a escala 1:100.000 de INGEOMINAS, éstas se constituyen en la principal fuente de información utilizada para efectuar el análisis de las características geológicas del área.

De Oriente a Occidente, se pueden diferenciar varios tipos de rocas de acuerdo a su origen, edad y composición. Es así como en la zona Oriental, en la Serranía y sus estribaciones, se encuentran rocas sedimentarias terciarias con dirección general N-S $\pm 10^\circ$ y buzamientos de los estratos variable. Limitando con esta unidad al Occidente, se encuentran sedimentos cuaternarios principalmente de origen aluvial.

Las áreas planas comprendidas entre la Serranía del Darién, y las estribaciones de la Cordillera Occidental, al costado oriental del Golfo de Urabá, están conformadas por depósitos Cuaternarios de diversos orígenes que paulatinamente han rellenado la depresión del río Atrato que, en el pasado, era una entrada del mar hacia la parte continental.

Se destacan entre otros los depósitos de los abanicos aluviales y algunos niveles de terrazas disectadas, asociadas a los principales ríos localizados al pie de las serranías.

La mayor parte de los sedimentos cuaternarios existentes en la depresión de la cuenca del río Atrato, fueron depositados durante el Pleistoceno-Holoceno y continúan aún en la actualidad. La fuente principal de los sedimentos del relleno actual, corresponde a las descargas fluvio torrenciales de materiales transportados por los ríos afluentes del Atrato y que finalmente fueron depositados en la planicie aluvial del río Atrato,

3.1.2 Clima

Desde el punto de vista regional, Urabá está localizada en el límite septentrional de la faja de fluctuaciones anuales del llamado Frente Intertropical de Convergencia (F.I.C.), el cual determina la variación climática que ocurre en distintos períodos de un año. Esta influencia del F.I.C. depende de su posición hacia el norte o hacia el sur, de tal suerte que en los meses de enero, febrero y marzo, cuando la zona de convergencia alcanza su posición más meridional (cercana a los 5° de latitud sur), la región se ve sometida al régimen de altas presiones, con vientos superficiales provenientes del norte que atraviesan la región en sentido noroeste y con velocidades superiores a los 15 Km. por hora, produciéndose un período de menor cantidad relativa de lluvias. En sentido contrario, cuando la zona de convergencia alcanza su posición más septentrional, la región es sometida a la influencia de masas húmedas en sentido sur y sureste, proveniente del océano Pacífico que originan lluvias frecuentes en el período comprendido entre mayo y noviembre.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Holdridge el área de estudio pertenece a la zona de vida de bosque húmedo tropical (bh-T), caracterizado por tener una

temperatura mayor de 24° C y precipitaciones promedio anuales entre 2000 y 4000 mm. Teniendo en cuenta estos factores, el clima se considera como cálido húmedo.

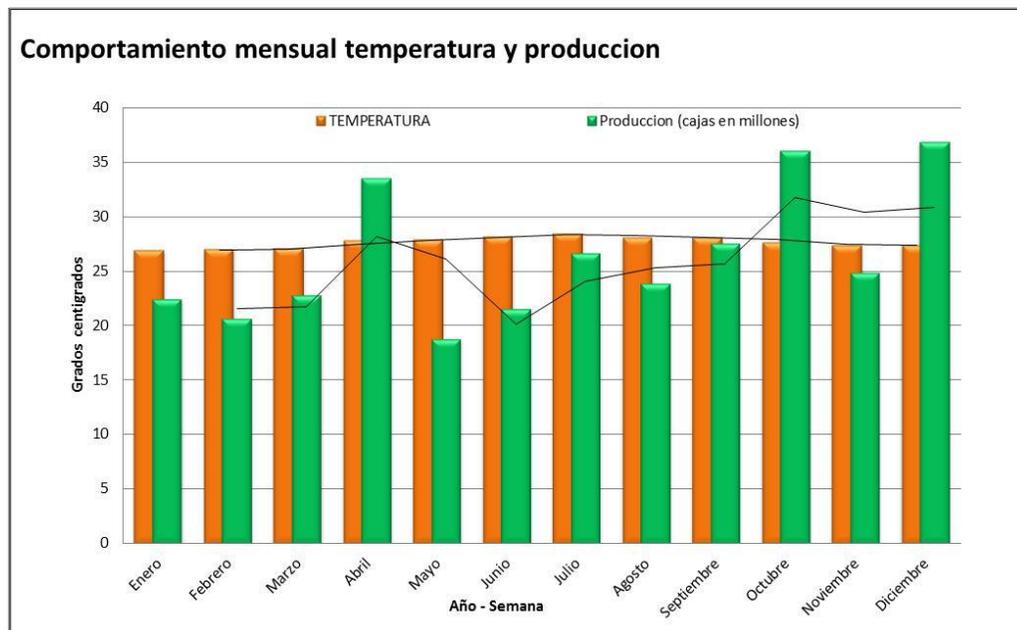
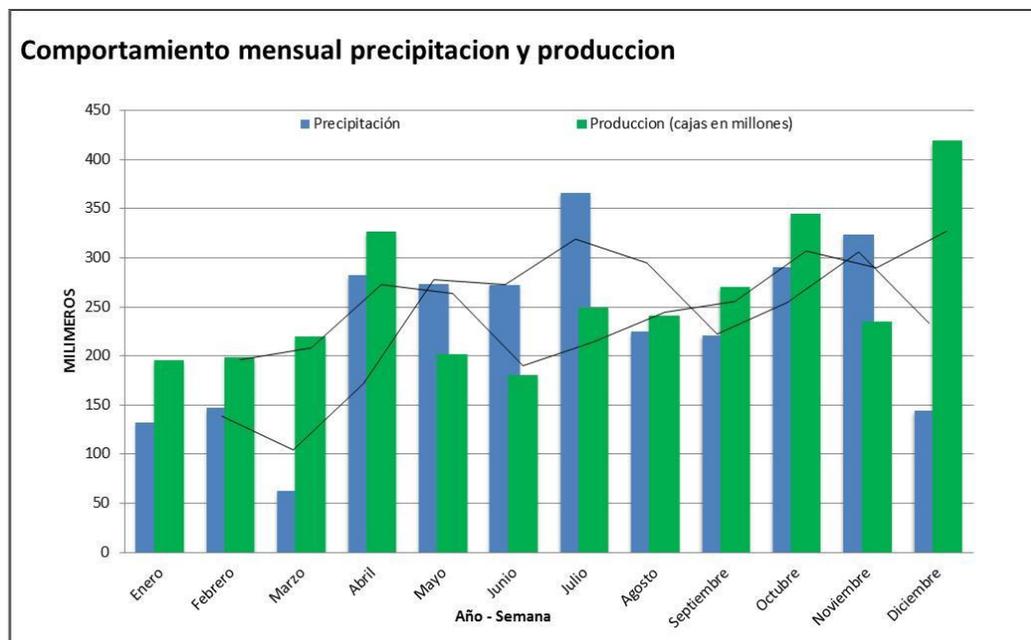


Figura 2. Comportamiento mensual de la precipitación y la temperatura. Zona de Urabá años 2010- 2011.

3.2. Ubicación de la finca

El estudio se realizó en la finca el Paso en el área bananera del municipio de Apartadó. Geográficamente se encuentra enmarcada por las coordenadas $7^{\circ}51'43.095''$ y $7^{\circ}51'43.403''$ de latitud Norte, y $76^{\circ}39'40.375''$ y $76^{\circ}38'32.388''$ de longitud Oeste de Greenwich (Figura 2).

Por el norte limita con la finca Cabo de Hornos, al sur con la Vía Churidó, al oriente con la Vía Apartado - Carepa, y al occidente la finca Plantaciones América.

Considerando la anterior definición de límites, la zona de estudio presenta una extensión aproximada de 203.53 hectáreas. La finca cuenta con 34 lotes distribuidos de acuerdo a la Figura 3.

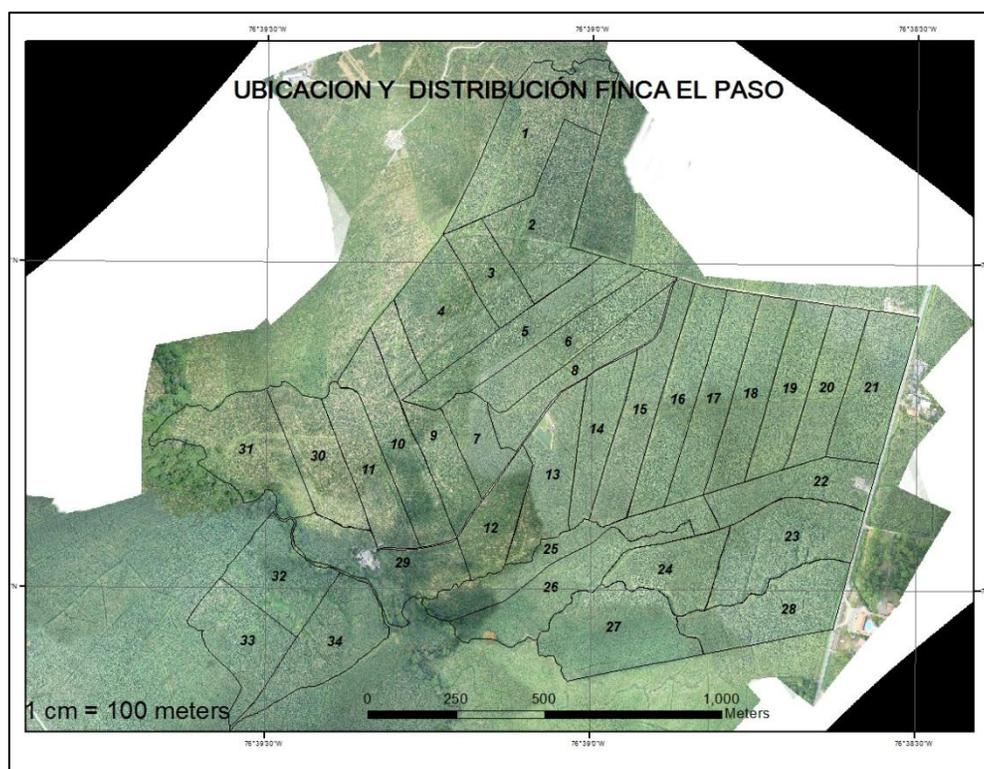


Figura 3. Ubicación y distribución lotes Finca el Paso.

PREDIAGNÓSTICO Inicialmente se realizó una entrevista con el administrador con el fin de conocer su versión sobre productividad y los problemas a fines de las áreas. Se consultaron los registros de productividad existentes y se seleccionaron áreas contrastantes según la escala de productividad. Sin embargo la escala en algunos casos no abarcaba un intervalo tan amplio o tan contrastante.

Se realizaron otro tipo de consultas, como: clon utilizado, disposición de redes de drenajes, y otros.

3.3 Análisis de los datos

La ruta anexa define los puntos más relevantes del análisis realizado

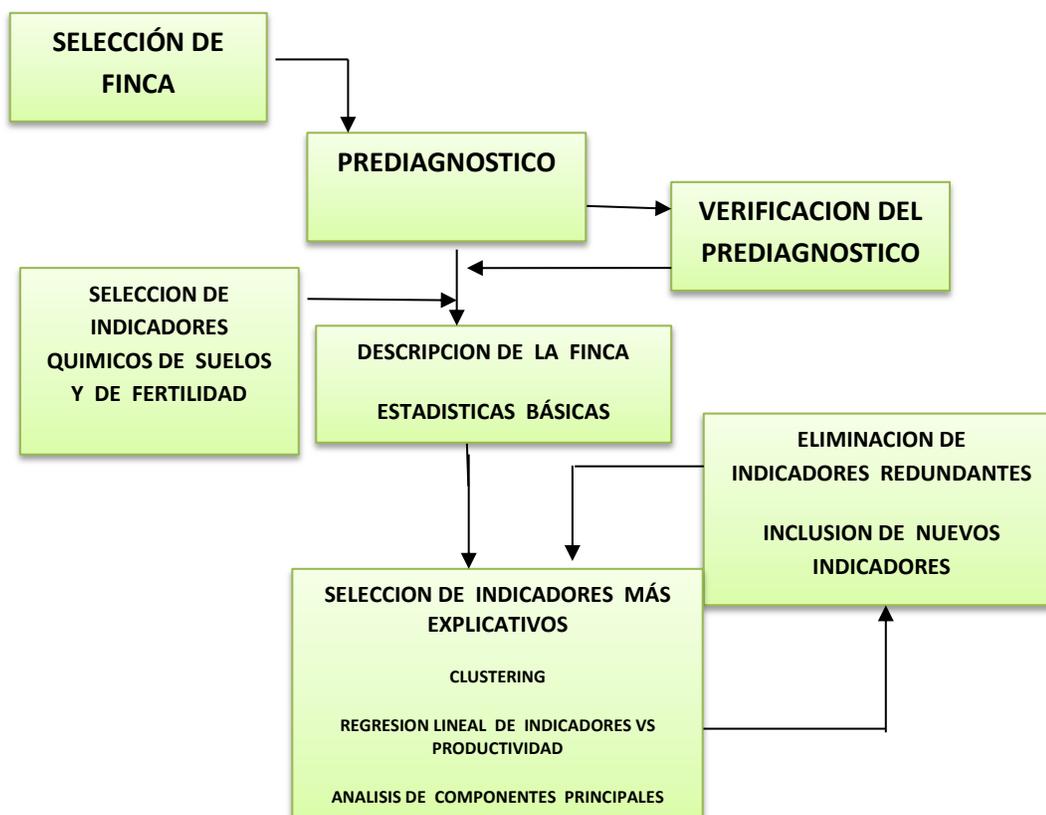


Figura 4. Procedimiento general o Ruta seguida

3.4. Conceptualización

En el modelo conceptual se estableció la relación existente entre los elementos químicos de suelos y el rendimiento o productividad del cultivo en función al peso de racimo. (Ver Figura 5).

Los componentes evaluados fueron obtenidos de los análisis químicos de suelos de la finca, de los años 2008 y 2011 donde fueron evaluados cada uno de los siguientes elementos:

Reacción de Suelos (pH)	Aluminio (Al)	Potasio (K)	Fosforó (P)
Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Azufre (S)	Hierro (Fe)
Cobre (Cu)	Manganeso (Mn)	Boro (B)	Zinc (Zn)

Y para la productividad se utilizaron los Pesos de racimos de los años 2008, 2009, 2010 y 2011. Estos fueron obtenidos diariamente, agrupados en forma semanal y finalmente escogidas dos épocas del año con diferencias fundamentales en productividad.

Cada resultado fue situado por lote, que para la finca equivalen a 34 resultados (34 lotes), realizando posteriormente la espacialización de los datos para cada elemento químico de suelos, y clasificándolos por las tablas anteriormente mencionadas de niveles críticos y pesos de racimos (Ver Tablas 2 y Tabla 6)

Tabla 7. Niveles críticos de suelos para el cultivo de banano Universidad Nacional de Colombia

Elemento	Símbolo	BAJO	MEDIO	ALTO
Reacción del suelo	pH	< 5.0	5.0 – 6.0	> 6.0
Aluminio	Al (meq/100 g)	< 0.1	0.10 – 0.5	> 0.5
Potasio	K (meq/100 g)	< 1.0	1.0 – 1.5	> 1.5
Calcio	Ca (meq/100 g)	< 10	10 - 15	> 15
Magnesio	Mg (meq/100 g)	< 5.0	5.0 - 7.5	> 7.5
Fosforo	P (ppm)	< 10	10 - 25	> 25
Azufre	S (ppm)	<20	20 - 30	>30
Hierro	Fe (ppm)	<100	100-300	>300
Cobre	Cu (ppm)	<2	2-6	>6
Zinc	Zn (ppm)	< 10	10 - 15	> 15
Manganeso	Mn(ppm)	<80	80 - 90	>90
Boro	B (ppm)	< 0.5	0.5 – 1.0	> 1.0

Fuente Universidad Nacional,2006.

Tabla 8. Rangos de Clasificación de Peso de Racimo para el cultivo de banano, zona de Urabá.

Rango Peso (Kg.)	Valoración
Menor a 20	Muy Bajo
Entre 20 y 24	Bajo
Entre 24 y 28	Medio
Entre 28 y 32	Alto
Mayor a 32	Muy Alto

Fuente: Manual de buenas prácticas agrícolas para banano C.I. Uniban S.A. 2003

Se utilizó la herramienta de Geoprocesamiento para convertir los polígonos a raster de los lotes y finca, posterior a lo cual fueron reclasificados para nuevamente contar con las categorías seleccionadas a cada elemento químico y a los pesos de racimo.

Teniendo cada raster y con la utilización de la herramienta Combine del spatial Analyst (Toolboxes\System Toolboxes\Spatial Analyst Tools.tbx\Local\Combine), se realizó una combinación de cada reclasificación de pesos de racimo y contenidos de elementos químicos de suelos generando un raster final para cada elemento químico creando de esta manera una nueva clasificación resultantes de la combinación.

