

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Posgrados

Efectos de La Disminución de la Aireación del Suelo en los Rendimientos del Cultivo de Banano (musa acuminata) mediante Sistemas de Información Geográfica

Martha Leonor Rojas Mora

Richard Resl, Ph. Dc., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de
Maestría en Sistema de Información Geográfica

Quito, mayo de 2013

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Postgrados**

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Efectos de La Disminución de la Aireación del Suelo en los Rendimientos del
Cultivo de Banano (musa acuminata) mediante Sistemas de Información
Geográfica**

Martha Leonor Rojas Mora

Richard Resl, Ph. Dc.
Director de Tesis
Geográfica

Pablo Cabrera
Miembro del Comité de Tesis

Richard Resl, PhDc.
Director de la Maestría en Sistemas
De Información Geográfica

Stella de la Torre, PhD.
Decana del Colegio de
Ciencias Biológicas y Ambientales

Víctor Viteri Breedy, PhD.
Decano del Colegio de Postgrados

Quito, mayo 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.

Así mismo 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: **Martha Leonor Rojas Mora**

C.C.: 51746420

Fecha: Quito 7 de mayo de 2013

Resumen

En el Urabá Antioqueño en los últimos años la productividad ha disminuido y aún no se ha planteado una alternativa que muestre cuales son las principales causas de esta disminución. Los productores no han encontrado la forma de evaluar su información y en la actualidad recolectan datos en tablas en formato físico y digital pero no tienen ninguna herramienta que los convierta en información fácil de interpretar y analizar para llegar a la raíz del problema. Una de las tecnologías más avanzadas que se puede aplicar son los Sistemas de Información Geográfica que permiten integrar temporal y espacialmente los indicadores de los rendimientos con las variables de aireación del suelo. El estado de la aireación del suelo es básico para que el efecto de las prácticas de manejo que se aplican resulte efectivo

El objetivo de este trabajo de tesis consistió en determinar el efecto de la aireación del suelo en los rendimientos del cultivo de banano en la finca El Paso mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el fin de definir la importancia de conservar o mantener las propiedades físicas del suelo.

Para desarrollar este proyecto se implantaron las etapas de conceptualización, captura de datos y ajuste de cartografía, ingreso de datos, desarrollo del modelo conceptual, resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones.

Como resultado se obtuvo que en algunos sectores de la finca existe alguna relación espacial de la aireación del suelo con el peso del raimo, sin embargo en los sectores

donde no se encuentra relación se deben estudiar otros factores que pueden estar influyendo en los rendimientos del cultivo. Esto con el fin de realizar planes de manejo más acertados para cada sitio.

Los Sistemas de Información Geográfica facilitan la organización de los datos, se automatiza la información y se analiza desde lo espacial para ver cada lote de la finca por separado y el efecto que pueden tener esta y otras variables sobre los rendimientos del cultivo.

Se requiere priorizar áreas de manejo intensivo como incorporación de materia orgánica, subsolado y aplicación de materia orgánica en diferentes dosis con el fin de realizar la práctica de manejo adecuada en el sitio adecuado y obtener los mejores resultados.

Abstract

In the last few years productivity has diminished in Uraba, Antioquia and yet no alternative has been posed that shows, which are the principal causes for this decrease in productivity. The growers haven't found a way to evaluate information. Actually they gather data in paper formats and digital formats but they don't possess the tools to convert this information available in an easy interpretation and analysis in order to get to the root of the problem. One of the most advance technologies that can be used is the Geographic Information System which allows integrating temporary and spacing the performance indicators with the soil aeration variables. The state of the soil airmen is basic so that the practices applied have a good effect.

The aim of this thesis consisted in determining the effect of soil aeration in the yield of the banana crop in the farm El Paso using the Geographic Information System, with the aim to define the importance of conserving or maintaining the physical proprieties of the soil. In order to develop this project we had to start by conceptualizing, data gathering and cartography, data entry, development of the concept of the model, results, discussions, conclusions and recommendations.

As result we found out that in some sector there is an existing relation between soil aeration and the weight of the stem, nevertheless in the sector where no relation was found we must study other factors that can influencing the yields of the banana crop. This in order to perform more accurate management plans for each

The Geographical Information System facilitates the data organization, the information is automatized and from the space you can analyze each separate lot from the farm and the effect that each variable can have on the yield of the crop.

It is priority to incorporate intensive organic material applications, soil aeration and application of organic material in different dosis with the aim to carry out good practices in each lot and to obtain best results.

Contenido

1. INTRODUCCION	14
2. MARCO TEORICO	17
2.1 Ubicación y Generalidades de la finca El Paso	17
2.3 Propiedades de los suelos que influyen en la porosidad	20
2.4 Propiedades de los suelos que dependen de la porosidad	20
2.5 Causas de la disminución de la aireación de los suelos	23
2.6 Efectos de la aireación del suelo en las raíces del cultivo de banano	25
2.7 Efectos de la aireación del suelo en los rendimientos del cultivo	28
2.8 Consideraciones Importantes de la aireación y el efecto en el cultivo de banano	32
2.9 Trabajos de investigación en cultivo de banano utilizando SIG	35
4. OBJETIVOS	37
• Objetivo General	37
• Objetivos específicos	37
5. METODOLOGÍA	39
5.1 Conceptualización	40
• Definición de componentes	40
• Modelo lógico	43
5.2 Captura de datos y ajuste de cartografía	45
5.3 Ingreso de datos	46
5.4 Desarrollo del modelo conceptual	47
5.5 Resultados y discusión de resultados	48
5.6 Conclusiones y recomendaciones	49
6. RESULTADOS Y DISCUSION	50
6.1 Indicador Peso de Racimo	50
6.2. Variables de aireación del Suelo	56
6.3 Relaciones del Peso de Racimo Vs La Aireación	62
• Espaciales	62
• Estadísticas	72

Tabla 7. Correlación entre el Indicador Peso de Racimo y Variables de Aireación del Suelo 75

7. CONCLUSIONES	77
8. RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	82
Anexo 1	84

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de la finca El Paso en el departamento de Antioquia. Colombia	17
Figura 2. Efecto de la Compactación del Suelo sobre las Condiciones de Crecimiento de una Planta.	30
Figura 3 Procedimiento metodológico.	39
Figura 4 Modelo conceptual.	43
Figura 5 Modelo Lógico.	44
Figura 6 Modelo Lógico Entidad Relación	44
Figura 7. Variabilidad de la Precipitación. Finca El Paso. Año 2008 a 2011 Tomada del SIGUNIBAN 2011.	45
Figura 8. Rangos de peso de racimo.	46
Figura 9 Rangos de las variables de aireación del suelo.....	47
Figura 10 Peso promedio de racimo. Semana 1 a 10. Año 2008 a 2011.	52
Figura 11 Peso promedio de racimo. Semana 10 a 20. Año 2008 a 2011.....	53
Figura 12 Peso promedio de racimo. Semana 1 a 10. Año 2008 a 2011.	54
Figura 13 Peso promedio de racimo. Semana 30 a 40. Año 2008 a 2011.	57
Figura 14 Peso promedio de racimo. Semana 40 a 52. Año 2008 a 2011.....	58
Figura 15 Espacialización de las Variables de Aireación del Suelo.	60
Figura 16. Aireación del suelo de la finca el Paso	61
Figura 17. Relación de Peso de Racimo Vs Aireación del Suelo. Semana 1 a 10. Años 2008 a 2011.	67
Figura 18. Relación de Peso de Racimo Vs Aireación del Suelo. Semana 10 a 20. Años 2008 a 2011.....	68

Figura 19. Relación de Peso de Racimo Vs Aireación del Suelo. Semana 20 a 30. Años 2008 a 2011.....	69
Figura 20. Relación de Peso de Racimo Vs Aireación del Suelo. Semana 40 a 52. Años 2008 a 2011.....	70
Figura 21. Relación de Peso de Racimo Vs Aireación del Suelo. Semana 40 a 52. Años 2008 a 2011.....	71
Figura 22. Correlación entre las diferentes variables de aireación.....	73

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades Físicas de los Suelos. Finca El Paso.	19
Tabla 2. Definición de Términos en la conceptualización.	42
Tabla 3. Clases de Peso de Racimo.	62
Tabla 4. Clases de Infiltración y Conductividad Hidráulica.	62
Tabla 5. Clases de Macroporosidad.	62
Tabla 6. Correlación entre las Variables de Aireación.	72
Tabla 7. Correlación entre el Indicador Peso de Racimo y Variables de Aireación del Suelo.	75

1. INTRODUCCION

En el mundo existe una gran preocupación por saber a ciencia cierta lo que está ocurriendo con los cambios en los rendimientos del cultivo de banano. Los factores que producen estos cambios pueden ser múltiples y varían en el espacio y en el tiempo. Una de estas características puede ser el deterioro de las propiedades físicas de los suelos. Estas propiedades cambian con el tipo de suelos y con el manejo al que han sido sometidos lo que influye directamente en la aireación.

Respecto a algunos trabajos que se han realizado, enfocados a mejorar o mantener la aireación se tiene el de INIVIT & UCLV.2003 en el que se desarrolló un experimento en condiciones de campo sobre el suelo pardo mullido medianamente lavado con el objetivo de definir cuáles eran las combinaciones órgano-minerales que más favorecen las propiedades físicas del suelo y los rendimientos del banano FHIA-18. Los tratamientos que incluyeron materia orgánica ejercieron un mayor efecto sobre éstas. El mejor rendimiento se obtuvo cuando se aplicó 3 kg de humus + 5 kg de ceniza + 25% NPK con 14.68 kg por planta (55.78 t/Ha).

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. “Muchas de estas fincas han sido abandonadas o han tenido que salir del negocio de producción de bananos por su baja competitividad.

El mismo autor manifiesta que debido a esta problemática, se inició a principios del 2003 una gestión para el mejoramiento del sistema radical del banano.

También se ha intentado integrar los diferentes factores que pueden influir en los rendimientos, utilizando los Sistemas de Información Geográfica, Uno de estos estudios es el de J. Espinosa et al en 2007 quien manifiesta que “El Manejo del cultivo por sitio utilizando los Sistemas de Información geográfica (SIG) se desarrollo 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”

Estos son apenas algunos trabajos donde se evidencia que hay avances enfocados en considerar el manejo de las propiedades físicas del suelo y la relación con la productividad del cultivo de banano. En algunos casos se utilizan los sistemas de información geográfica y en otros solamente se usan los métodos tradicionales conformados por tablas y gráficas.

En el Urabá Antioqueño en los últimos años la productividad ha disminuido y aún no se ha planteado una alternativa que muestre cuales son las principales causas de esta disminución. Los productores no han encontrado la forma de evaluar su información y en la actualidad recolectan datos en tablas en formato físico y digital

pero no tienen ninguna herramienta que los convierta en información fácil de interpretar y analizar para llegar a la raíz del problema. Una de las tecnologías más avanzadas que se puede aplicar son los Sistemas de Información Geográfica que permiten integrar temporal y espacialmente el indicador de los rendimientos (Peso de Racimo) con las variables de la aireación del suelo.

En este trabajo de tesis de grado se presenta el marco teórico que contiene el estudios de la aireación del suelo y el efecto que se ha encontrado en los rendimientos del cultivo de banano; la metodología que contiene el proceso mediante el cual se desarrollo la conceptualización, la toma de datos y el análisis de la información desde el punto de vista espacial y estadístico y los resultados y discusión de resultados seguidos de las conclusiones y recomendaciones.

2. MARCO TEORICO

2.1 Ubicación y Generalidades de la finca El Paso

La finca El Paso está ubicada en el Centro del Urabá en el Departamento de Antioquia que queda al noroccidente de Colombia. Las coordenadas son 716347.41 m E y 1361723.08 m N (Sistema GCS Colombia Bogotá Zone). Esta finca Desde hace aproximadamente 45 años está dedicada al cultivo de banano el clima es Cálido húmedo con temperatura promedio de 28 °C y precipitaciones entre 2500 y 2800 mm y Humedad relativa de 80%. (Ver Figura 1).

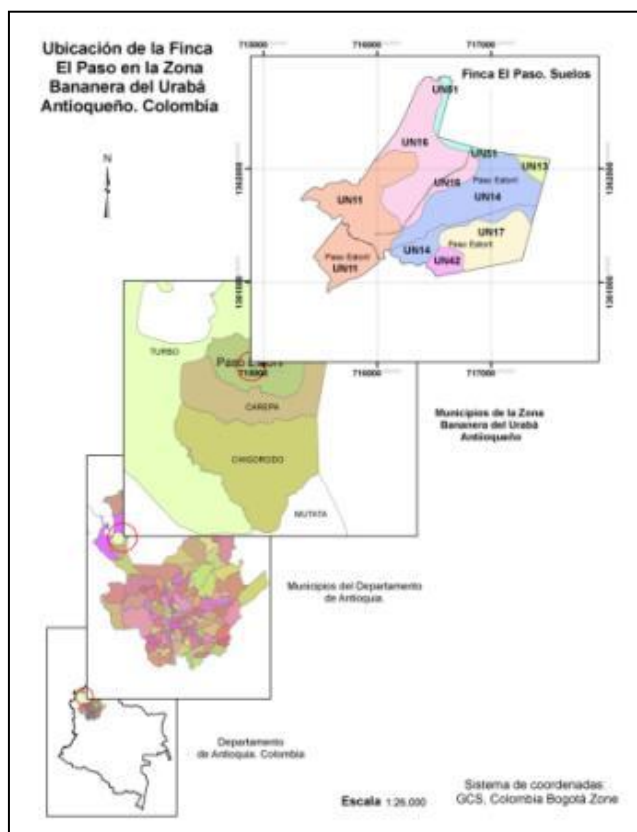


Figura 1. Ubicación de la finca El Paso. Departamento de Antioquia. Colombia

La finca el paso se encuentra en un paisaje de piedemonte en napas de desborde y explayamiento conformados por cubetas de desborde con sedimentos aluviales medios; bajos de abanicos con sedimentos aluviales finos y terrazas con sedimentos muy finos sobre gruesos. Los suelos Figura 1, contienen las características que se presentan en la Tabla 1.