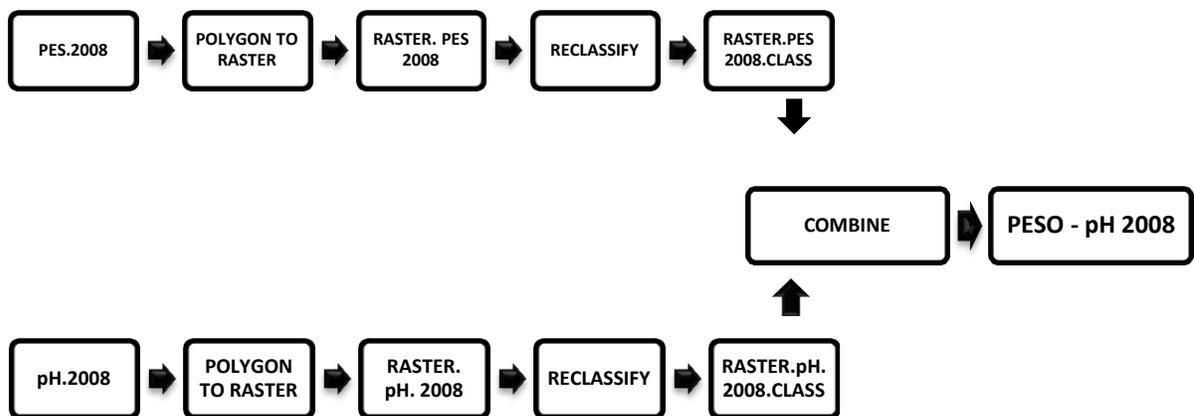
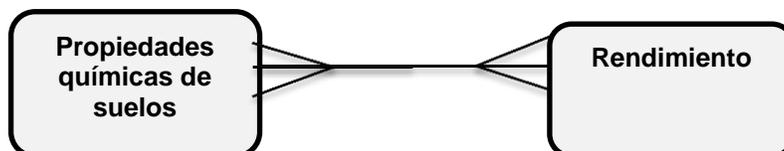


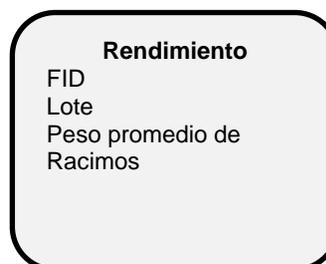
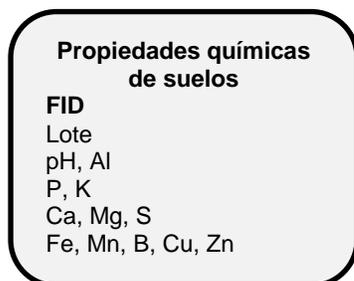
Figura 5. Modelo Conceptual.

3.4.1 Modelo lógico

Definición de Entidades



Entidades y atributos



3.4.2 Indicadores y variables

Se establecen las unidades de medición, la periodicidad, la época y la unidad espacial para cada variable.

Tabla 9. Componentes, Indicadores y variables.

Componentes	Variables	Unidad medida	Periodicidad	Unidad espacial
Producción (P)	Peso racimos	Kilogramos (kg)	Semanal	Lote
Niveles críticos de suelos para banano (zona de Urabá)	Contenido de nutrientes (pH, Materia orgánica, aluminio, fosforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, Boro, manganeso, Zinc y Capacidad de Intercambio catiónico.	Cmol/100 g suelo), en algunos casos en porcentaje (%) y partes por millón (ppm)		Zona
Análisis de suelos	Contenido de nutrientes (pH, Materia orgánica, aluminio, fosforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, Boro, manganeso, Zinc y Capacidad de Intercambio catiónico.	Cmol/100 g suelo), en algunos casos en porcentaje (%) y partes por millón (ppm))	Bianual	Lote

3.4.3. Captura de datos

Una vez tomados los datos de peso de racimo por lote y por semana se promediaron escogiendo dos épocas que enmarcaran lecturas contrastantes en cuanto a comportamiento de peso de racimo. Fueron escogidas en el primer semestre las semanas comprendidas entre la 9 y la 13, en las que usualmente por efecto del clima se observa una disminución de pesos de racimo en la zona. (Ver Figura 6). Para la época de alta productividad se escogió entonces igualmente la época en la zona que por efecto del clima cambian los pesos de racimo. Fue escogida de esta manera las semanas entre la 33 y la 38 de cada año. (Ver Figura 6).

Para cada época formó una base de datos acuerdo con la estructura preestablecida y se realizó un promedio de los datos. Este resultado obtenido para cada lote fue espacializado utilizando la herramienta Join de Arc Gis.

Igual información fue desarrollada para los resultados de análisis de suelos que fueron igualmente digitados en la base de datos preestablecida y realizando un Join espacializados a nivel de lote.

Con esto últimos se realizó la clasificación de acuerdo a los niveles críticos identificados por colores en la mapa de acuerdo a la clasificación sugerida (Ver tabla 10).

3.4.4 Estadística

Se realizó la correlación estadística de los datos de peso de racimo semanas en relación con las variables químicas de suelo se estableció la correlación lineal encontrando resultados de baja significancia por lo que se direccionó a establecer relaciones bajo un modelo de análisis de componentes principales.

4 Resultados y discusión

4.1. Comportamiento general de las variables

4.1.1 Variable productividad

Para la productividad fue tomada como referencia los datos de pesos de racimos que en la finca fueron obtenidos mediante la medición de báscula electrónica Trutest XR3000 del área de empaque y registrados sistemáticamente por lotes. Estos datos fueron tomados con unas frecuencias diarias y clasificadas por lote, entre las semanas 1 y 52 para los años 2008-2009-2010 y 2011 periodo de estudio.

Por mayor manejo y comparación los datos se agruparon de forma semanal (promedio de pesos diarios) por lote (figuras 6), con el ánimo de preparar su estudio.

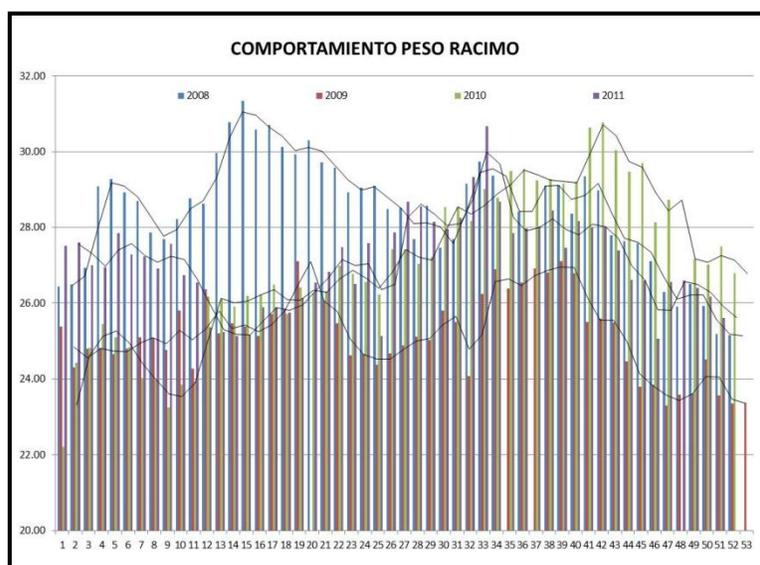


Figura 6. Gráfica de peso de racimo a nivel semanal en la finca El Paso para los años 2008, 2009, 2010 y 2011

En general pueden ser analizadas dos épocas bien marcadas en el año, durante el primer semestre (a excepción del año 2008) los pesos de racimo son inferiores a las semanas correspondientes al segundo semestre. Usualmente este comportamiento es atribuible a las épocas climáticas marcadas en la zona de Urabá que corresponden a época de ausencia de lluvias entre los meses diciembre y abril y la época de mayor precipitación entre los meses septiembre a noviembre. (Ver Figura 2).

De acuerdo a estas premisas fueron establecidos los valores correspondientes a pesos de racimos de la época de baja producción y la época de alta producción para la elaboración de la ubicación espacial de la variable evaluada *Peso de racimo*, tomándose igualmente la clasificación de Escala de peso de racimo según la

recomendación del Manual Buenas Prácticas Agrícolas para Banano de C.I UNIBAN, 2003. (Tabla 6)

Tabla 10. Rangos de Clasificación de Peso de Racimo para el cultivo de banano, zona de Urabá.

Color	Rango Peso (Kg.)	Valoración
Rojo	Menor a 20	Muy Bajo
Naranja	Entre 20 y 24	Bajo
Amarillo	Entre 24 y 28	Medio
Azul	Entre 28 y 32	Alto
Verde	Mayor a 32	Muy Alto

Fuente: Manual de buenas prácticas agrícolas para banano C.I. Uniban S.A. 2003

Se realiza la espacialización de la información y se consigna en las siguientes figuras.

Para el año 2008 la distribución de la productividad según el indicador de peso de racimo nos muestra que en para ambos periodos de tiempo (época de baja y alta producción) los lotes comprendidos en el Oriente de la finca entre los lotes 12 y 28 (a excepción del lote 27) poseen el mejor comportamiento .

Según la figura 7 fue observable que el año 2008 correspondía en la época de baja producción a un comportamiento anormal (que usualmente es determinado por el clima) es importante mencionar en este punto que el mayor índice de productividad obtenido para el inicio de este año, corresponde a una renovación de lotes, preparación del año anterior de la finca de manera que les permita aumentar su productividad en las épocas en las que el mercado reconoce mayores valores por precio de la fruta.

La renovación corresponde a los lotes 31, 32, 33 y 34, por lo que el comportamiento de estos lotes para la época de baja producción no debe distraer la interpretación.

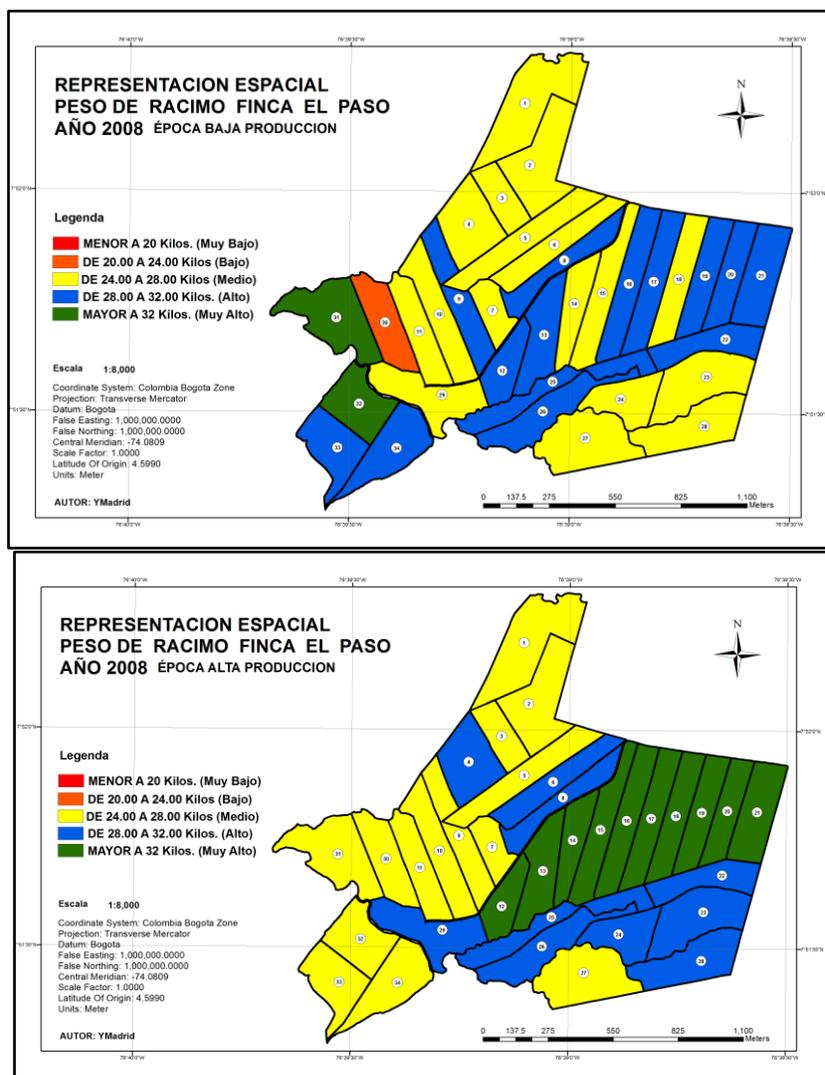


Figura 7. Representación espacial peso de racimo Año 2008. Época de Baja y alta producción.

El año 2009 no es la excepción en cuanto al comportamiento de peso de racimo, (Ver Figura 8), incluso en la época de baja producción el mejor comportamiento corresponde a los lotes 12 al 28, los lotes más al oriente de la finca, con pesos

superiores a 24 kilos, mientras que los lotes del occidente manifiestan unas menores características en cuanto a pesos de racimo.

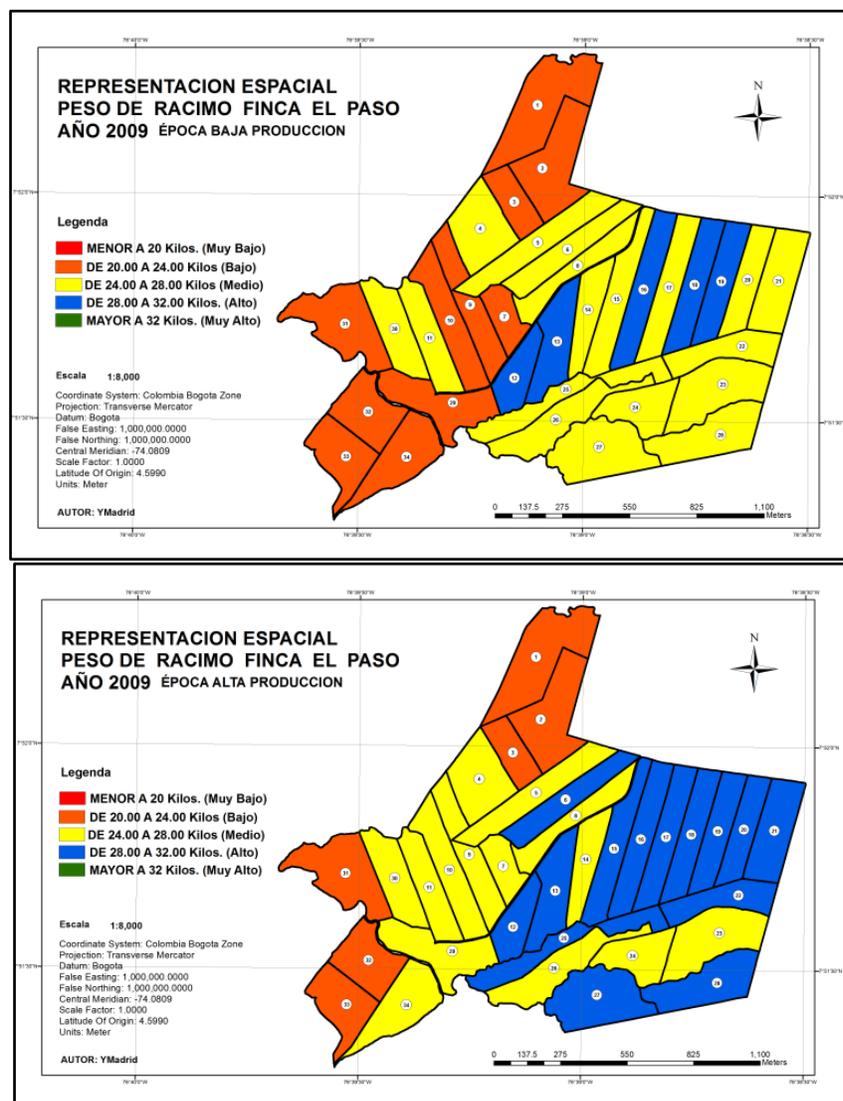


Figura 8. Representación espacial peso de racimo Año 2009. Época de Baja y alta producción.

Para el año 2010 continúan siendo los lotes entre 12 y el 28 los de mejores pesos de racimos. Para este año el contraste en cuanto a las épocas de baja y alta producción es mayor. En el caso de la época de baja

producción mayor parte del área corresponde a clasificaciones inferiores a 24 kilos de peso de racimo. Mientras que en la época de alta producción mayor parte del área corresponde a pesos mayores a 28 kilos.