2.2 Aireación del suelo

La aireación del suelo está directamente relacionada con la porosidad. Rucks L. (2009), indica que dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros. Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, constituyendo además, el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los segundos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas. La porosidad total o espacio poroso del suelo, es la suma de macro poros y micro poros. Las características del espacio poroso, dependen de la textura y la estructura del suelo. Según el IGAC (1990). El Volumen de poros ocupados por el aire es una indicación de contenido relativo de aire en el suelo y como tal constituye criterio importante para evaluar la aireación del mismo. Se expresa como:

$$Fa = Va/Vt$$

Donde Fa es el volumen de los poros ocupados por aire; Va es el volumen de aire en cm³; Vt es el volumen total.

Perfil	Textura	Profundidad	Arena %	Limo %	Arcilla%	Densidad Aparente g/cc	Microporos %	Microporos %	Total Poros %
UN14	FAr	00-09	28.00	38.00	34.00	1.20	39.00	16.00	55.00
UN14	Ar	09-30	20.00	34.00	46.00	1.10	37.00	21.00	58.00
UN14	F	30-60	40.00	34.00	26.00	1.40	34.00	14.00	48.00
UN14	F	60-90	44.00	38.00	18.00	1.20	40.00	15.00	55.00
UN14	ArL	90-120	10.00	48.00	42.00	1.20	43.00	11.00	54.00
UN13	FArL	00-04	1.80	61.70	36.50	1.10	50.00	10.00	60.00
UN13	Ar	04-30	0.60	34.70	64.80	1.30	44.00	9.00	53.00
UN13	FArL	30-60	2.50	63.20	34.30	1.20	43.00	12.00	55.00
UN13	FArL	60-78	0.60	68.70	30.70	1.40	41.00	7.00	48.00
UN13	FL	78-105	3.60	75.60	20.80	1.40	44.00	3.00	47.00
UN13	FL	105-120	4.00	75.50	20.50	1.50	45.00	2.00	47.00
UN16	ArL	00-03	2.50	53.70	43.80	1.10	38.00	18.00	56.00
UN16	ArL	03-35	2.20	54.20	43.70	1.30	37.00	14.00	51.00
UN16	FL	35-75	0.40	73.00	26.60	1.20	38.00	18.00	56.00
UN16	FArL	75-120	0.10	65.50	34.40	1.20	34.00	23.00	57.00
UN16	FL	120-184	24.60	60.30	15.10	1.20	37.00	9.00	46.00
UN51	F	00-13	38.00	38.00	24.00	1.20	48.00	6.00	54.00
UN51	F	13-45	46.00	30.00	24.00	1.30	47.00	4.00	51.00
UN51	F	45-70	32.00	42.00	26.00	1.20	50.00	5.00	55.00
UN51	FArA	70-120	50.00	26.00	24.00	1.20	42.00	13.00	55.00
UN11	ArL	00-10	2.70	55.50	41.80	1.00	50.00	9.00	59.00
UN11	FArL	10-50	2.90	57.60	39.50	1.20	45.00	9.00	54.00
UN11	FArL	50-80	0.00	63.00	37.00	1.30	47.00	5.00	52.00
UN11	FArL	80-100	0.00	72.40	27.50	1.20	40.00	13.00	53.00
UN11	ArL	100-120	0.00	51.20	48.80	1.10	52.00	5.00	57.00
UN17	Ar	00-10	16.00	32.00	52.00	1.10	40.00	16.00	56.00
UN17	Ar	10-53	6.00	40.00	54.00	1.20	39.00	17.00	56.00
UN17	FL	53-78	17.10	58.50	24.40	1.20	36.00	19.00	55.00
UN17	FL	78-100	20.00	52.00	28.00	1.20	37.00	18.00	55.00
UN17	ArL	100-120	14.00	46.00	40.00	1.20	37.00	16.00	53.00
UN42	FArL	00-11	10.00	58.00	32.00	1.20	48.00	5.00	53.00
UN42	ArL	11-32	10.00	50.00	40.00	1.10	54.00	3.00	57.00
UN42	Ar	32-59	6.00	32.00	62.00	0.90	57.00	7.00	64.00
UN42	F	59-88	40.00	44.00	16.00	1.30	36.00	13.00	49.00
UN42	Ar	88-120	10.00	32.00	58.00	1.10	53.00	3.00	56.00

Tabla 1. Propiedades Físicas de los Suelos. Finca el Paso. Fuente: Uniban 2005.

Esto equivale a $Fa = Va/Va+Vw+Vs$

La capacidad de aireación se puede medir también por medio de la Densidad aparente Rucks L. (2009), expresa que la densidad aparente es la relación que existe entre el peso seco (105° C) de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo:

$$D.a = \frac{\text{peso de los sólidos de la muestra o peso seco (a)}}{\text{Volumen de los sólidos de la muestra (b) + Volumen poroso de la muestra. (c)}}$$

2.3 Propiedades de los suelos que influyen en la porosidad

Según IGAC (1990). La Textura resulta de integrar los porcentajes de arena, limo y arcilla y según predomine una de estas fracciones influyen en la aireación, permeabilidad, retención de humedad, volumen explorado por las raíces, etc.

Los suelos francos son los más equilibrados para el buen desarrollo de un cultivo. Estos contienen aproximadamente entre el 7 y 27 de arcilla y 28 a 58% de limo lo que permite una buena tendencia a retener agua a la vez que permite la difusión de gases.

La estructura está conformada por los agregados que se forman de la cementación de las diferentes partículas elementales de arena limo y arcilla que constituyen los suelos. Estos agentes cementantes pueden ser materia orgánica, hidróxidos de hierro o aluminio y las propiedades coloidales de las mismas partículas de arcilla.

La estructura está íntimamente asociada con la acción biológica, el fenómeno expansión contracción, el pH del medio y la morfología. La formación de la estructura debido a la agregación y porosidad resultante favorece el intercambio gaseoso y facilita la retención de humedad.

2.4 Propiedades de los suelos que dependen de la porosidad

Según el IGAC. 1990. La porosidad afecta propiedades del suelo como la capacidad de aireación y la capacidad de agua. La capacidad de aire define el suministro de

oxígeno a las raíces, el intercambio gaseoso con el medio ambiente y favorece la formación de un extenso sistema radical que facilita la absorción de nutrientes y agua para las plantas. La capacidad del aire está relacionada con los poros de gran tamaño (macroporos ≥ 60 micras).

En los poros de diámetro pequeño (microporos ≤ 9 micrómetros) predomina la retención de humedad y los fenómenos capilares lo cual constituye parte de la capacidad de almacenamiento de agua (retención de humedad).

Los parámetros que miden la capacidad de agua son la velocidad de infiltración y la conductividad hidráulica. La velocidad de infiltración cuantifica la velocidad de descenso del agua en las primeras capas del suelo, bajo la acción de gravedad y la acción capilar.

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. Se mide en pulgadas, centímetros o milímetros por hora. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature. Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá escorrentía a menos que haya alguna barrera física. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie. La tasa de infiltración puede medirse usando un infiltrómetro.

La infiltración está gobernada por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. Los poros muy pequeños empujan el agua por la acción capilar y también se mueve por la fuerza de la gravedad. La tasa de infiltración se ve afectada por características del

suelo como la facilidad de entrada, la capacidad de almacenaje y la tasa de transmisión por el suelo. En el control de la tasa y capacidad de infiltración desempeñan un papel importante la textura, la estructura del suelo, los tipos de vegetación, el contenido de agua del suelo, la temperatura del suelo y la intensidad de precipitación.

La conductividad Hidráulica está expresada en el movimiento del agua a través del suelo es un proceso que responde directamente al gradiente hidráulico, e inversamente a la resistencia que opone este medio. De este modo, conceptualmente el inverso de la resistencia, la conductividad hidráulica (K), es una expresión de la habilidad intrínseca de éste para transmitir agua en diversas condiciones. De acuerdo a varios autores (Hillel, 2004; Miyazaki, 2006), la K presenta magnitudes diversas que conjugan los efectos de las características de la matriz del suelo (porosidad total, distribución de tamaño de poros y tortuosidad), así como aquellas propias de la solución que se desplaza a través de éste (densidad y viscosidad).

Reynolds *et al.*, (2002) El hecho que la K del suelo se exprese normalmente bajo unidades de velocidad [$L T^{-1}$], la convierte en una variable fácilmente comparable con procesos relacionados como la intensidad de precipitación, u otras de movimiento de agua. La conductividad hidráulica de un suelo saturado (K_s) de estructura estable es en principio constante en el tiempo, ya que se asume que la totalidad del espacio poroso se encuentra colmado del fluido. Sin embargo, en la realidad ciertas variaciones determinan el uso del sufijo fs, el cual denota que la

variable se mide en condiciones de campo y acusa la probable ocurrencia de poros con aire atrapado u otros rasgos de difícil control en estas condiciones Reynolds, (1993).

Considerando que la conductividad hidráulica en medios no saturados (K_{ψ}) varía en respuesta a al potencial hídrico (Ψ_s) total existente, en el corto plazo de un evento de precipitación los procesos de infiltración y escorrentía son controlados fundamentalmente por la (K_{ψ}) del suelo, pero en el largo plazo, dependen particularmente de esta propiedad en condiciones muy cercanas a la saturación D'Odorico and Porporato, (2006).

2.5 Causas de la disminución de la aireación de los suelos

Miranda E. (2009) indica que la demanda, cada vez mayor, de alimentos para la población ha conducido a la explotación intensiva de las tierras agrícolas; generalmente basada en la mecanización con tractores y arados inadecuados para una u otra condición de suelo. Una de las causas principales de la degradación de los suelos en América Latina es, sin dudas, la aplicación de técnicas de labranzas inadecuadas, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas de los suelos, la disminución de los rendimientos agrícolas, y más importante aún, el deterioro del medio ambiente.

Agromat. (2006), reporta, que dadas las características naturales del país, los suelos presentan una elevada susceptibilidad a la erosión. El mal manejo de la fertilidad natural y las pocas acciones que se realizan para su mantenimiento y recuperación están ocasionando una reducción progresiva de la capacidad de producción de los

suelos que, unida a la erosión, inciden de manera importante en los rendimientos agropecuarios en el país.

Benítez J. y Friedrich T. (2009), mencionan que la degradación física del suelo puede ser definida como la pérdida de la calidad de la estructura del suelo. Esa degradación estructural puede ser observada tanto en la superficie, con el surgimiento de finas costras, como bajo la capa arada, donde surgen capas compactadas. El manejo inadecuado del suelo lleva a una reducción del contenido de materia orgánica del suelo, teniendo como consecuencia alteraciones en su densidad, en la capacidad de retención de agua y en la estabilidad de los agregados, que contribuyen a la pérdida de su calidad y de la estabilidad de su estructura.

Los mismos autores indican que las etapas de degradación física del suelo son:

Etapa 1: Las características originales del suelo son destruidas gradualmente; la degradación es poco perceptible debido a la poca intensidad de los procesos y al mantenimiento de la productividad por el uso de correctivos y fertilizantes.

Etapa 2: Ocurren pérdidas acentuadas de la materia orgánica del suelo, con fuerte daño de la estructura. Hay compactación, que impide la infiltración del agua y la penetración de raíces. De esta forma, la erosión se acentúa y los cultivos responden menos eficientemente a la aplicación de correctivos y fertilizantes.

Etapa 3: El suelo está intensamente dañado, con gran colapso del espacio poroso. La erosión es acelerada y hay dificultad de operación de la maquinaria agrícola. La productividad cae a niveles mínimos.

Encarta. (2007), manifiesta que la pérdida de materia orgánica debida a la erosión y a la oxidación degrada el suelo y, en especial, su valor como soporte para el cultivo.

La pérdida de materia orgánica reduce también la estabilidad de los agregados del suelo que, bajo el impacto de las precipitaciones, pueden dispersarse.

Este proceso puede llevar a la formación de una corteza sobre el suelo que reduce la infiltración del agua e inhibe la germinación de las semillas. La pérdida de estructura por parte del suelo puede deberse a la pérdida de materia orgánica, a la compactación producida por la maquinaria agrícola y el cultivo en estaciones húmedas, o a la dispersión de los materiales en el subsuelo.

IGAC. (1990), afirma que los macro poros son responsables de la capacidad de aire y cualquier proceso que tienda a disminuirlos influirá en esta característica. La degradación estructural que se puede generar por prácticas deficientes de manejo, es uno de los procesos que los afectan negativamente, efecto que conlleva un aumento en los microporos y un decrecimiento de los poros encargados de difundir oxígeno a las raíces.

2.6 Efectos de la aireación del suelo en las raíces del cultivo de banano

La formación de raíces disminuye desde el momento en que se inicia la diferenciación floral, aunque en apariencia continúan desarrollándose aquellas que ya se habían preformado en ese momento Champion y Olivier, (1961).