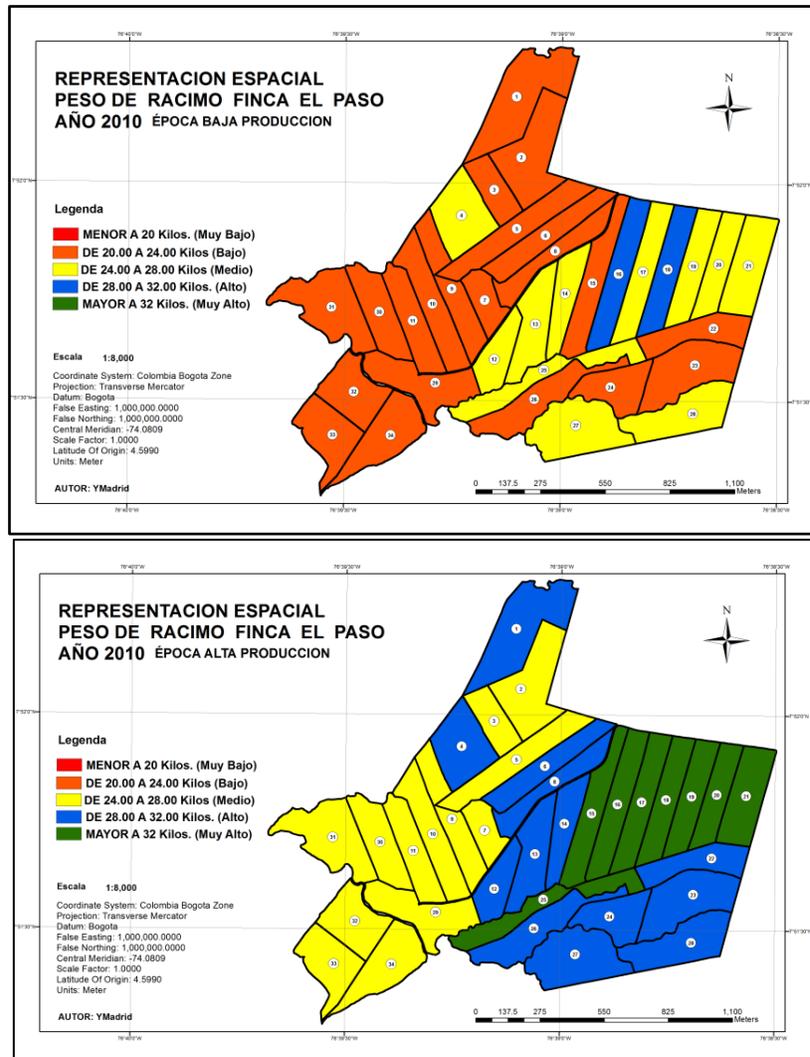


Figura 9. Representación espacial peso de racimo Año 2010. Época de Baja y alta producción.

Ya para el año 2011 el comportamiento del indicador de peso de racimo mejora incluso en las semanas de baja producción se encuentra entre los rangos de 24 a 28 kilos (Ver Figura 10) y se consolida en pesos de racimo mayores a 28 kilos para todo el lado oriental de la finca.

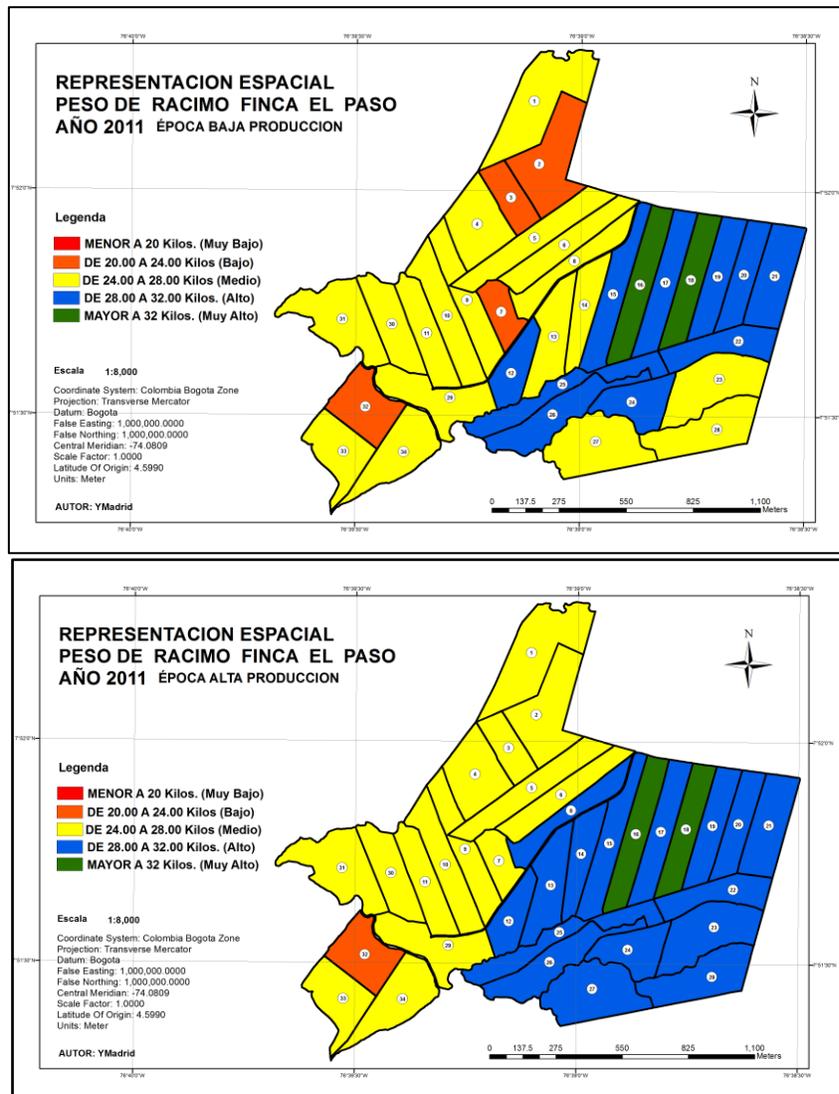


Figura 10 Representación espacial peso de racimo Año 2011. Época de Baja y alta producción.

4.1.2 Variable Análisis de suelos

En el proceso bananero es usual la obtención de muestras de suelos para la elaboración de planes de fertilización. Una muestra del suelo es usualmente empleada para evaluar sus características. La muestra consiste en una mezcla de porciones de suelo (submuestras) tomadas al azar de un terreno homogéneo (ICA, 1992).

Las muestras fueron obtenidas en cada lote de la finca realizando diferentes submuestras de la misma área. Es decir, una muestra de suelo se compone de varias submuestras tomadas aleatoriamente en el campo (Brady y Weil, 1999).

La profundidad del suelo a la cual se toma la submuestra, para banano es de 30 cm. Esto coincide con la mayor concentración de raíces en el suelo.

Las muestras aquí representadas fueron enviadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, el cual analizó para cada caso los siguientes elementos de acuerdo a cada metodología (Ver Tabla 11).

Tabla 11. Indicadores y método de extracción en laboratorio.

Elementos	Método	Reglamentación
Disponibilidad de P, Fe, Cu, Mn y Zn	Bray II y Olsen Modificado	USDA, 1995
K, Ca y Mg intercambiable	Acetato de amonio 1 N	USDA, 1995
pH	pH en agua (1: 2.5)	USDA, 1995
Aluminio intercambiable	Extraído con KCL 1N	USDA, 1995
Boro	Extracción con agua	USDA, 1995

Para la diagramación espacial se establecen los rangos de los niveles críticos de cada elemento representados en la Tabla 12.

Tabla 12. Rangos de Clasificación por colores para los elementos en el suelo de acuerdo a los niveles críticos establecidos por la Universidad Nacional para el cultivo de banano

Color	Valoración
Rojo	Bajo
Verde	Medio
Azul	Alto

Recordemos que por nivel crítico se entiende aquella concentración de un elemento, por encima de la cual, la probabilidad de incrementos sensibles en la producción, debido a la aplicación del elemento es baja; mientras que, valores inferiores probablemente corresponderán a producciones pobres y la probabilidad de incrementos debido a la aplicación del elemento es alta, esto en relación con el método analítico utilizado y a la respuesta del cultivo cuando se aplica un determinado nutrimento.

Un nivel bajo se define como el nivel en el suelo en el cual la probabilidad de obtener una respuesta al incremento del nutrimento es 80 % o más. Un nivel alto representa uno en el cual se espera una respuesta al incremento del nutrimento menos del 20 % del tiempo. Un nivel mediano es uno entre el nivel bajo y el alto.

Fueron espacializadas las muestras obtenidas en los años 2008 y 2011. Partiendo de que se comparan el nivel crítico inicial, obtenido de las muestras de suelo del año

2008 y los niveles críticos finales partiendo de la muestra de suelos tomada en el 2011.

Se presentan la distribución espacial de cada elemento en las siguientes figuras.

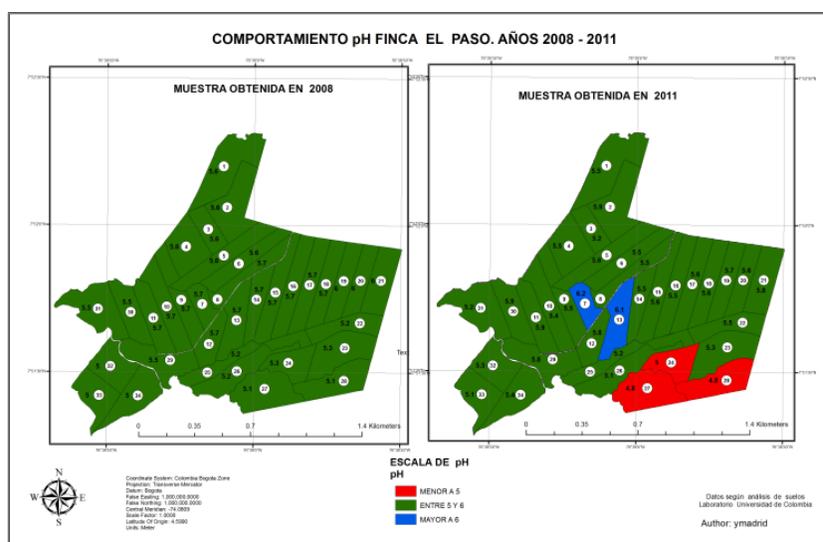


Figura 11. Comportamiento del pH en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.

En la figura 11 se indica el comportamiento del pH , para el año 2008 el pH general en la finca muestra resultados de pH entre 5 y 6, es decir pHs medios, para el año 2011, los lotes 24, 27 Y 28 muestran pH bajos (inferiores a 5.0) y medios en general para la finca a excepción de los lotes 7 y 11 que tienen pH en niveles altos (superiores a 6.0) .

Para el elemento aluminio la escala se invirtió es decir en concentraciones superiores a 0.3 meq/100g suelo fueron tomadas entre medias y altas pues es un

elemento que al ser determinado causa toxicidad y el nivel crítico para el cultivo es que se encuentre en el suelo. Su presencia en cualquier concentración es tóxica para el cultivo. (Ver Figura 12)

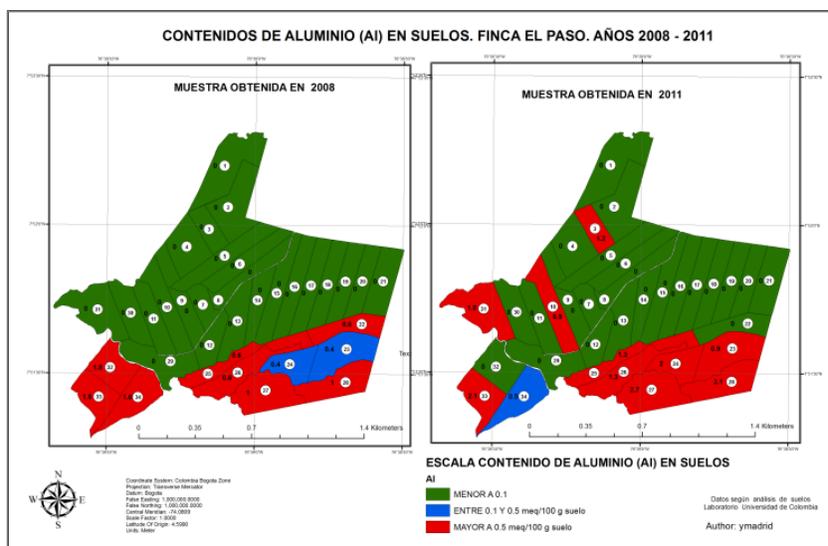


Figura 12. Contenidos de Aluminio (Al) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.

Los contenidos de aluminio para la muestra obtenida en el 2008 la zona sur oriental comprendida por los lotes 32, 33, 34 y de los lotes 23 al 28 presentan contenidos de aluminio superiores a 0.5 meq/100 g suelo, Situación que se repite para la muestra de suelos obtenida para el año 2011.

En el 2011 se presentan igualmente los lotes 3, 18 y 31 con contenidos de Aluminio superiores a 0.5 meq/ 100g de suelo

En la figura 13 se observa los contenidos potasio en el suelo obtenidos de los Resultados de laboratorio de los años 2008 y 2011. Para el elemento Potasio, es

observable un cambio creciente de los contenidos de los suelos entre las muestras obtenidas en 2008 y la posterior del 2011 en la que mayor parte del área de la finca contienen rangos Altos del elemento (Mayores a 1.5 meq/100 g suelo).

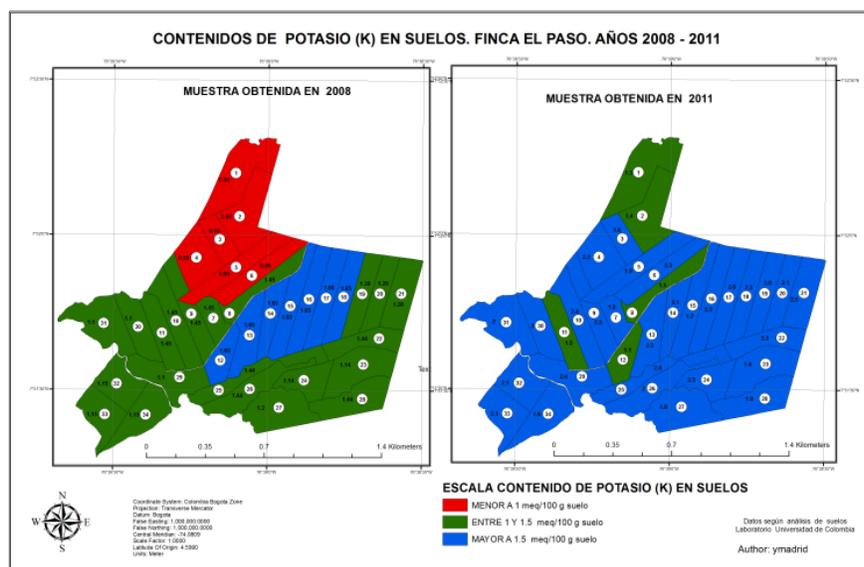


Figura 13 Comportamiento del Potasio (K) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011

En el caso del elemento fósforo para las muestras obtenidas en 2008 y 2011 se manifiesta en la finca contenidos de medios a altos del elemento, superiores a 10 ppm. (Ver Figura 14).

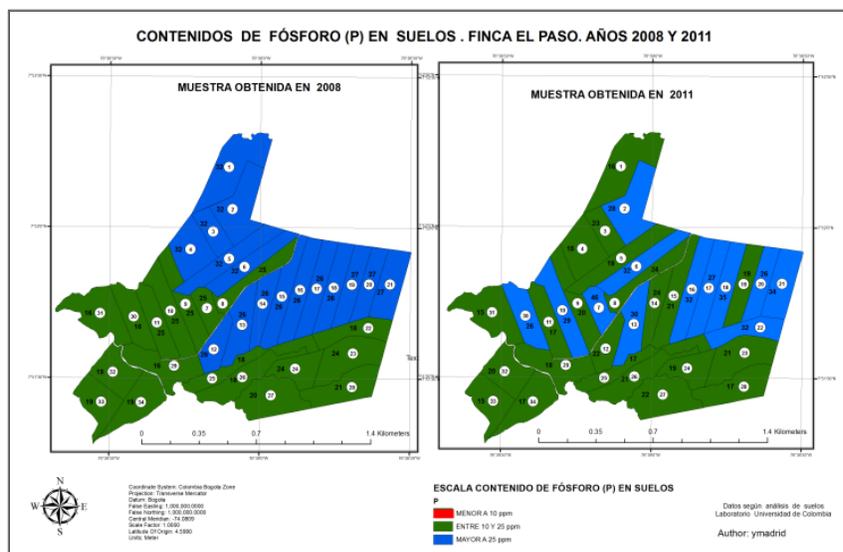


Figura 14. Comportamiento del Fósforo (P) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.

En las Figura 15,16 y 17 se observa el Comportamiento de los elementos Magnesio (Mg), Calcio (Ca) y Azufre (S) en el suelo, resultado del análisis realizado para los años 2008 y 2011. Estos son los llamados elementos secundarios aunque en el caso del azufre recientemente fue nominado a ser llamado elemento mayor para los cultivos pues se demostró como prioritaria su aplicación para llevar a buen término la producción.

Para el elemento Magnesio en el año 2008 se observan niveles de bajos a medios en los contenidos del elemento, segregados los niveles bajos (menores a 5 meq/100g suelo) entre los lotes 1,2,3,4,5,9 22 y26., situación que se repite en el año 2011 en los lotes 1,2,3,4 y 22. En los lotes 10, 23 y 27 que en 2008 se encontraban en niveles medios (entre 5 y 7.5 meq/100 g suelo). (Ver Figura 15).

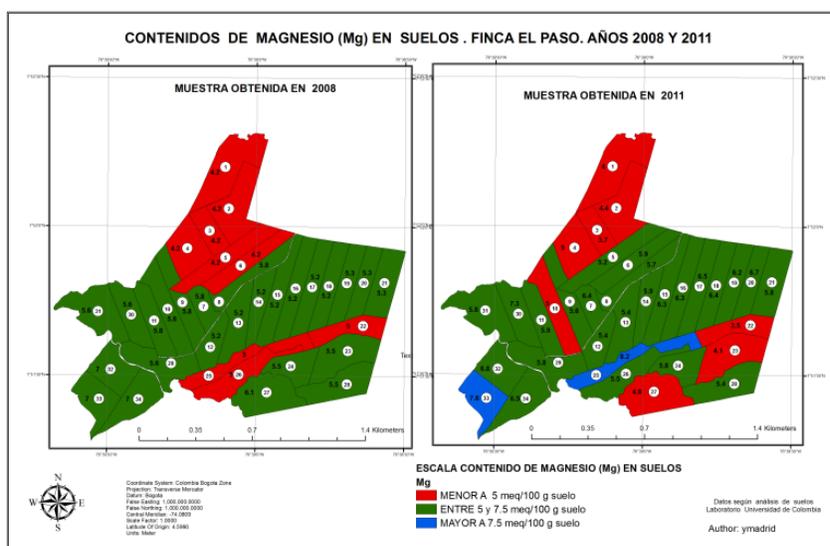


Figura 15 Comportamiento Magnesio (Mg) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.

Para el elemento calcio en ambas tomas de muestra los niveles obtenidos en los lotes de la finca se ubican en el rango de Medios a Altos. Se observa una disminución en los mismos para el año 2011, pues para el año 2008 la mayor parte del área se ubicaba en niveles Altos (Mayor a 15 meq/100 g suelo) y para el 2011 el nivel se encuentra en medios (entre 10 y 15 meq/100 g suelo). (Ver Figura 16).

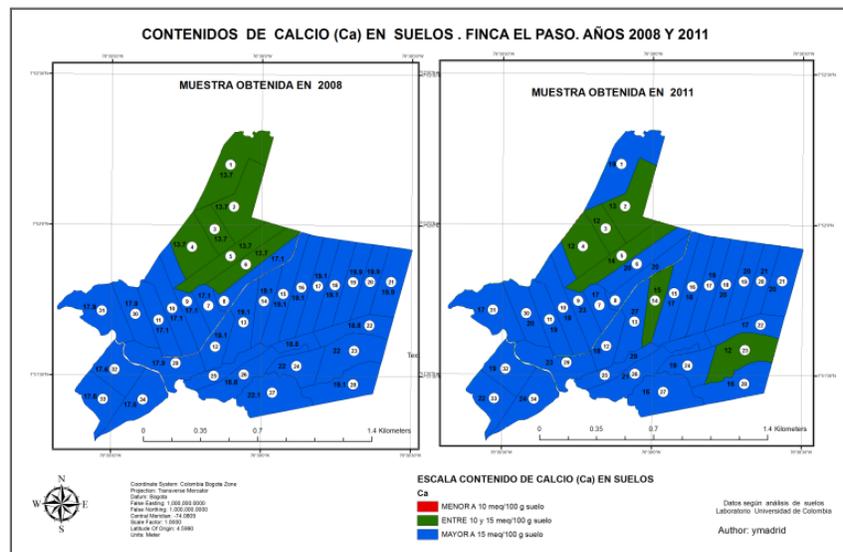


Figura 16 Comportamiento del Calcio (Ca) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.

En el caso del elemento azufre la figura 17 es contundente, dentro de la finca para los años analizados, 2008 y 2011, no existen niveles que superen el nivel de suficiencia del elemento, todos los lotes manifiestan rangos bajos de elemento (menor a 20 ppm).

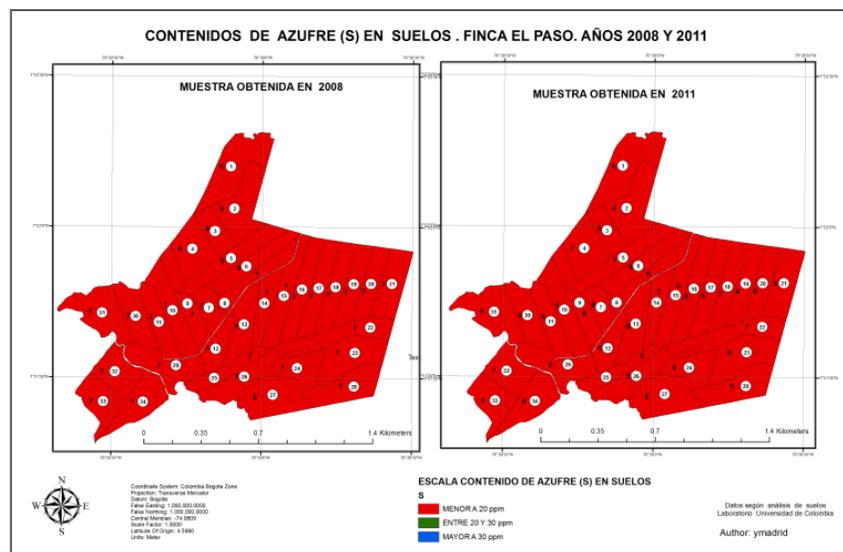


Figura 17 Comportamiento del Azufre (S) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011

Los contenidos de Hierro representados en la Figura 18 nos muestran niveles entre Medios (Entre 100 y 300 ppm) y Bajos (Menores a 0 ppm), que en el caso de este elemento representan la opción adecuada para el cultivo de banano.

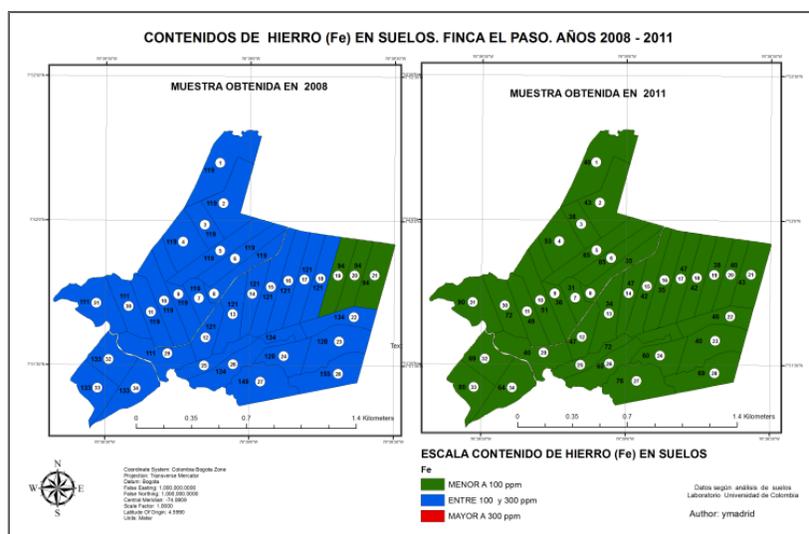


Figura 18 Comportamiento del Hierro (Fe) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.

Situación similar se manifiesta en los contenidos del elemento Cobre cuya condición general muestra niveles Medios (Entre 2 y 6 ppm) a Altos (Mayores a 6 ppm) para el año 2008 y para el año 2011 niveles medios en general. (Ver Figura 19).

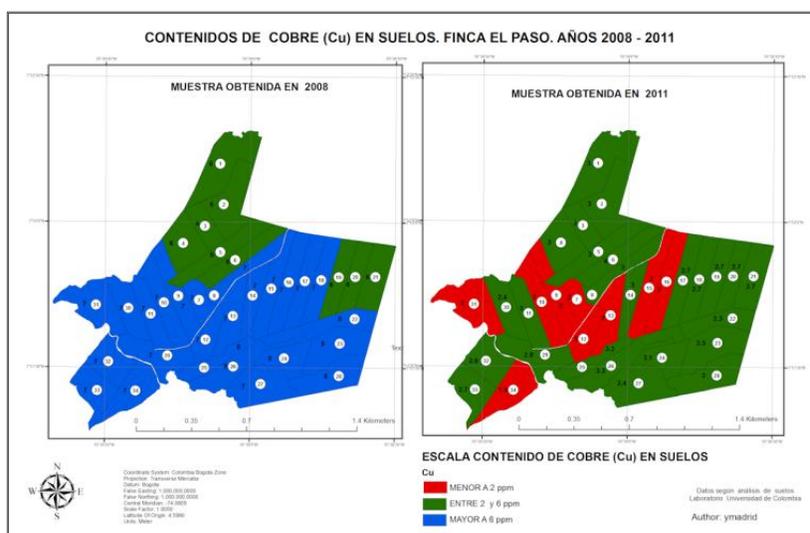


Figura 19. Comportamiento del Cobre (Cu) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.

Para los elementos Zinc, Manganeso y Boro los contenidos del suelo para los años 2008 y 2011 muestran rangos bajos del elemento, que para el elemento Zinc corresponden a rangos menores de 10 ppm, para el elemento Manganeso a 80 ppm y para el elemento Boro son menores a 0.5 ppm. (A excepción del lote 13 en el año 2011 que tiene niveles entre 0.5 y 1.0 ppm) (Ver Figuras 20, 21 y 22).

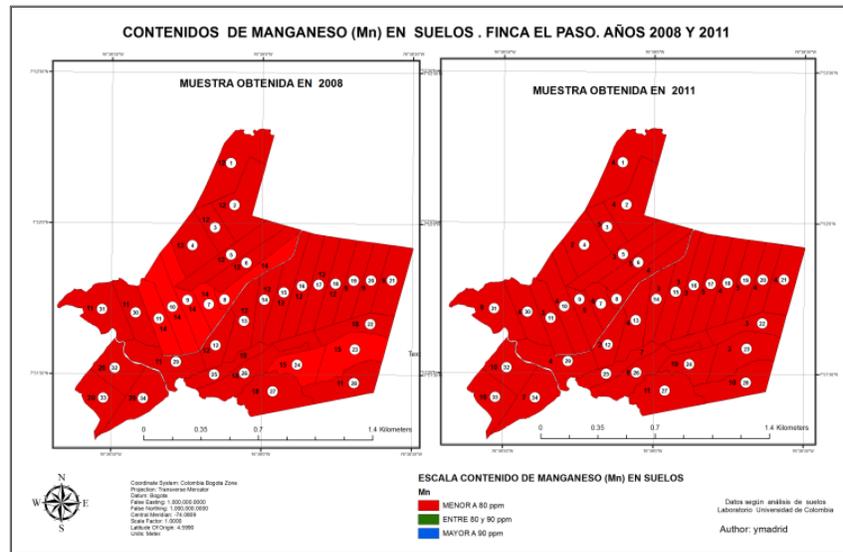


Figura 20. Comportamiento Manganeso (Mn) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.

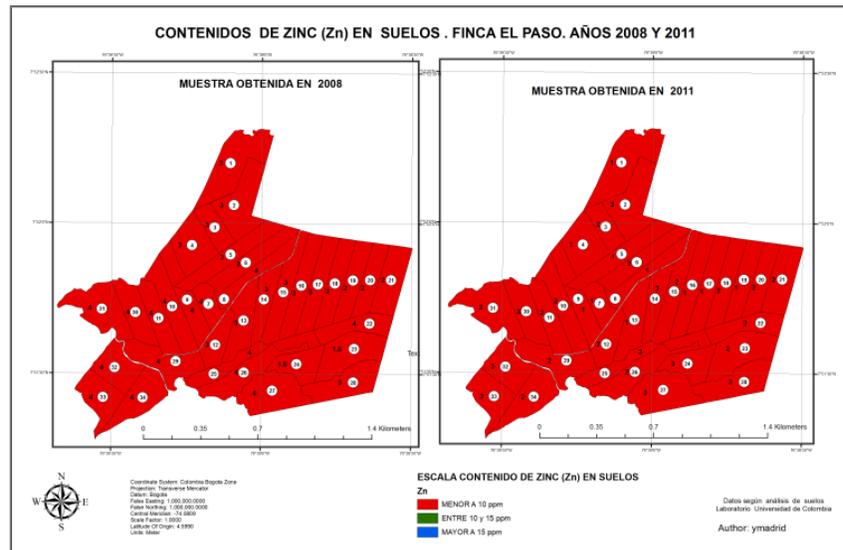


Figura 21. Comportamiento del Zinc (Zn), en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011.

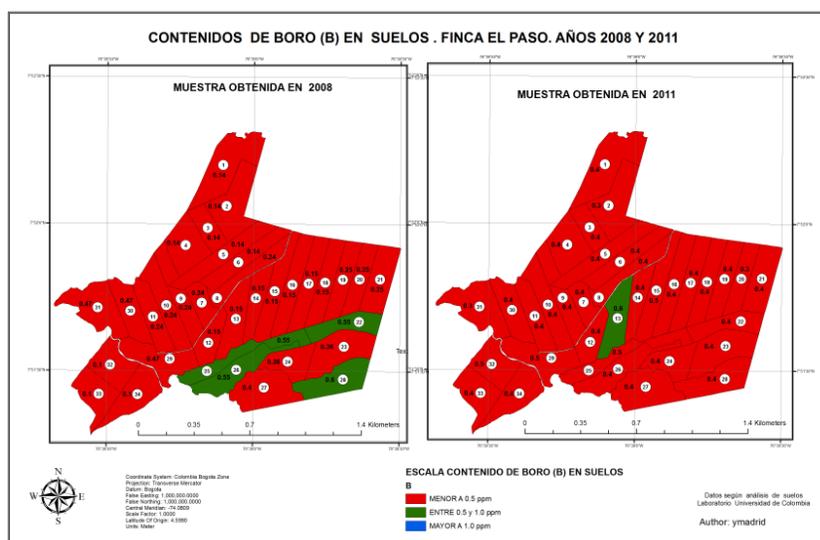
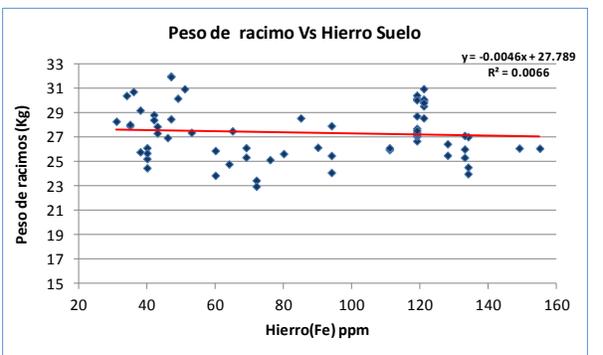
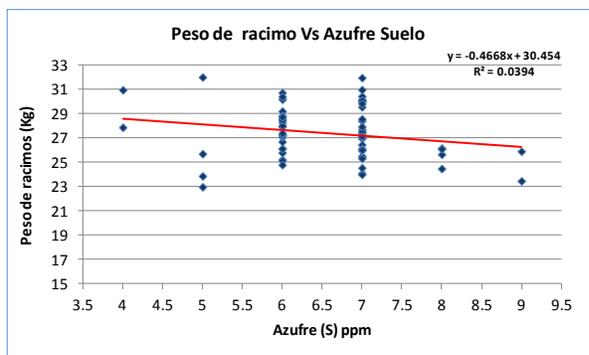
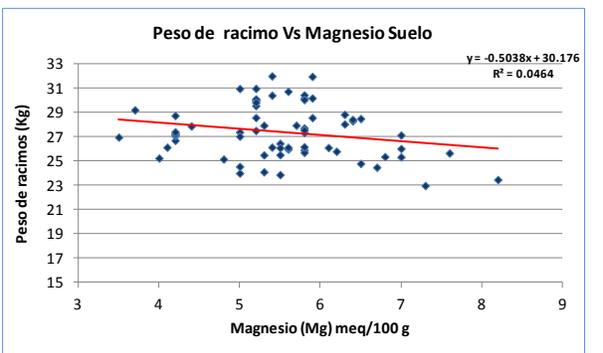
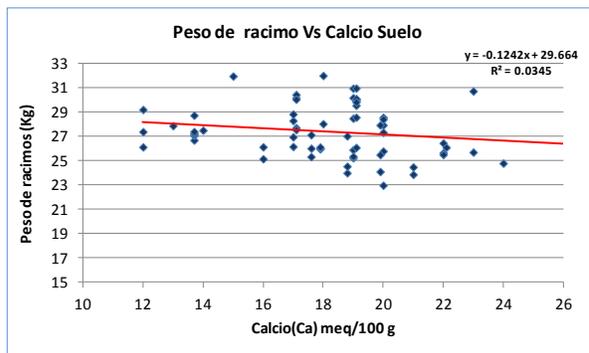
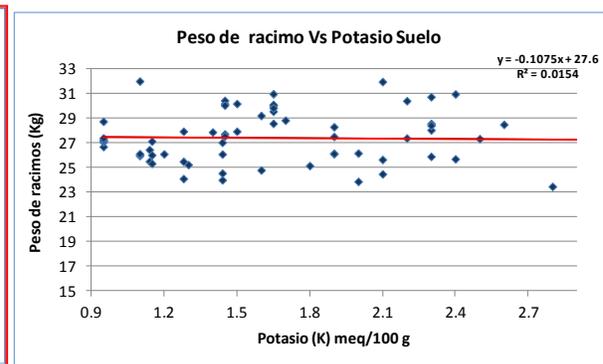
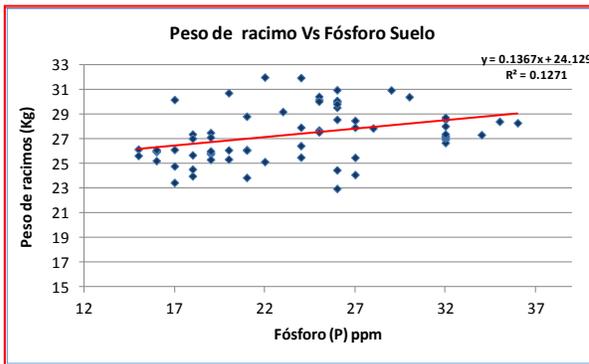
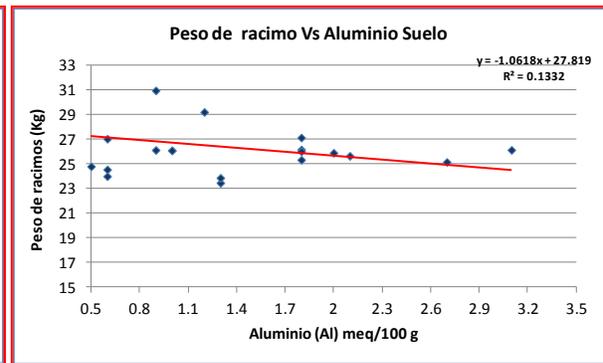
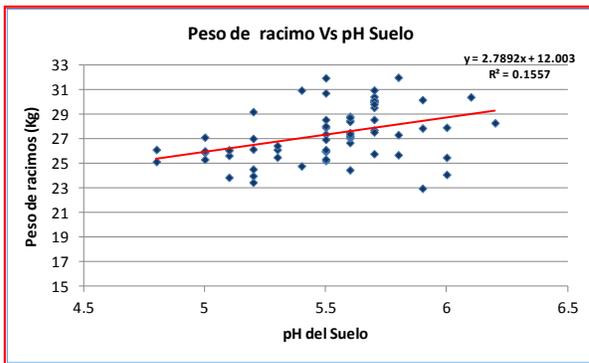


Figura 22. Comportamiento del Boro (B) en el suelo. Análisis realizado para los años 2008 y 2011

4.2. Obtención del conjunto de datos

4.2.1 Análisis de regresión

Se determinó las relaciones simples existentes entre todas las propiedades químicas medidas en cada uno de los lotes bajo estudio con relación al indicador de productividad que fue medido en función del peso de racimo. Estas correlaciones eran positivas, si existía correlación directa o negativa si era inversa. Además estudiando estas verificó como influyen los indicadores determinados sobre la productividad.