Durante los primeros meses de crecimiento vegetativo, la producción de raíces es abundante. El porcentaje funcional es de 25 a 50 % Champion y Olivier, (1961).

La planta de banano requiere de suelos porosos, profundos, con textura media o ligera. El hecho de encontrar un porcentaje mayor de raíces a grandes profundidades (1-2 m) tiene su explicación en la buena aireación y porosidad del horizonte; estas

condiciones son comunes en los suelos bananeros de los países latinoamericanos, los que presentan una notable vegetación que no poseen otras regiones bananeras del mundo Moreau y Le Bourdellés, (1963); Lassoudière, (1971).

En un suelo con buena estructura y porosidad, la producción de raíces laterales a partir de raíces primarias bien establecidas es rara. En suelos duros, las raíces son delgadas y presentan ramificaciones muy finas. En este tipo de suelo es corriente que la raíz encuentre obstáculos, lo cual parece inducir la producción de raíces laterales Sioussaram, (1968).

Las deficiencias minerales del suelo, los ácidos húmicos y la aplicación excesiva de productos químicos pueden retardar el crecimiento de las raíces o bien inducir un desarrollo anómalo. La compactación del suelo, puede originar un débil desarrollo radical; esta compactación puede producirse por el paso repetido de los trabajadores o por fuertes aguaceros, o por encortamientos superficiales por mal uso de herbicidas, al dejar el suelo completamente desprovisto de vegetación Godefroy, (1967). Las raíces son de crecimiento rápido y muy sensibles al déficit o exceso hídrico, ya que el 65 % de ellas se encuentra en los primeros 30 centímetros del suelo (crecimiento superficial). El exceso de agua puede producir asfixia radical, es por ello que en la estación lluviosa el crecimiento de raíces es deficiente, con pérdidas muy sensibles por pudrición Lara, (1970).

Beugnon y Champion (1966), indicaron que el alargamiento de las raíces era de 2 a 3,5 cm por día en promedio sobre el total de raíces emitidas por una planta. Sin embargo, algunas raíces muy largas podrían tener un crecimiento diario de 4,2 cm.

Riopel y Stevens (1964), observaron un crecimiento de 1 a 2 cm por día en las raíces laterales. En 1981, el autor estudió la distribución de raíces en los clones "Gran Enano" y "Valery" en suelos de diferente textura. Las plantas de ambos clones sembradas sobre suelos franco arenoso fino mostraron mayor crecimiento de raíces. La diferencia de los suelos livianos sobre los más pesados fue de un 36,8 % para el clon "Gran Enano" y de un 41,3 % para el clon "Valery"

Cuando una raíz encuentra un obstáculo que impide su crecimiento longitudinal, cambia de trayectoria y desarrolla raíces laterales menores en número de 2, 3 o más en el sitio de desviación. Algunas pueden alargarse y alcanzar el diámetro de aquella que les dio origen Lavillé, (1964). La aparición de las raíces laterales es lenta (8 a 10 días) y parece no tener dirección Lassoudière, (1971).

El meristemo apical de la raíz y la posición de raíces laterales existentes en el mismo sector parecen afectar la colocación de las nuevas raíces. Riopel (1966), trabajó con el clon "Gros Michel", y encontró que los primordios de raíces laterales no se originan cerca del ápice radical y que tienen un patrón de distribución disperso, no predecible. Algunos sitios opuestos al protoxilema son aparentemente más favorables para la iniciación radical que aquéllos ya asociados con un primordio o raíz anterior, esto sugiere que la presencia de una raíz lateral inhibe el desarrollo de otra muy cercana, tanto en el plano horizontal como en el longitudinal.

Las raíces laterales aparecen de 15 a 30 cm antes del ápice de la raíz en que se originan Lavillé, (1964); Lassoudière, (1971). Pueden alcanzar diámetros de 0,5 a 3,5 mm y una longitud de 3 a 15 cm. A partir de dichas raíces se originan raíces menores de 1 a 4 cm de longitud y eventualmente se nota la presencia de raíces aún

menores.

Algunos autores afirman que el cormo produce dos tipos de raíces diferentes, unas que se hunden rápidamente en el suelo y otras que permanecen superficiales. Las raíces profundas pueden penetrar hasta 1,5 m en suelos de buenas condiciones físicas Lavillé (1964). Las raíces de la planta de banano parecen ser muy sensibles a la materia orgánica en descomposición, por lo que parecen mostrar gran acidez, aplicaciones de materia orgánica cerca de la base de los hijos en desarrollo se constituyen en focos de atracción y gran actividad radical.

Soto 1991 realizó estudios sobre el crecimiento de raíces en especímenes del clon "Gran Enano", en la zona de Guápiles, Costa Rica, durante el año 1982. Se observó que el 60 a 70 % de las raíces se encuentran comprendidas en los primeros 30 cm de profundidad, en una distancia horizontal de 0 a 90 cm de la base de la planta, de 60 a 90 de profundidad sólo se encontró un 10 a 15 % del total. En resumen, puede decirse que para plantas del clon "Gran Enano", del 85 al 90 % de las raíces se encuentran comprendidas entre 0 y 60 cm de profundidad.

2.7 Efectos de la aireación del suelo en los rendimientos del cultivo

FONTAGRO (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. "Muchas de estas fincas han sido abandonadas o han tenido que salir del

negocio de producción de bananos por su baja competitividad. Debido a esta problemática, se inició a principios del 2003 una gestión para el mejoramiento del sistema radical del banano.

En INIVIT & UCLV, Se desarrolló un experimento en condiciones de campo sobre el suelo pardo mullido medianamente lavado con el objetivo de definir cuáles eran las combinaciones órgano-minerales que más favorecen las propiedades físicas del suelo y los rendimientos del banano FHIA-18. Los tratamientos que incluyeron materia orgánica ejercieron un mayor efecto sobre éstas. El mejor rendimiento se obtuvo cuando se aplicó 3 kg de humus + 5 kg de ceniza + 25% NPK con 14.68 kg por planta (55.78 t/Ha).

¿Están perdiendo los suelos bananeros su salud?

A pesar de la aplicación de técnicas e insumos de alto costo, incluyendo el uso intensivo de agroquímicos en las plantaciones comerciales de banano en América Latina y el Caribe (ALC), se ha registrado en los últimos diez años una reducción considerable en la productividad, debido al cambio y deterioro acelerado de los factores físicos, químicos y biológicos del suelo. La interacción de estos últimos tres factores ha sido poco estudiada e investigada, pero en la actualidad se considera fundamental para resolver la problemática del agotamiento y baja productividad de las plantaciones.