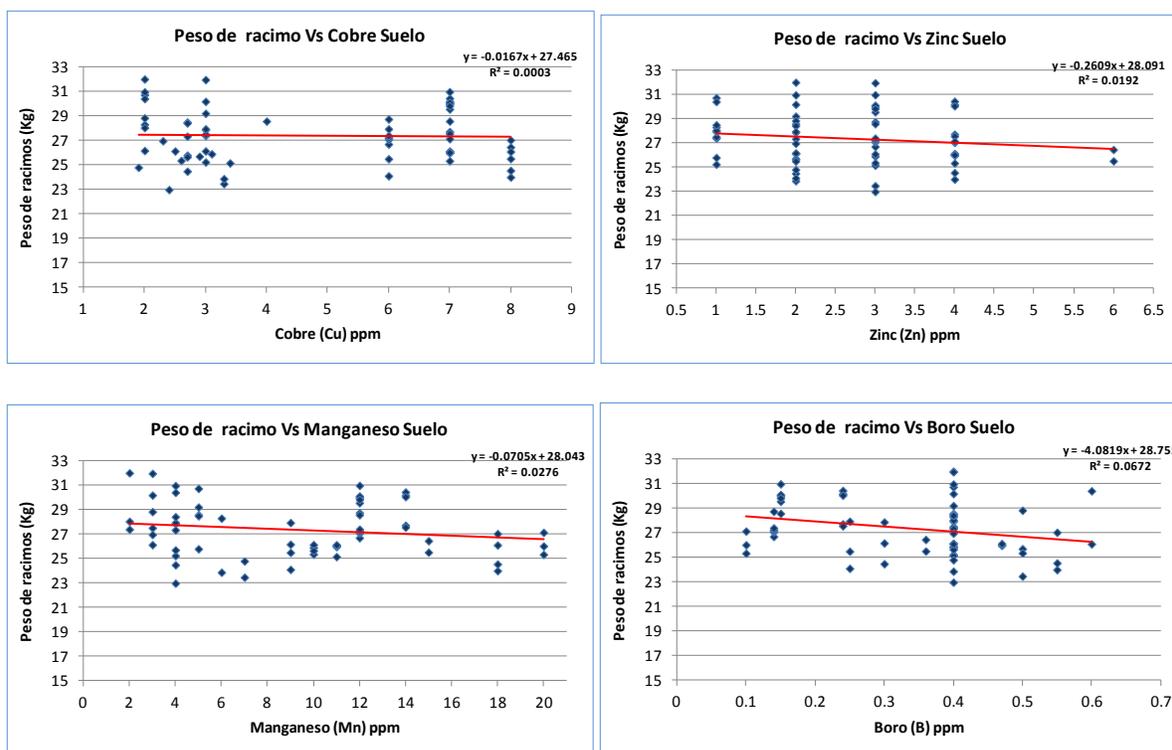


Figura 23. Relaciones simples entre peso de racimo y cada una de las variables químicas.

La relación independiente entre las variables de producción con cada una de las variables de suelo evaluadas es **baja**, lo que indica que el aporte de cada una de éstas a la producción es deficiente.

Para las variables reacción de suelos pH, Aluminio Al y Fósforo P se Observa significancia mayor a otras variables evaluadas.

6.2.2 Análisis de Correlación

Considerando que en la naturaleza normalmente las relaciones entre los procesos se dan entre muchas variables, se evaluó entonces el aporte simultáneo de todas las variables al peso del racimo.

Tabla 13. Correlaciones entre las variables químicas

Variable	pH	MO	Al	Ca	Mg	K	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
pH	1												
MO	-0.177	1											
Al	-0.830	0.090	1										
Ca	0.031	0.209	0.029	1									
Mg	-0.115	0.100	0.221	0.574	1								
K	0.005	-0.038	-0.057	0.103	0.236	1							
P	0.524	-0.108	-0.456	-0.203	-0.304	-0.076	1						
S	-0.280	0.239	0.211	0.245	0.333	0.045	-0.306	1					
Fe	-0.217	0.277	0.079	-0.085	-0.081	-0.204	-0.055	0.390	1				
Mn	-0.372	0.285	0.287	-0.027	0.042	-0.122	-0.158	0.419	0.903	1			
Cu	-0.088	0.208	-0.077	-0.077	-0.161	-0.269	-0.020	0.360	0.938	0.856	1		
Zn	-0.302	0.222	0.122	0.003	0.049	-0.091	-0.142	0.361	0.794	0.804	0.795	1	
B	-0.166	0.077	0.082	0.351	0.173	0.238	-0.384	-0.060	-0.454	-0.411	-0.416	-0.229	1

En general fueron determinadas correlaciones muy bajas entre los diversos indicadores lo que indica que hay independencia entre ellas.

Se determinaron correlaciones positivas entre el Fósforo (P), el pH, el Calcio (Ca), el Magnesio (Mg), el Azufre (s), el Hierro (Fe) el Manganeseo (Mn), el cobre (Cu) y el Zinc (Zn). (Ver Tabla 13).

Destaca que se manifestó una correlación para el elemento Magnesio y para el elemento Calcio y no para otro elemento como Potasio usualmente reportados en la literatura como la triada de cationes, más aun cuando estos elementos deben guarda una relación de equilibrio para facilitar su asimilación por el cultivo y evitar desbalances en el suelo.

Un resultado interesante es la correlación negativa entre el elemento Fósforo y todos los elementos a excepción del pH.

6.2.3 Análisis en componentes principales

Basados en las regresiones lineales paso a paso se seleccionaron las variables más significativas utilizando el indicador de productividad en función del peso de racimo.

Mediante un análisis en componentes principales se pudo estudiar la primera selección (Ver Tabla 12).

Fueron encontradas relaciones entre PH, Fosforo P, calcio Ca, magnesio Mg; Azufre S, manganeso Mn, Hierro Fe, Cobre Cu y Zinc Zn.

Tabla 14. Análisis componentes principales entre las variables químicas.

Variable	pH	MO	Al	Ca	Mg	K	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
pH	1												
MO	-0.177	1											
Al	-0.830	0.090	1										
Ca	0.031	0.209	0.029	1									
Mg	-0.115	0.100	0.221	0.574	1								
K	0.005	-0.038	-0.057	0.103	0.236	1							
P	0.524	-0.108	-0.456	-0.203	-0.304	-0.076	1						
S	-0.280	0.239	0.211	0.245	0.333	0.045	-0.306	1					
Fe	-0.217	0.277	0.079	-0.085	-0.081	-0.204	-0.055	0.390	1				
Mn	-0.372	0.285	0.287	-0.027	0.042	-0.122	-0.158	0.419	0.903	1			
Cu	-0.088	0.208	-0.077	-0.077	-0.161	-0.269	-0.020	0.360	0.938	0.856	1		
Zn	-0.302	0.222	0.122	0.003	0.049	-0.091	-0.142	0.361	0.794	0.804	0.795	1	
B	-0.166	0.077	0.082	0.351	0.173	0.238	-0.384	-0.060	-0.454	-0.411	-0.416	-0.229	1

El círculo sugiere que hay un grupo de indicadores que influyen más tanto positiva como negativamente en el peso de racimo (Ver figura 24). Para establecer esto numéricamente se calcularon los coseno de los ángulos de los

vectores que definían a cada indicador con relación a las dos primeras componentes principales que en conjunto explicaron el 53.9 % de la variabilidad total.

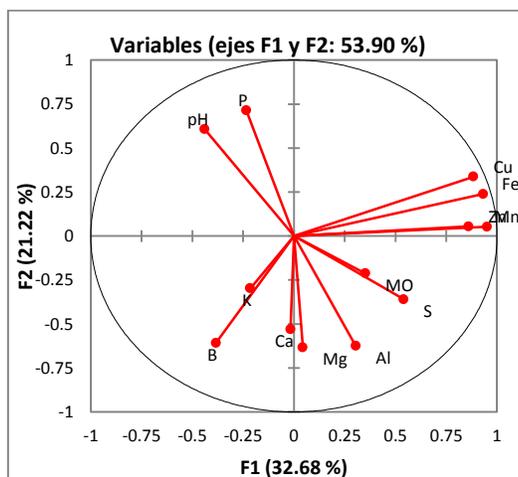


Figura 24. Círculo de las correlaciones.

Tabla 15. Cosenos cuadrados de las variables químicas

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13
pH	0.193	0.369	0.330	0.000	0.002	0.010	0.005	0.024	0.000	0.004	0.061	0.001	0.000
MO	0.124	0.045	0.062	0.368	0.117	0.257	0.002	0.023	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
Al	0.093	0.390	0.339	0.001	0.047	0.048	0.020	0.010	0.005	0.004	0.037	0.005	0.001
Ca	0.000	0.280	0.421	0.040	0.049	0.013	0.057	0.038	0.094	0.008	0.000	0.000	0.000
Mg	0.002	0.401	0.229	0.047	0.137	0.013	0.029	0.048	0.080	0.010	0.003	0.000	0.000
K	0.046	0.088	0.066	0.416	0.309	0.055	0.003	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000
P	0.055	0.510	0.033	0.000	0.010	0.149	0.035	0.183	0.020	0.005	0.000	0.000	0.000
S	0.293	0.129	0.081	0.018	0.022	0.005	0.399	0.050	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000
Fe	0.869	0.057	0.007	0.000	0.003	0.002	0.002	0.000	0.004	0.020	0.004	0.023	0.008
Mn	0.905	0.003	0.000	0.009	0.001	0.001	0.018	0.000	0.006	0.015	0.005	0.034	0.003
Cu	0.782	0.114	0.021	0.001	0.005	0.042	0.000	0.000	0.002	0.010	0.002	0.000	0.021
Zn	0.740	0.003	0.010	0.008	0.023	0.030	0.039	0.006	0.059	0.075	0.008	0.000	0.000
B	0.147	0.369	0.004	0.062	0.165	0.138	0.001	0.049	0.032	0.030	0.002	0.000	0.000

Los valores en negrita corresponden para cada variable al factor para lo cual el coseno cuadrado es el mayor

Nuevamente se identifican las variables señaladas en el análisis de componentes principales, fueron encontradas relaciones entre pH, Fosforo P, Calcio Ca, Magnesio Mg; Azufre S, Manganese Mn, Hierro Fe, Cobre Cu y Zinc Zn.

4.3. Espacialización de variables de niveles elementos químicos en suelo y peso de racimo.

Con el fin de diagramar las variables de niveles críticos de elementos químicos en suelos y la variable de producción en función del peso de racimo, se realizó el siguiente procedimiento: Se transformó para cada variable, los polígonos realizados a Raster, utilizando un Cellsize de 7. Fueron reclasificados los raster de acuerdo a los rangos establecidos para cada elemento (Bajo, Medio y Alto) e igualmente se realizó reclasificación para los rasters de la variable peso de racimo, en los siguientes rangos: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto Muy Alto. En el caso de los pesos de racimo, algunos de los rangos establecidos no fueron diagramados al no contar en la finca con los niveles de productividad propuestos.

Posteriormente fueron combinados los raster reclasificados de cada elemento y los raster de peso de racimo con la herramienta Combine (Toolboxes\System Toolboxes\Spatial Analyst Tools.tbx\Local\Combine), creando de esta manera una nuevas clasificaciones resultantes de la combinación. (Ver Tabla 16).

Tabla 16. Tabla resultante de combinación de niveles críticos de elementos químicos en suelos y variable de productividad en función del peso de racimo.

COLOR	ELEMENTOS	PESO
	Bajo	Muy Bajo
	Bajo	Bajo
	Bajo	Medio
	Bajo	Alto
	Bajo	Muy Alto
	Medio	Muy Bajo
	Medio	Bajo
	Medio	Medio
	Medio	Alto
	Medio	Muy Alto
	Alto	Muy Bajo
	Alto	Bajo
	Alto	Medio
	Alto	Alto
	Alto	Muy Alto

De acuerdo a la información tabulada se observa en la **Figura 25** la combinación realizada entre peso de racimo y el pH del suelo. El nivel medio que para este caso es el adecuado para el cultivo fue quien tuvo una mayor participación en el área de la finca, caso reportado en el 2008, sin embargo esta condición no podría expresarse es diferencial para el peso de racimo, pues es observable que se reportan con la misma condición pesos Bajos, medios y altos. (Ver Tabla 17).

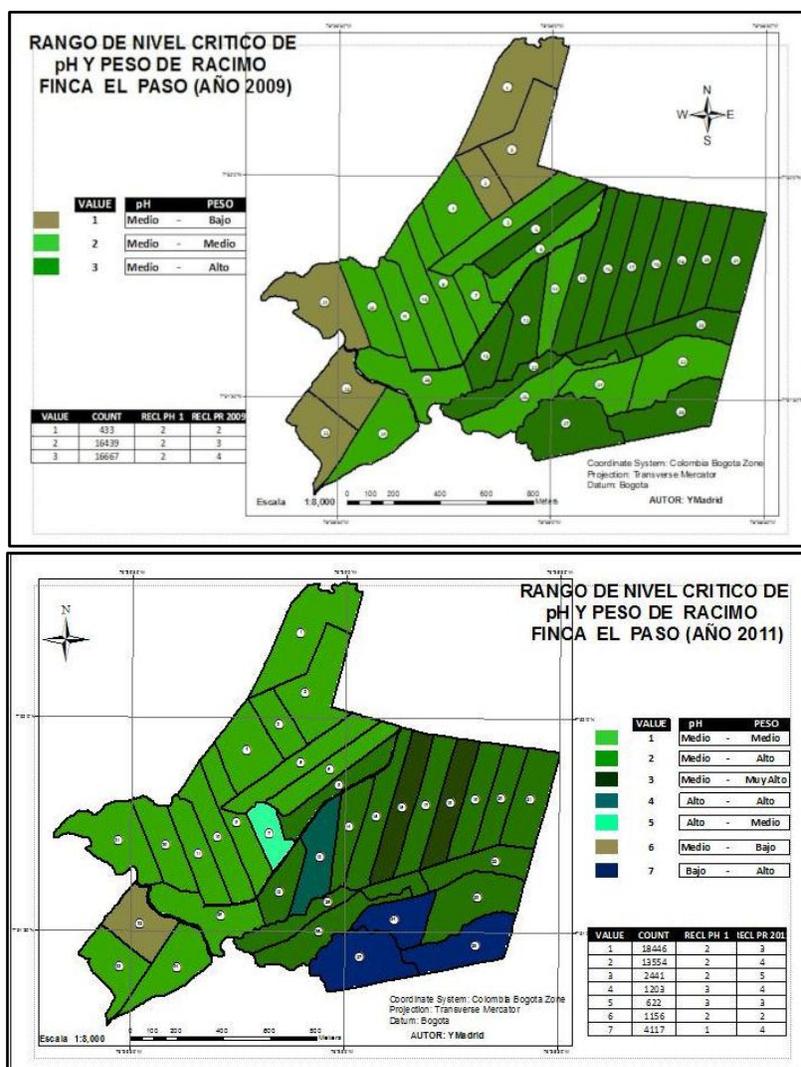


Figura 25. Combinación Nivel crítico de pH y Peso de Racimo

Tabla 17. Resumen comportamiento pH y Pesos de racimo

pH	Reacción del suelo	Pesos racimo 2009	Pesos racimo 2010
BAJO	< 5.0		Alto
MEDIO	5.0 – 6.0	Bajos Medios Altos	Bajos Altos Muy Altos
ALTO	> 6.0		Medios Altos

Para el nivel de pH Alto (Mayor a 6.0) se reportan pesos entre Altos y Muy Altos, condición que si es diferenciadora en la finca, lo que podría concluir que en el caso del pH para la finca El Paso la condición de pH debería mantenerse en niveles altos para alcanzar mayor productividad.

En la Figura 26 se representa espacialmente la combinación de la relación de niveles de Aluminio y peso de racimo.

Es importante nuevamente recalcar que en el caso de este elemento la escala de rangos se invirtió, es decir, los niveles donde se presenta el elemento menor a 0.1 meq/100 g suelo, son los Adecuados, en el grafico son representados como niveles medios. Cuando hay más presencia del elemento (Mayores a 0.5 meq/100 g suelo) se denotan como niveles Altos y niveles entre 0.1 y 0.5 se denotan como Bajos.

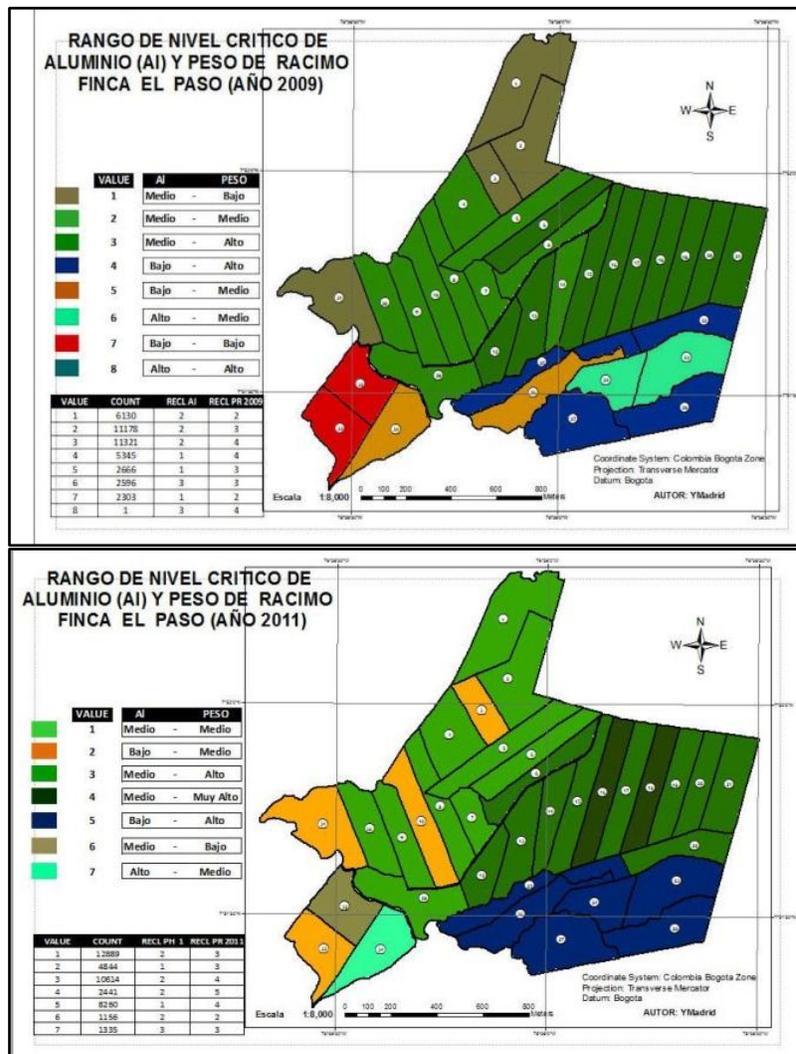


Figura 26 Combinación Nivel crítico de Aluminio (AI) y Peso de Racimo

En los casos en donde el aluminio se encontraba en el nivel medio (Menor a 0.1 meq/100g suelo) los pesos de racimo se asocian a rangos de: Bajo, Medio, Alto en 2008 y se incluye en 2011 el nivel Muy Alto en Peso de racimo.

Donde el Aluminio se encontraba en el nivel alto (entre 0.1 y 0.5 meq/100 g suelo) el peso de racimo tuvo rangos entre Altos y medios en 2008 (Ver Tabla 18) y sólo Medios en 2011.

Tabla 18. Resumen comportamiento Aluminio y Peso racimo

AI	AI (meq/100 g)	Pesos racimo 2008	Pesos racimo 2010
MEDIO	< 0.1	Bajos Medios Altos	Bajos Medio Alto Muy altos
ALTO	0.10 – 0.5	Bajos Medios Altos	Medio Altos
BAJO	> 0.5	Medios Altos	Medios

Y para los lotes en los que el rango de aluminio estaba en nivel bajo (Mayor a 0.5 meq/100g suelo) tuvieron niveles de peso de racimo de Medio, Alto en 2008 y para el 2011 Nivel Medio.

Para el elemento Fosforo y su combinación con el peso de racimo, sólo pudieron ser representados espacialmente dos niveles de fosforo, el nivel Medio que equivale a niveles del elemento entre 10 y 25 meq/100 g suelo y el nivel Alto que equivale a niveles del elemento mayores a 25 meq/ 100 g de suelo. No fue reportados niveles bajos del elemento por el laboratorio. (Ver Figura 27).

Para el nivel Medio de Fosforo el suelo la variable peso de racimo corresponde a niveles Bajos, Medios y Altos en los años 2008 y 2011. Mientras que para los niveles de fosforo altos los niveles de Peso de racimo corresponde a Medios, altos en 2008 y se incluye el nivel de peso de racimo, Muy altos en el año 2011. (Ver Tabla 19).

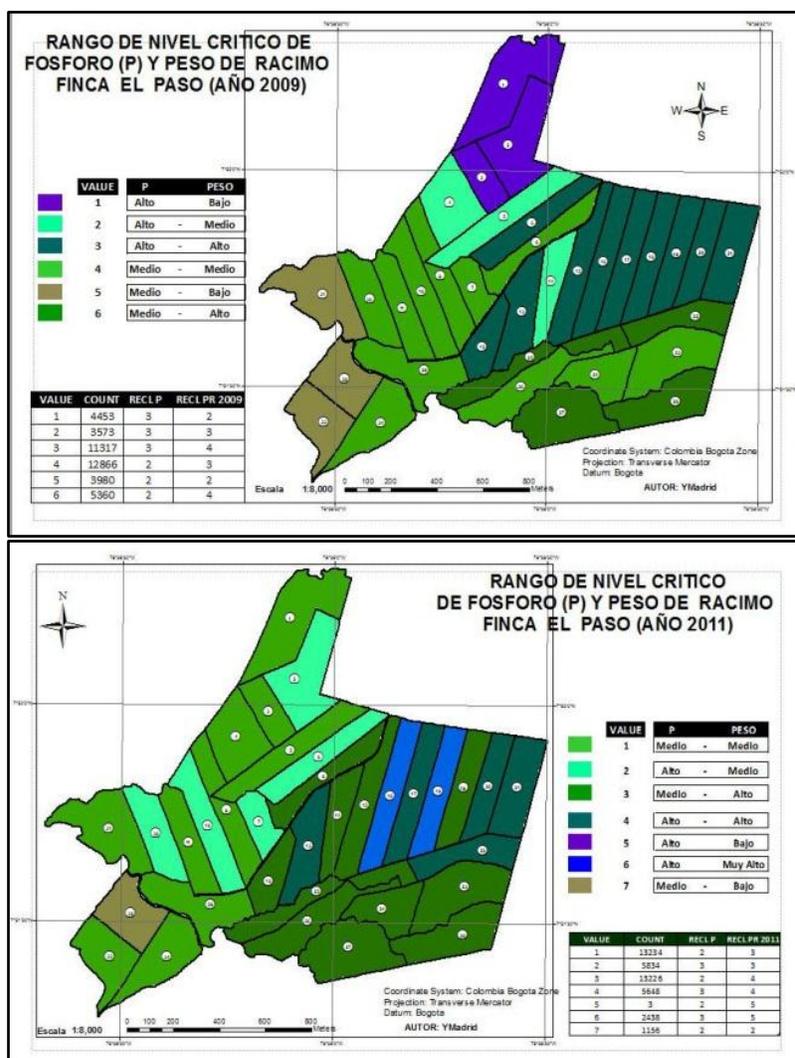


Figura 27 Combinación Nivel crítico de Fosforo (P) y Peso de Racimo.

Tabla 19. Tabla resumen comportamiento Fósforo P y Peso racimo

Fosforo	P (ppm)	Pesos racimo 2008	Pesos racimo 2010
BAJO	< 10		
MEDIO	10-25	Bajos Medios Altos	Bajos Medios Altos
ALTO	> 25	Bajos Medios Altos	Bajos Medios Altos Muy Altos

La representación espacial entre las variables de niveles críticos del elemento Potasio y la variable de Peso de racimo nos muestran una mayor influencia del elemento en cuanto a los niveles de productividad de la finca. Para la muestra del año 2008, la productividad representada asocia niveles Bajos del elemento con resultados de peso de racimo en: Bajos, Medios y Altos. Esta situación no se presenta en el año 2011 donde no hay resultados bajos de contenido de Potasio. (Ver Figura 28).

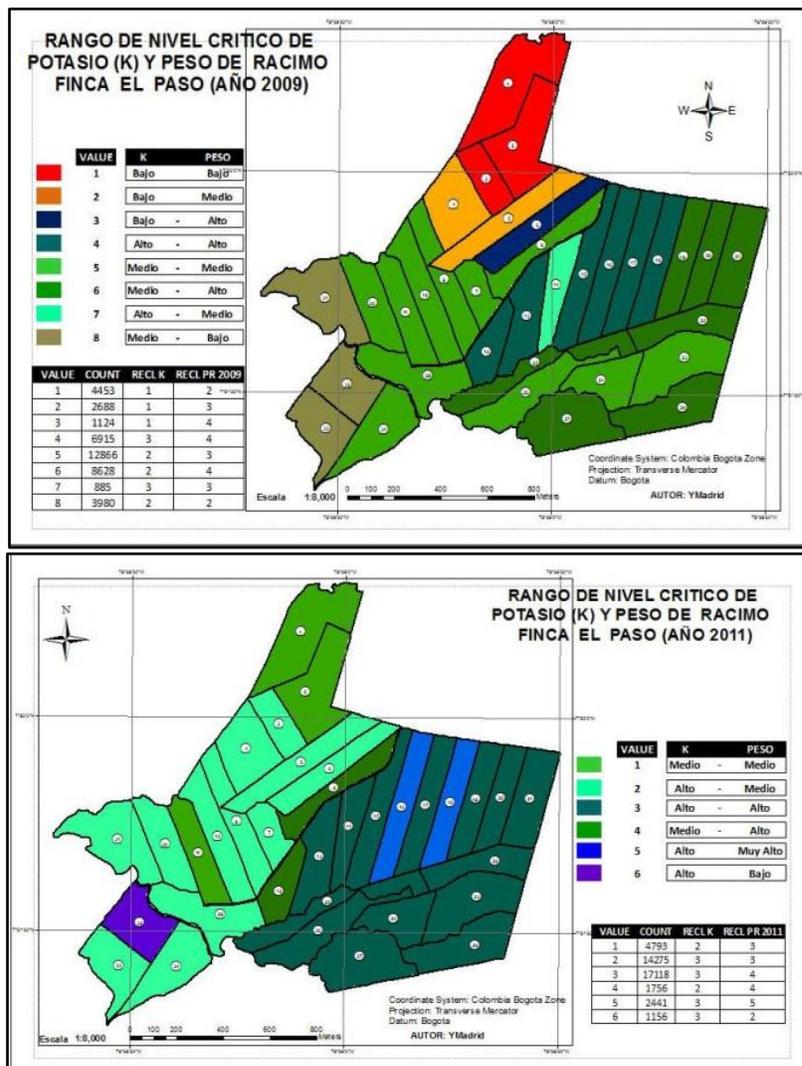


Figura 28 Combinación Nivel crítico de Potasio (P) y Peso de Racimo.

En nivel medio de contenido de potasio con Niveles Bajo, Medio y alto de Peso de racimo, en 2008 y para el año 2011 la condición de los niveles Medios del elemento Potasio en suelo nos muestran un asocio con pesos de racimo entre Medios y altos, lo que da a considerar que es efectivo el nivel crítico seleccionado para el elemento Y para Niveles altos del elemento en el suelo, con pesos de racimos entre medios y altos en 2008 y para el 2011 en niveles Bajo, medio, Alto y muy alto de peso de racimo.

Tabla 20. Tabla resumen comportamiento Potasio K y Peso racimo

Potasio	K (meq/100 g)	Pesos racimo 2008	Pesos racimo 2010
BAJO	< 1.0	Bajos Medios Altos	
MEDIO	1.0 – 1.5	Bajos Medios Altos	Medios Altos
ALTO	> 1.5	Medios Altos	Bajos Medios Altos Muy Altos

Para el elemento calcio combinado espacialmente con el peso de racimo (Ver Figura 29) no se es muy consistente en los resultados para elegir los niveles críticos de este elemento como correctos, pues en el caso de los niveles críticos del elemento en rango medio (Entre 0 y 15 meq/ 100 g suelo), se asocian a niveles de peso de racimo bastante oscilativos de :bajos, Medios y altos, mientras que de igual manera el rango alto del elemento (Mayor a 15 meq/100 g suelo) representa niveles de peso de racimo: Bajos, Medio; altos y muy altos (Ver Tabla 21).

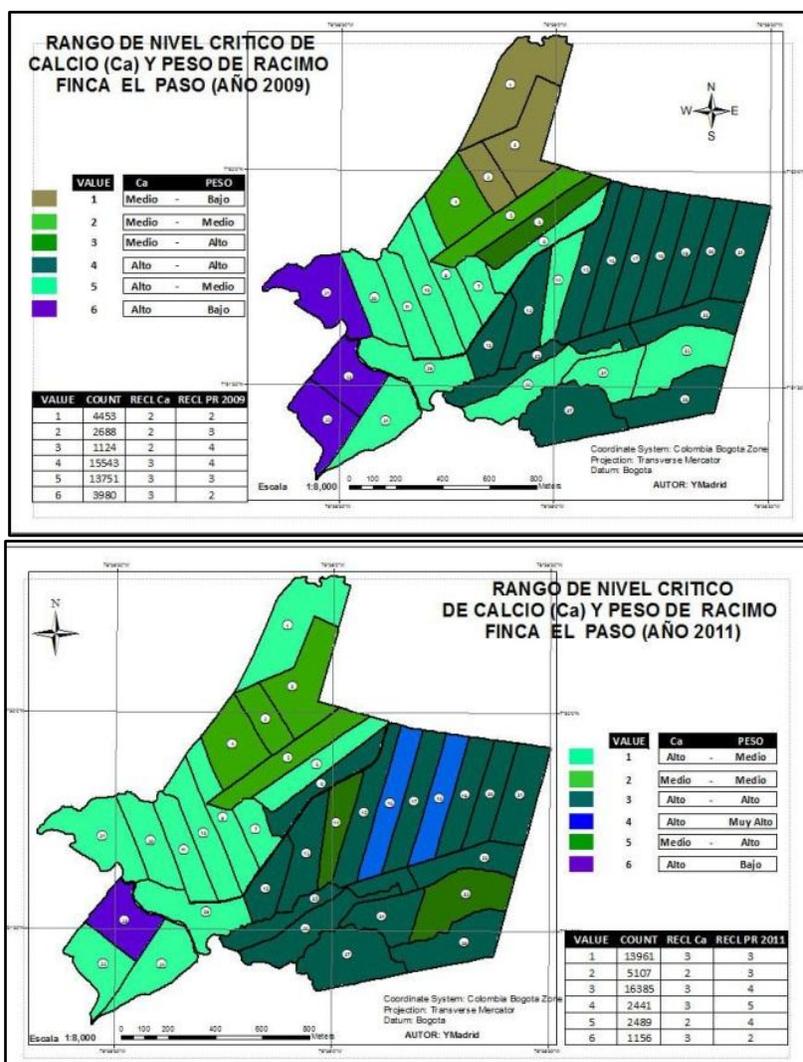


Figura 29 Combinación Nivel crítico de Calcio (Ca) y Peso de Racimo

Tabla 21. Resumen comportamiento Calcio Ca y Peso racimo.

Calcio	Ca (meq/100 g)	Pesos racimo 2008	Pesos racimo 2010
BAJO	< 10		
MEDIO	10 – 15	Bajos Medios Altos	Medios Altos
ALTO	> 15	Bajos Medios Altos	Bajos Medios Altos Muy Altos

El magnesio y el peso de racimo representados en la Figura 30 muestran un comportamiento similar al anterior elemento analizado (Calcio) pues no es visible la diferencia en cuanto los niveles Bajos, Medio y Altos de elemento.