Se tiene evidencia de la relación directa entre la reducción de la productividad y la pérdida de la calidad y salud del suelo, por el impacto adverso del sistema convencional de producción Gauggel *et al*, (2005); Pattison (2005).

En la Figura 2 se representan los efectos que desencadena la compactación del suelo. Esta compactación disminuye la presencia de oxígeno seguida de la absorción deficiente, disminución del metabolismo y el debilitamiento de la raíz lo que genera una planta mal nutrida que absorbe menos nutrientes y agua y la respiración se vuelve acelerada lo que consume más los productos fotosintéticos y el producto final es una cosecha pequeña de calidad inferior.

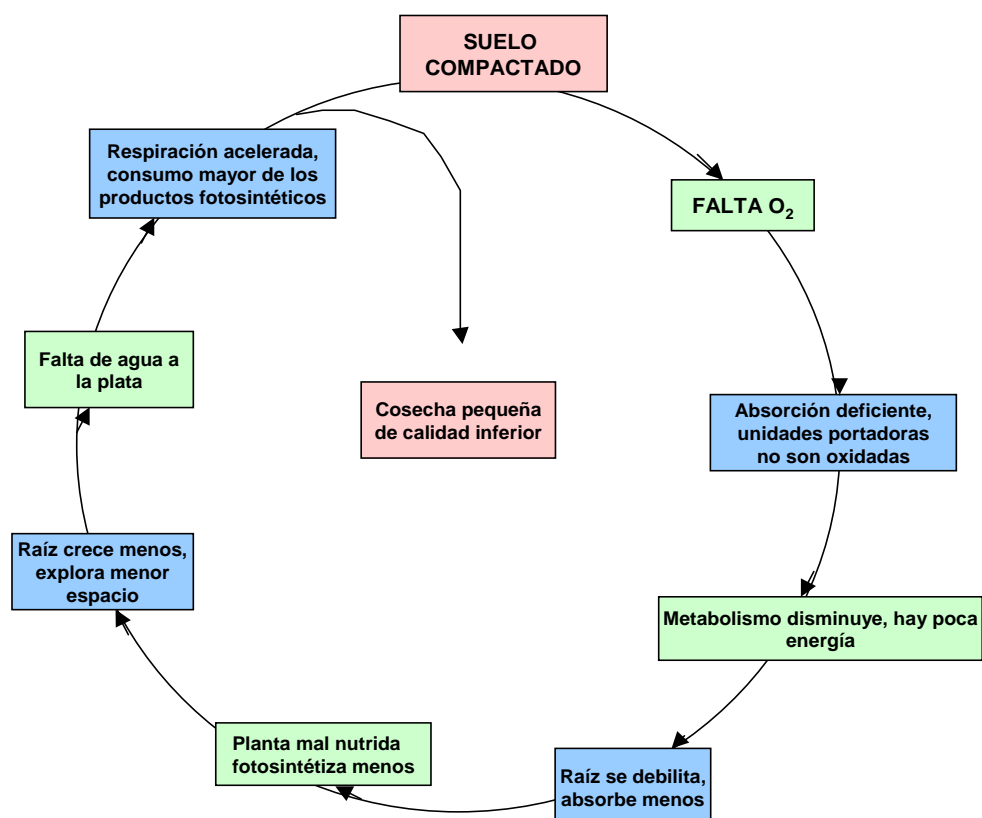


Figura 2. Efecto de la Compactación del Suelo sobre las Condiciones de Crecimiento de una Planta.

Las fincas bananeras se han establecido en áreas que anteriormente fueron bosques tropicales. En estos ecosistemas naturales las relaciones equilibradas entre sus componentes producen un sistema eficiente, estable y con una alta capacidad de resistencia al cambio. La cultura monocultivista e intensiva del banano ha provocado cambios sustanciales en este ambiente, tales como la disminución de la

biodiversidad, pérdida del recurso suelo por erosión, y desequilibrios entre los componentes químicos, físicos y biológicos del suelo antes mencionados.

La alta carga de desechos de polietileno en los suelos bananeros, el uso intensivo de biosidas para el combate de nematodos y la Sigatoka negra y la aplicación de dosis de fertilizantes por encima de la capacidad de extracción del cultivo, constituyen elementos de manejo críticos que han contribuido en mayor o menor grado al deterioro de los suelos bananeros.

La productividad de las plantaciones bananeras en varios países de América Latina y el Caribe, por ejemplo en Colombia, Ecuador, Panamá y Costa Rica han mostrado oscilaciones considerables durante la última década (Figura 1) Existe evidencia no bien documentada de que estas caídas de producción están asociadas a un decaimiento general del cultivo o lo que se conoce como agotamiento o cansancio de los suelos, que ha ocasionado el abandono de muchas áreas de producción ya no rentables para el comercio.

En algunos países se nota en ocasiones el incremento en la productividad pero es muy probable que este sea producto del abandono de muchas hectáreas en producción o de fincas ya no rentables, que hace aparente el incremento pero como consecuencia de una manipulación de datos de menos fincas con mejores producciones que las de las unidades de producción abandonadas. Por el contrario, la producción bananera en Venezuela y República Dominicana, caracterizada por una mayor utilización de sistemas de producción orgánica o de menos uso de insumos químicos, ha mantenido una notoria estabilidad durante los últimos diez años.

De los muchos efectos del deterioro de la salud del suelo, se comenta con mucha más y creciente preocupación el aparente y visible efecto en la estructura y funcionamiento del sistema radical de las plantas y su posible gran impacto en el logro de una productividad aceptable y sostenible.

2.8 Consideraciones Importantes de la aireación y el efecto en el cultivo de banano

Primavesi (2002) afirma que no existe una planta sana sin suelo sano. Y un suelo sano siempre es bien agregado, permeable para el aire y el agua. Esto es lleno de vida. Y la vida aerobia del suelo necesita de materia orgánica como alimento. Con poca o ninguna materia orgánica el suelo se desagrega, es duro y anaerobio, pierde su nitrógeno y muchos iones nutritivos son reducidos, Esto es, pierden su oxígeno y se ligan a hidrógeno, forma en que no son más nutrientes pero tóxicos para las plantas., sin embargo aparecen aún en las análisis del suelo como nutrientes.

En suelo compactado la planta siempre será mal nutrida y enferma. La utilización de desinfectantes químicos u orgánicos para el combate de hongos bacterias e insectos puede conseguir hojas libres de parasitas, pero la planta continua enferma. Plantas sanas no pueden ser parasitadas. Parasitas son la “policía sanitaria” del Planeta y son programadas para determinadas sustancias. Solamente pueden nutrirse de sustancias no acabadas y destruir lo que la naturaleza considera impropio para la vida. Los cultivos de plátanos o de bananos prefieren suelos más arcillosos que aseguran suficiente humedad. Estos crecen bien en regiones con lluvias bien distribuidas, o con riego bien hecho o con una napa freática elevada o lo mismo pantanoso. En este último caso exige un buen drenaje.- generalmente por cunetas

hasta 80 a 100 cm de profundidad para que las raíces no tengan contacto directo con el agua y estos suelos muchas veces necesitan también una corrección del contenido en cobre, que en tierras pantanosas puede ser muy bajo.