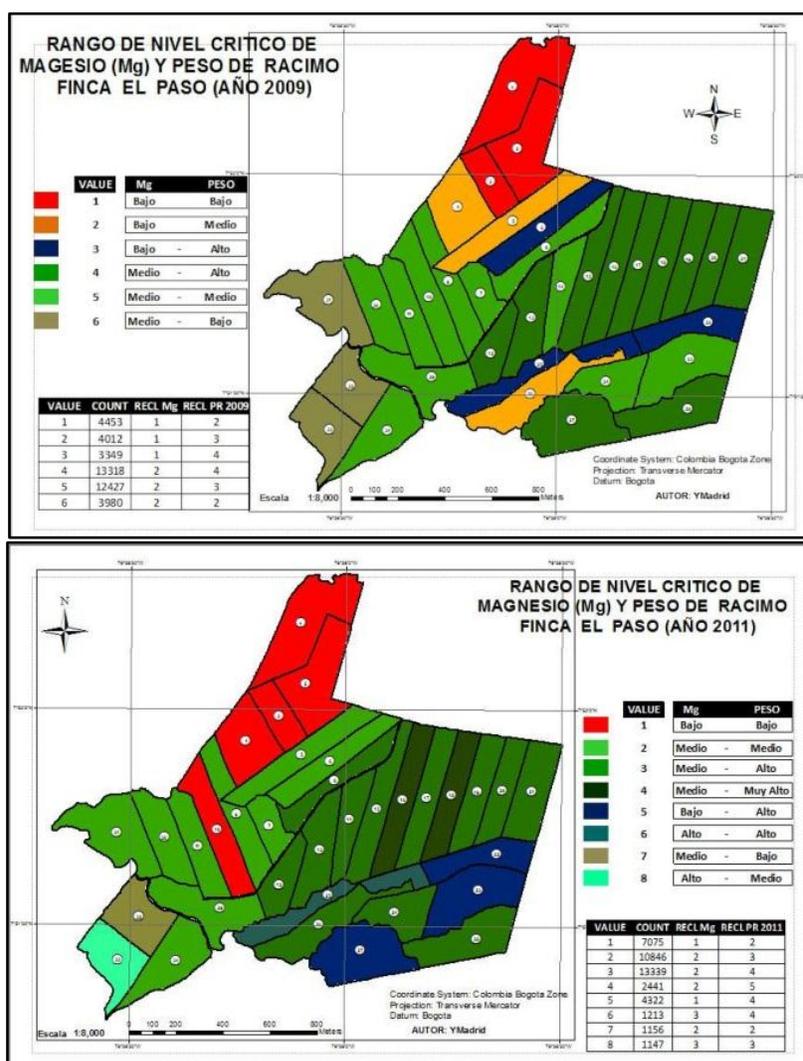


Figura 30 Combinación Nivel crítico de Magnesio (Mg) y Peso de Racimo.

En el caso del nivel Bajo del elemento (Menor a 5 meq/ 100 g suelo), se asocia a niveles Bajo, Medio y Alto de peso de racimo, para los años analizados (Ver Tabla 22).

Tabla 22. Resumen comportamiento Magnesio Mg y Peso racimo

Magnesio	Mg (meq/100 g)	Pesos racimo 2008	Pesos racimo 2010
BAJO	< 5.0	Bajos Medios Altos	Bajo Alto
MEDIO	5.0 - 7.5	Bajos Medio Altos	Bajo Medio Alto Muy alto
ALTO	> 7.5		Medio Alto

Para Niveles medios del elemento (entre 5 y 7.5 meq/100 g suelo), los resultados de peso de racimo muestran igualmente Niveles Bajo, medio, y muy alto.

Y para los niveles altos del elemento en el año 2011 el peso de racimo se asocia a Niveles medios y altos.

Para el elemento Azufre S al igual que otros elementos que posteriormente van a ser analizados, sólo se encontraron niveles bajos en el suelo de acuerdo al nivel crítico (Menor a 20 ppm), por lo cual las combinaciones del elemento con el peso del racimo nos muestran que no es posible analizar la influencia del mismo, son observables de esta manera niveles de peso de racimo de Bajos, medios, altos y Muy altos (Ver Tabla 23).

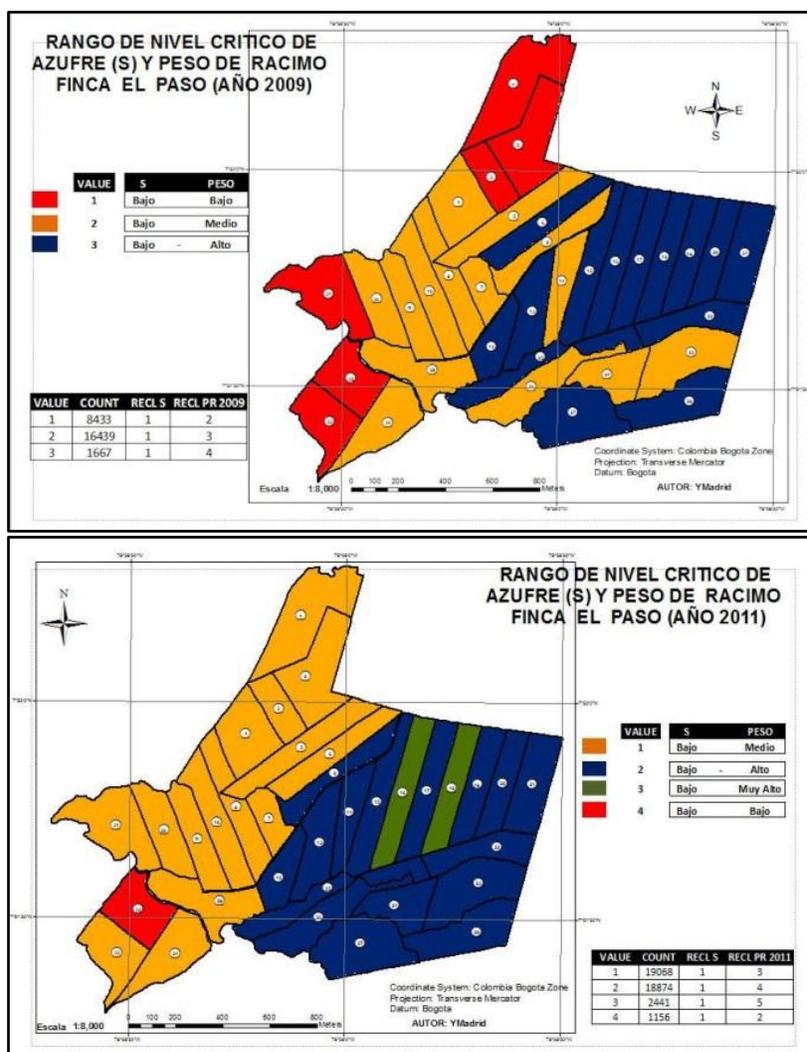


Figura 31 Combinación Nivel crítico de Azufre (S) y Peso de Racimo

Tabla 23. Tabla resumen comportamiento Azufre S y Peso racimo

Azufre	S (ppm)	Pesos racimo 2008	Pesos racimo 2010
BAJO	<20	Bajos Medios Altos	Bajo Medio Alto Muy alto
MEDIO	20 - 30		
ALTO	>30		

El elemento Hierro y el peso de racimo, representados en la Figura 32, muestran poca influencia en el peso de racimo al tener rangos del peso ente Muy bajos, Medio, Bajos, altos muy altos. (Ver Tabla 24).

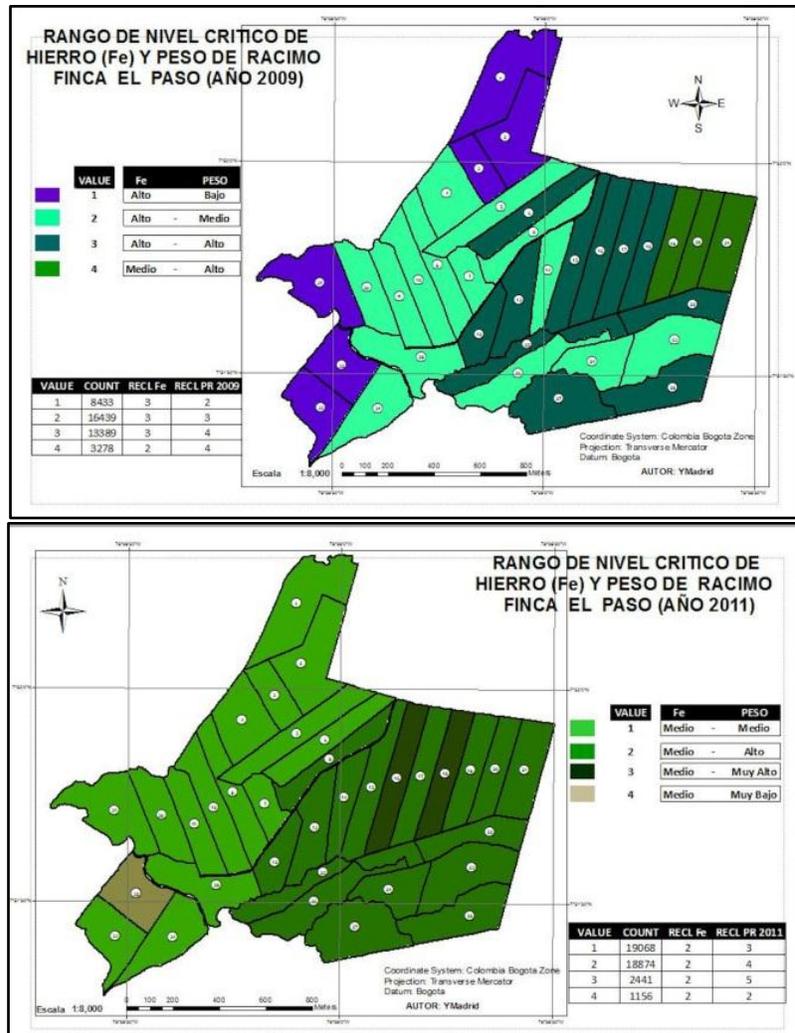


Figura 32 Combinación Nivel crítico de Hierro (Fe) y Peso de Racimo.

Tabla 24. Resumen comportamiento Hierro Fe y Peso racimo

Hierro	Fe(ppm)	Pesos racimo 2008	Pesos racimo 2010
BAJO	<100		Bajo Medio Alto Muy alto
MEDIO	100-300	Alto	Bajo Medio Alto Muy alto
ALTO	>300	Bajo Medio Alto	

Es importante mencionar que los niveles críticos de estos elemento son bastante amplios en sus rangos lo que efectivamente podría presentar inconsistencias en el tema. (Ver Tabla 1).

Al igual que otros elementos mencionados, la representación de la Figura 33 correspondiente al nivel crítico de Cobre y la combinación de peso de racimo, muestra resultados en lo que no se observa consistencia con los niveles críticos del elemento cobre y su resultado en producción.

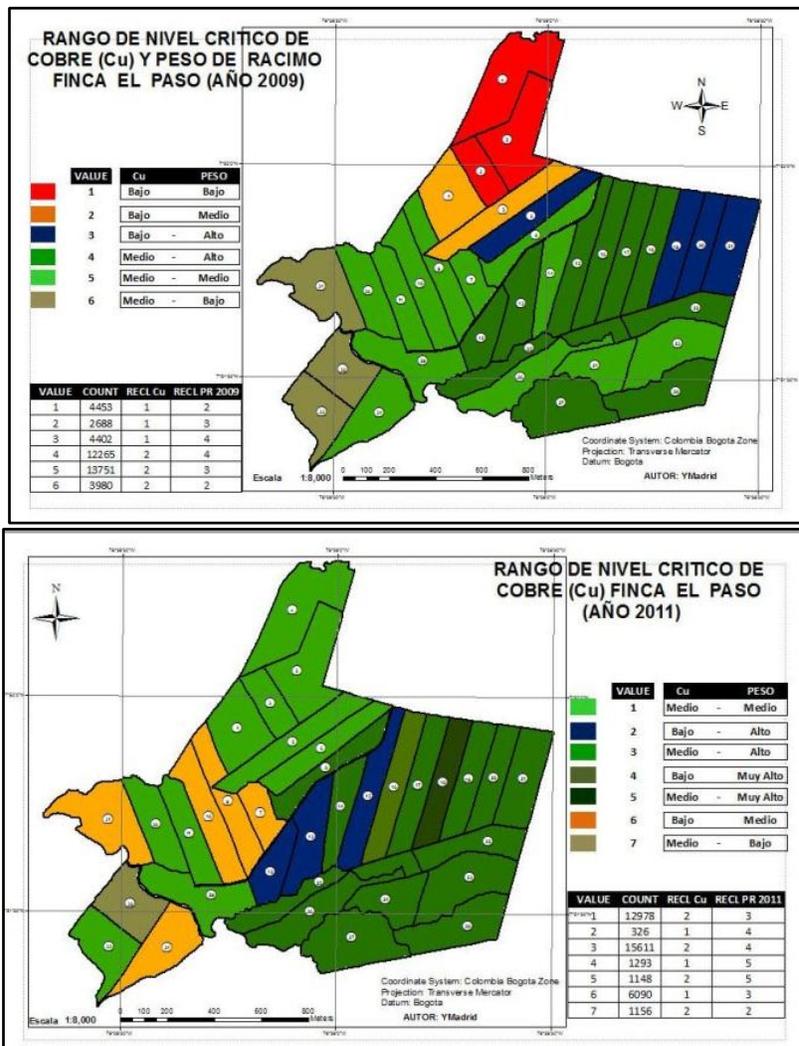


Figura 33 Combinación Nivel crítico de Cobre (Cu) y Peso de Racimo.

La representación denota rangos bajos de Cobre y niveles de peso racimo en Bajos, Medios, altos y Muy Altos (Ver Tabla 25).

Tabla 25. Resumen comportamiento Cobre Cu y Peso racimo

Cobre	Cu(ppm)	Pesos racimo 2008	Pesos racimo 2010
BAJO	<2	Bajo Medio Alto	Medio Alto Muy alto
MEDIO	02-06	Bajo Medio Alto	Bajo Medio Alto Muy alto
ALTO	>6		

Y para niveles medio de Cobre denota niveles Bajos, medios, Altos y Muy altos.

Falta la representación del nivel alto en el suelo, condición que no fue encontrada en la finca.

Al igual que el elemento Azufre (Ver Figura 31), para el Zinc (Ver Figura 34), el Manganeso (Ver Figura 35) solo fue encontrados rangos bajos de los elementos en el suelo (Menos a 10 ppm, Menos de 80 ppm y Menos de 0.5 ppm, respectivamente), lo que efectivamente no permite realizar un comparativo entre el elemento y peso de racimo.

Los resúmenes de cada resultado pueden observarse en la Tabla 26 para el elemento Zinc y Tabla 27 para el Manganeso.

Es importante mencionar que en el caso del elemento Manganeso, los niveles de contenidos en el suelo son bajos en el resultado de laboratorio (menores a 10 ppm) y el rango del nivel crítico denota hasta 80 ppm para estar en el rango de nivel Bajo.

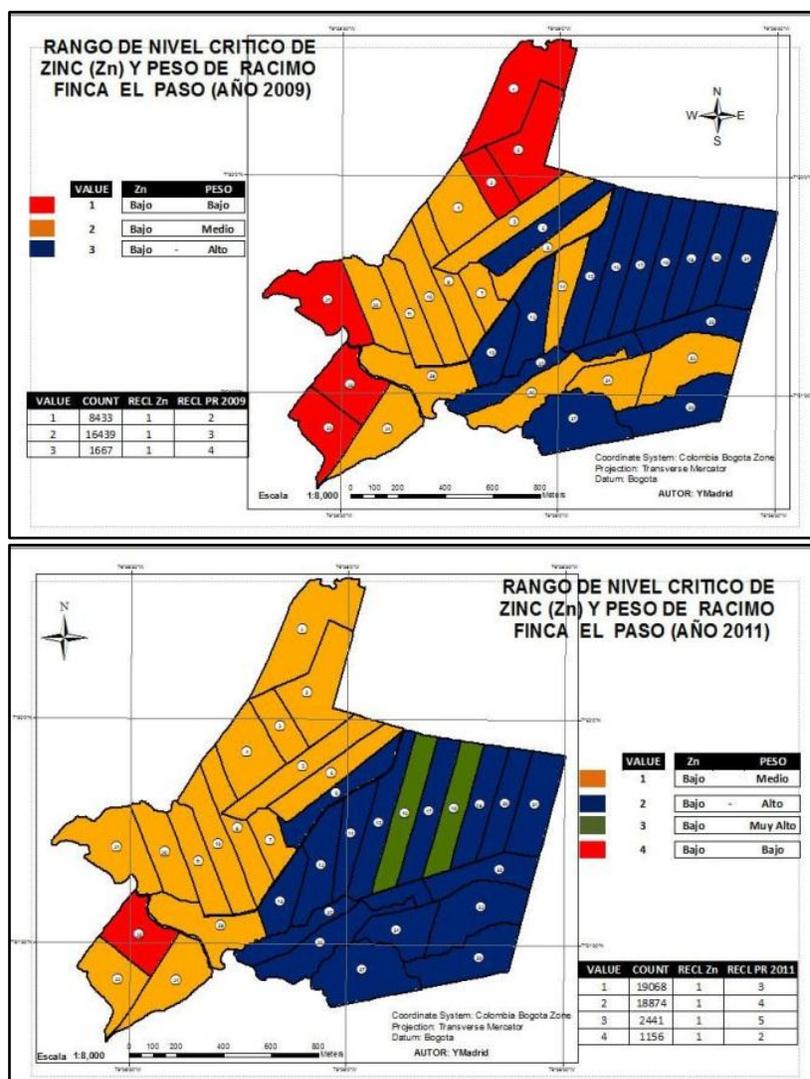


Figura 34 Combinación Nivel crítico de Zinc (Zn) y Peso de Racimo.