En suelos secos el banano no produce bien. El mejor control de humedad del suelo se hace en presencia de materia orgánica. En este caso las plantaciones soportan hasta unas semanas sin lluvia o riego, pero exigen lo suficiente en zinc y boro. El Zinc es el primer nutriente a faltar en épocas de sequía. Se conoce la deficiencia por las hojas muy rasgadas y hendidas por los viento y que la hoja más nueva permanece mucho tiempo enrollada y no quiere abrirse. Cuando falta Zinc aparecen en algunas raíces “rosetas” de radículas (radicales), cada vez que la planta pasa por unos días de sequía. Pero después continúa creciendo.

El Boro contribuye para el mejor desarrollo de las raíces, especialmente por su mejor penetración en el suelo. Si le faltara las raíces son cortas y superficiales y generalmente no salen de la materia orgánica que hay en la cápsula superficial del suelo.

Primavesi (2002). Expresa que en la naturaleza todo es interligado e interdependiente. Cada factor influye sobre el otro y no hay factores aislados. Esto solamente existe en nuestra ciencia analítica, porque se analiza factor por factor pero después es que se integran. Trabajando con factores y no con ciclos y sistemas, nunca permite encontrar las causas de los síntomas que aparecen.

Es muy difícil de obtener una biodiversidad de bacterias y hongos en el suelo con monocultivo; porque tanto las excreciones radiculares como la materia orgánica son

siempre la misma y como los microorganismos son calibrados, a través de enzimas, para una o dos sustancias orgánicas, la misma sustancia orgánica, siempre nutre solamente las mismas pocas cepas de microorganismos que se multiplican mucho, y se pueden tornar parasitas, enfermando las plantas. Esto ocurre especialmente cuando se mantiene el suelo limpio de cualquier maleza usando herbicidas.

Especialmente los herbicidas sistémicos no matan las malezas pero enflaquecen sus raíces y propician el ingreso de hongos que matan las plantas cuando se utilizan durante años herbicidas sistémicos

Cuando entran hongos pueda que no maten las plantas pero los raíces quedan gruesas y con muy pocos pelos absorbentes lo que hace que la absorción de agua y nutrientes sea más difícil.

Si hay biodiversidad vegetal también hay biodiversidad microbiana y de esta depende la productividad del suelo. Sin vida diversificada no hay fijación de suficiente nitrógeno, ni movilización de fósforo, de potasio y de micronutrientes dependiendo las plantas de los abonos químicos y como estos generalmente suministran solamente 3 elementos (NPK) y no 45 que la planta necesita, muchas sustancias no se pueden formar y los frutos tienen menos sabor, son menos dulces, pero los bananos tienen más enfermedades. La más temida es la Sigatoka (*Cercospora musae* el nombre que se da para un hongo de los Ascomycetos) que existe ya en toda América Latina y Caribe. Su multiplicación ocurre por esporos y la contaminación es favorecida por la humedad del aire. Su combate se hace como agro tóxicos y por la decepa de las hojas enfermas, Pero no se considera que el cultivo de banano nunca podría ser atacada si las plantas fuesen bien nutridas y con

todas sus sustancias formadas El mejor combate de Sigatoka es con materia orgánica diversificada que vivifica el suelo.

2.9 Trabajos de investigación en cultivo de banano utilizando SIG

Espinosa et al (2007), manifiesta que “El Manejo del cultivo por sitio utilizando los Sistemas de Información geográfica (SIG) se desarrollo 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”.

El mismo autor ppresenta 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 planteo 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 limites 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.

Bioagro (2004) en la planicie del Río Motatan (Venezuela) clasificó los suelos de acuerdo con la aptitud física teniendo en cuenta principalmente la profundidad del

horizonte A la textura, la presencia de moteados o gley y el riesgo de inundación. Para realizar dicha clasificación se utilizó el método de la limitación máxima según S y S et al (1991). Se encontraron tres clases de suelos por aptitud de uso. El principal uso agrícola que se obtuvo fue el cultivo de banano, caña de azúcar y maíz mecanizado todos bajo riego.

En este marco teórico se puede ver que la aireación del suelo se ha convertido en uno de los parámetros que están afectando los rendimientos del cultivo y que con una buena interpretación y análisis de los datos se puede establecer que tanto incide este factor en la productividad y que alternativas se pueden plantear para ejecutarlas y mejorar esta aireación.

3. HIPÓTESIS

H1: Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta que facilitan en forma significativa la evaluación del efecto de la aireación del suelo en los rendimientos del cultivo de Banano.

H0: Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta que no facilita de forma significativa la evaluación del efecto de la aireación del suelo en los rendimientos del cultivo de Banano.

4. OBJETIVOS

- **Objetivo General**

Determinar el efecto de la aireación del suelo en los rendimientos del cultivo de banano en la finca El Paso mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el fin de definir la importancia de conservar o mantener las propiedades físicas del suelo.

- **Objetivos específicos**

Determinar los sectores de mayor o menor productividad de la finca y así mismo los de mayor y menor aireación.

Relacionar espacial y estadísticamente, las variables de aireación más relevantes con el indicador peso de racimo para establecer el efecto de la aireación en los rendimientos del cultivo.

Conocer en que sitios se deben enfocar con mayor prioridad las prácticas de recuperación o conservación de las propiedades físicas suelo responsable de la aireación y la humedad.

5. METODOLOGÍA

Para desarrollar este proyecto se implantaron las etapas de conceptualización, captura de datos y ajuste de cartografía, ingreso de datos, desarrollo del modelo conceptual, resultados y discusión, conclusiones y recomendaciones. (Ver Figura 3)