Tabla 26. Resumen comportamiento Zinc Zn y Peso racimo.

Zinc	Zn(ppm)	Pesos racimo 2008	Pesos racimo 2010
BAJO	<10	Bajo Medio Alto	Bajo Medio Alto Muy alto
MEDIO	10 - 15		
ALTO	>15		

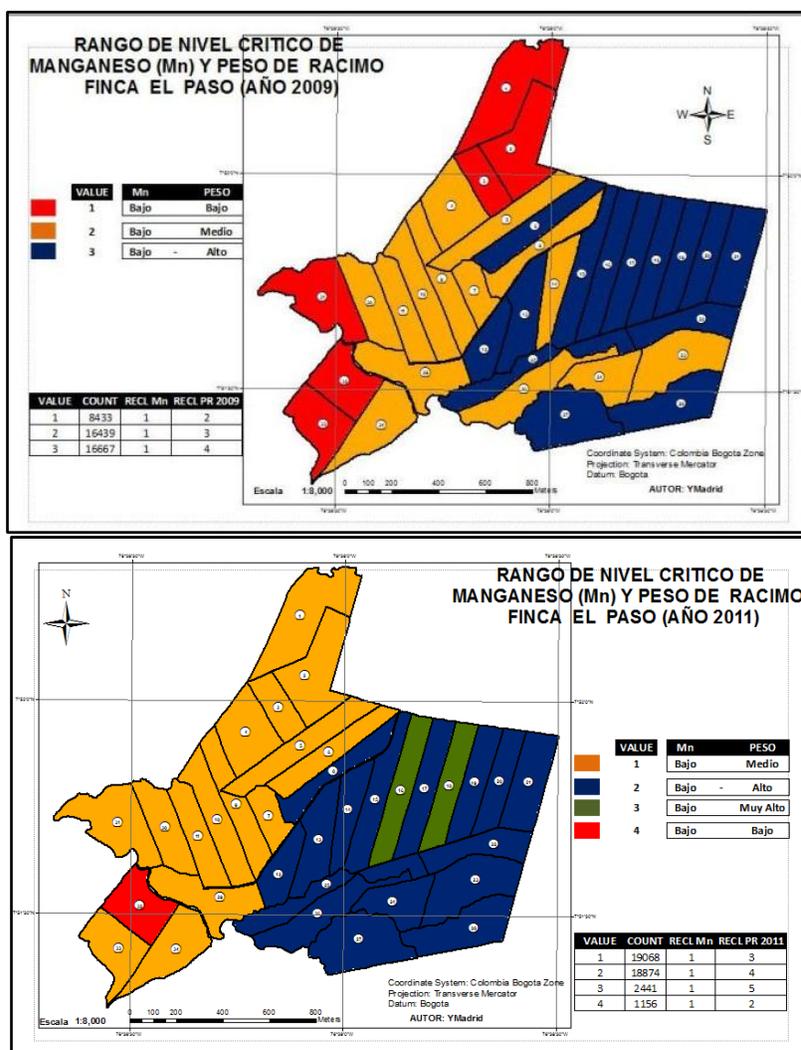


Figura 35 Combinación Nivel crítico de Manganeso (Mn) y Peso de Racimo.

Tabla 27. Resumen comportamiento Manganeso Mn y Peso racimo.

Manganeso	Mn(ppm)	Pesos racimo 2008	Pesos racimo 2010
BAJO	<80	Bajo Medio Alto	Bajo Medio Alto Muy alto
MEDIO	80 - 90		
ALTO	>90		

Para el elemento Boro (B) (Ver Figura 36) en ambos años evaluados se presentan resultados bajo y medio de peso de racimo (Ver Tabla 2).

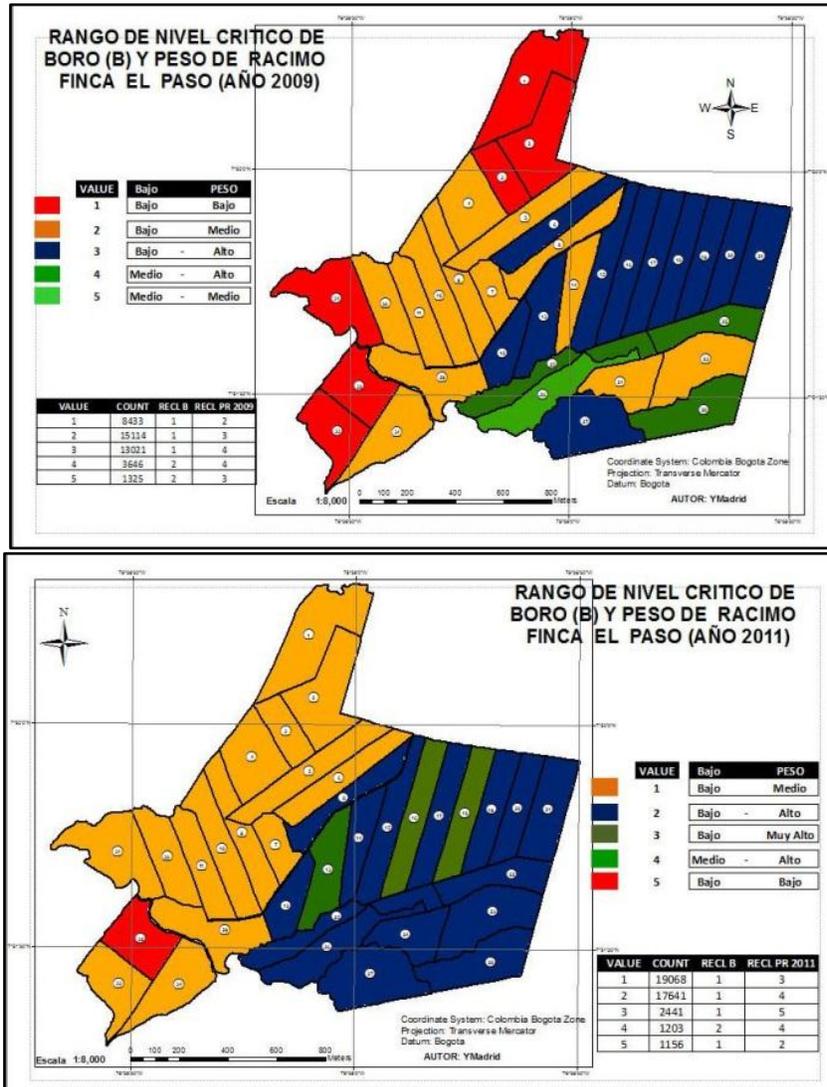


Figura 36 Combinación Nivel crítico de Boro (B) y Peso de Racimo.

Tabla 28. Resumen comportamiento Boro B y Peso racimo

Boro	B (ppm)	Pesos racimo 2008	Pesos racimo 2010
BAJO	< 0.5	Bajo Medio Alto	Bajo Medio Alto Muy alto
MEDIO	0.5 – 1.0	Medio Alto	Alto
ALTO	> 1.0		

Después de realizada la combinación de resultados es importante retomar que sólo fueron analizados los contenidos de elementos en el suelo de acuerdo a las muestras obtenidas en 2008 (Muestra inicial) y para el 2011 Muestra final.

La investigación pretendía realizar el seguimiento de los niveles críticos de los elementos químicos de suelo y su comparativo con el peso de racimo, para cada elemento fue realizada la espacialización de la información encontrándose poca relación entre los Niveles Críticos utilizados en la zona y el peso de racimo en la finca el Paso.

5 Conclusiones

La investigación pretendía realizar el seguimiento de los niveles críticos de los elementos químicos de suelo y su comparativo con el peso de racimo, para cada elemento fue realizado el análisis estadístico comparativo de la información encontrándose poca relación entre los Niveles Críticos utilizados en la zona y el peso de racimo en la finca el Paso. Ya con los contenidos mismos de los elementos se encuentran diferencias espaciales que denotan algunas relaciones que pueden orientar los planes de manejo de mantenimiento de los suelos y manejo de la fertilización.

Al realizar la espacialización de las variables elegidas para el análisis, fueron detectadas en el caso del peso de racimo que los mayores pesos tienen a concentrarse en ciertos lotes, al cruzar esta variable con las condiciones de niveles críticos en el suelo indicadas en las regresiones se observa que no existían correlaciones con las mismas, lo que puede representar que los mayores factores limitantes de productividad obedecen a condiciones físicas, de drenaje, microbiológicas y otras.

En el análisis estadístico fueron determinadas correlaciones positivas entre el Fósforo (P), el pH, el Calcio (Ca), el Magnesio (Mg), el Azufre (S), el Hierro (Fe) el Manganeseo (Mn), el cobre (Cu) y el Zinc (Zn). Los efectos derivados de estas propiedades no pueden valorizarse independientemente debido a las múltiples interacciones que se dan entre ellas.

Para algunos elementos como el elemento fósforo puede concluirse que la respuesta productiva del cultivo puede asociarse a los contenidos altos del mismo en el suelo. Igual caso fue representado en el elemento Potasio lo que da a considerar que es efectivo el nivel crítico seleccionado para ambos elementos. Caso igual para el elemento pH que cuando se encontraron niveles Altos (Mayor a 6.0) se reportan pesos entre Altos y Muy Altos la condición de pH debería mantenerse en niveles altos para alcanzar mayor productividad.

Los índices de producción obtenidos en la finca entre los diferentes lotes son muy estrechos, posiblemente por influencia de prácticas en el cultivo como la fertilización ya que los productores no realizan manejos diferenciados y guiados directamente por los niveles críticos de los elementos en el suelo.

De esta manera es importante establecer para la finca un diseño estadístico que le permita establecer niveles críticos acordes a sus rendimientos.

La investigación contribuyó a detectar deficiencias y excesos importantes en la finca, casos del elemento potasio cuyo estado cambio ostensiblemente entre las muestras obtenidas en 2008 y 2011.

El análisis de los niveles críticos en la Finca el Paso aunque presentó resultados con limitaciones, permitió el desarrollo de una metodología para la región y se obtuvo una buena herramienta de sistema de información geográfica que permitirá a futuro

realizar mayores análisis a nivel de localidad e implementar acciones para el uso eficiente de los recursos.

El modelo de análisis resultó ser funcional por lo que el trabajo puede realizarse con otros factores con los posibles ajustes que se requieran dependiendo de la variable y los indicadores que se requiera analizar.

La agricultura de precisión es un notable avance en el aumento del rendimiento de los cultivos en muchos países, pero en los menos desarrollados requiere de métodos ordenados, comprobados y probados para su exitosa aplicación.

6 Recomendaciones

Se recomienda incluir otro tipo de variables al estudio de manera que se enriquezca la información y se contribuya al mejoramiento productivo y de manejo por sitio en las fincas bananeras de la zona.

Los efectos derivados de estas propiedades que mostraron correlación no pueden valorizarse independientemente debido a las múltiples interacciones que se dan entre ellas. Se recomienda Evaluar integralmente estas variables con el fin de generar una alternativa para aumentar la productividad del cultivo y lograr la sostenibilidad.

Realizar otras investigaciones en la zona que incluyan diferentes fincas, diferentes períodos de tiempo y mayor número de datos.

Se recomienda que para lograr el éxito y cumplir los objetivos en este tipo de estudios se debe trabajar con equipo multidisciplinarios, coordinados con experiencia y que cuenten con una buena base de datos sobre análisis de suelo.

7 Bibliografía

- Arias, H. 1984. Respuesta del Banano (Musa Aaa) Subgrupo "Cavendish", "Gran Enano" a dosis crecientes de Potasio en un suelo Oxidystropets de Río Jiménez, Provincia de Limón. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. San José, Costa Rica. 198 p.
- Bayona, R. 1986. Observaciones de 8 años sobre el comportamiento del Manganeseo (Mn) En La Región Bananera De Urabá, Colombia In: Memoria IV Reunión sobre Agrofisiología del Banano. San José, Costa Rica. p 73-74.
- Bertsch, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos. Oficina de publicaciones de la Universidad de Costa Rica. San José Costa Rica 81 p.
- Bertsch, F. 1995. La Fertilidad de los suelos y su manejo. ACCS. San José, Costa Rica. 157 p.
- Brady, N.C. y R.R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. Prentice Hall, Upper Saddle River, Nj.
- Castañeda S, D; Jaramillo, D Y Cotes, J. 2010. Componentes de la variabilidad espacial en el manejo por sitio específico en banano. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, V.45, N.8, P.836-845, Ago.
- Cabalceta, G. 1993. Niveles críticos de Fósforo, Azufre y correlación de soluciones extractoras en Ultisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Andisoles De Costa Rica. Tesis De Maestría, Universidad De Costa Rica, San José, Costa Rica. 167 P.

- Cabalceta, G., Cordero, A. 1994a. Niveles críticos de Fósforo En Ultisoles, Inceptisoles, Vertisoles Y Andisoles De Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 18(2):147-161.
- Delvaux, D Y Rufyikiri, G. 2003 Absorción de iones por las raíces del banano En: Simposio Internacional: Sistema radical del banano: hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo. CORBANA, 2003, Pág. 39.
- Dumas, J; Prevel, P. 1958. Controle de nutrition de bananeires en guinée. premiers resultats. *Fruits* 13:375-386.
- Gauggel, 2003. La Problemática del deterioro radical del banano y su impacto sobre la producción: experiencia de producción en América Latina. En: Simposio Internacional: Sistema Radical del banano: hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo. CORBANA, 2003, Pag 20 – 25.
- GODEFROY, J; et al. 1975. Estimation des pertes par les eaux de ruissellement et de drainage des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie du sud de la Cote d'Ivoire. *Fruits* 30(4):223-225.
- ICA, 1981. Fertilización en diversos cultivos. CUARTA APROXIMACIÓN. Produmedios, Santafé de Bogotá
- ICA, 1992. Fertilización en diversos cultivos. QUINTA APROXIMACIÓN. Produmedios, Santafé de Bogotá
- Lahav, E. Y Turner, D. 1992. Fertilización de la banana para rendimientos altos. Instituto de la Potasa y el Fosforo. Quito, Ecuador. 71 p

- Lin, M.L. 1991. Análisis Geo estadístico de las propiedades químicas de los suelos de las tierras bananeras en grandes áreas. Suelos y Fertilizantes de Taiwán. Pág. 49-63. Taiwán.
- Malagón, D., C. Pulido Y R. Llanas. 1995. suelos de Colombia. Instituto Colombiano Agustin Codazzi. Bogota D.C. 632 p
- NRC 1997. Precision agriculture in the 21st century. National Academy Press. Washington, USA. 25 pp.
- Ortega, 1999. Agricultura de precisión: bases y potencialidades del manejo sitio-específico en américa latina. XIV Congreso Latinoamericano y V Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba. 12 pp.
- Pérez, F., Scandalariis, J., Morandir, M. & Durán,A. 2001. Manejo agronómico a nivel de sitio específico en cañaverales de alta variabilidad. Primeras experiencias en Argentina. XIV Congreso latinoamericano y V Congreso Cubano de Ciencia el Suelo. Varadero, Cuba. 15 pp.
- Prével, P. 1974. Les méthodes d'échantillonnage pour l'analyse foliaire du bananier: résultats d'une enquête internationale et propositions En Vue D'une Référence Commune. Fruits 29:583-588.
- Ruiz, O Y Peralta, E. 2010 Agricultura de precisión y geoestadística para optimizar el uso de recursos agrícolas. Caso: banano. Memorias ACORBAT 2010, Pág. 386 – 393.
- Schschny, A Y Soto, H. 2009 Guía metodológica. Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Publicación de las Naciones Unidas. Santiago de Chile 102 p

Sierra, L. E. 1993. El Cultivo del banano producción y comercio. Ed. Gráficas Olímpica Pereira.

Soto, M. 1991. Bananos, cultivo y comercialización. 3ª edición. Lit. Imprenta Lil, S.A. San José, Costa Rica. 648p.

Stoorvogel; J Y Vargas; R. 1998. La agricultura de precisión en el cultivo del banano. En: Rosales, F. E.; Tripon; S.C y Cerna, J. Memorias del taller internacional Producción de banano orgánico y/ o, ambientalmente amigable. Universidad Earth: Pág. 40 - 55

Villareal, J. 2010. Determinación de un índice de calidad del suelo en áreas productoras de banano (*Musa * Paradisiaca L.*) De La Vertiente Del Pacifico Panamá. Tesis de doctorado Universidad de LLEIDA Lleida ,2010 195 p.