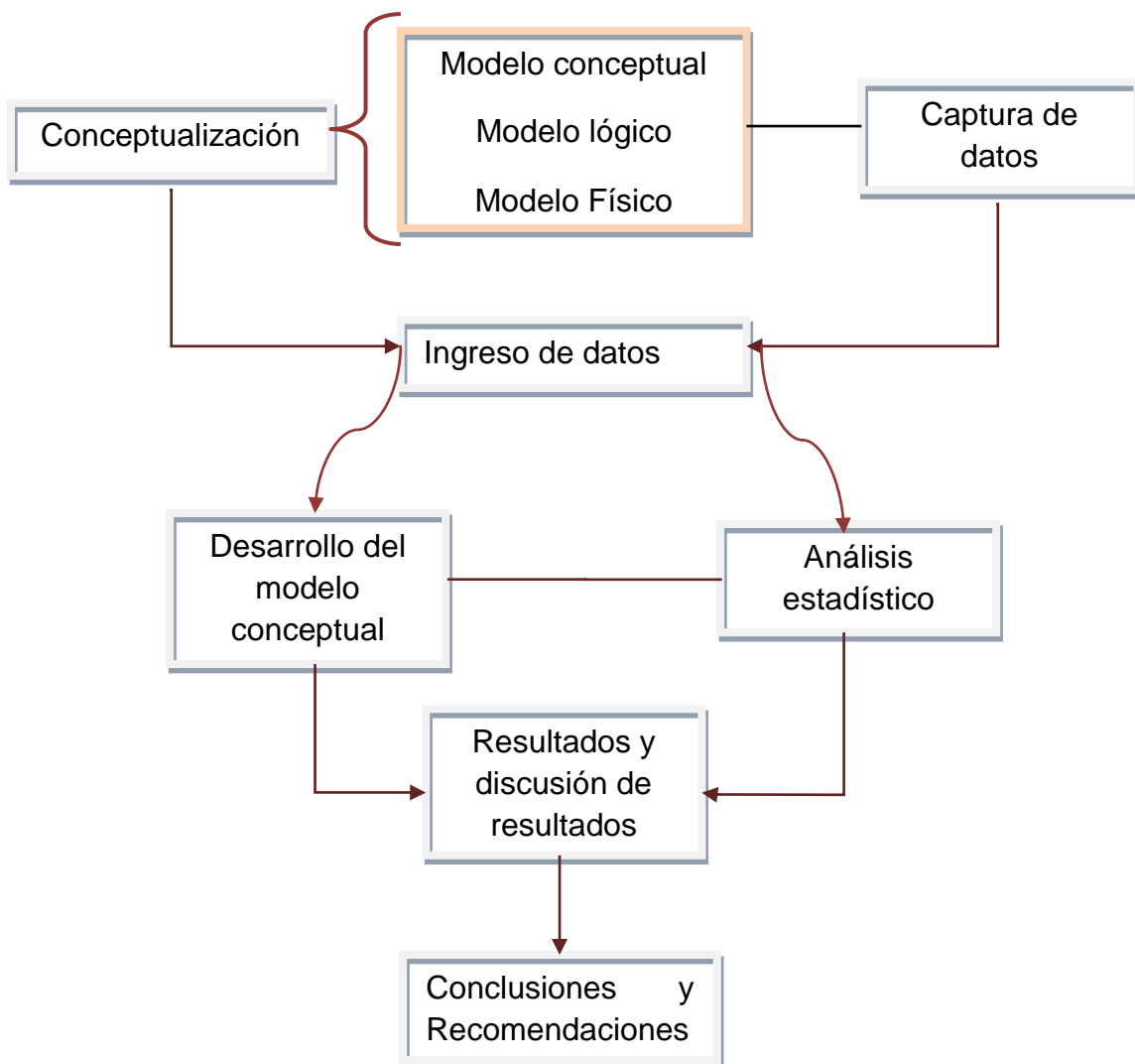


Figura 3 Procedimiento Metodológico

5.1 Conceptualización

En esta etapa se definieron los componentes, las variables, los indicadores, el modelo conceptual y el modelo lógico que nos permitieron cumplir con el objetivo de la tesis.

- Definición de componentes

Entidades: Suelos y rendimientos determinados por el peso de racimo obtenido en la cosecha.

- Definición de Variables.

Las variables que se estudiaron para determinar el efecto de la aireación en los rendimientos del cultivo de banano fueron Conductividad Hidráulica, Velocidad de Infiltración, Profundidad de los Horizontes y Porcentaje de Macroporosidad.

La unidad espacial para determinar la variabilidad de la aireación del suelo fue la unidad de suelos.

- Definición de los indicadores

Los indicadores para verificar la hipótesis fueron las relaciones temporales y espaciales que se realizaron entre la aireación del suelo y el peso del racimo.

El indicador que nos sirvió para determinar el efecto de la aireación del suelo en la productividad del cultivo de banano en la finca el paso fue el Peso de racimo, esto debido a que es el dato que más está relacionado con lo que ocurre en el campo.

La unidad espacial para determinar los rendimientos del cultivo de banano representados, en Peso de racimo en Kilogramos (Kg) fue el lote. Para nuestro caso en la finca el Paso hay en total 34 lotes distribuidos de acuerdo con la decisión administrativa de la finca y teniendo en cuenta la ubicación de los cable vía.

- Definición del modelo conceptual

En la figura 4 se muestra el modelo conceptual que se definió y con el que se obtuvieron las relaciones espacio – temporales para cumplir con los objetivos y comprobar la hipótesis. Según este caso que aplica para toda la información primero se obtuvo el mapa de aireación donde se integraron las tres variables.

Seguido a este paso se clasificó el peso de racimo de la siguiente forma: el archivo del peso racimo se denominó para este caso REN2010 ; este shape se paso de forma vector a raster y el subproducto se denominó pr522010 porque en este caso se estaban utilizando los datos de la columna denominada Prom52 que corresponden al promedio de peso racimo realizado con los datos colectados desde la semana 40 a 52 de 2010 ultimo clúster de este año; después se reclasificaron con la herramienta reclassify y se generó el raster denominado pr502010class.

El raster pr502010class se integró con el de aireación de suelo (aireación) con la herramienta Raster Calculator y el raster resultante se denominó pair522010, el cual nos muestra las clases de Peso de racimo Vs la aireación del suelo y nos permite establecer la relación espacial. En la Tabla 2 se presenta el significado de los atributos y variables definidos en la conceptualización.

Atributo	Definición	
CHCLASSS	Conductividad Hidráulica clasificada según rangos del estudio	Se refiere a la velocidad del movimiento de agua a través del perfil del suelo, bajo los efectos de la gravedad, la capilaridad y otros agentes impulsores. Se expresa en centímetros por hora
INFCLASS	Velocidad de Infiltración clasificada según rangos del estudio	Relación entre la lámina de agua que pasa por la superficie del suelo y el tiempo que tarda en hacerlo. En centímetros/Hora
MACROCLASSS	Macroporosidad Clasificada en rangos del estudio	Porcentaje de poros cuyo tamaño es superior a 60 micras, influyen en la aireación y en gran medida en la infiltración del agua en el suelo.
REN2010	Rendimientos del Cultivo de las 10 primeras semanas del año	Promedio de peso de racimo de 10 semanas del año de en Kilogramos
Pr522010	Peso de Racimo promedio de 10 semanas del año	Promedio de peso de racimo 10 semanas del año en Kilogramos
Pr522010class	Peso de Racimo clasificado del promedio de 10 semanas del año	Peso de Racimo clasificado en los rangos definidos para el estudio del promedio de 10 semanas del año en Kilogramos.
Aireacmacrop	Aireación del suelo	Aireación del suelo calculada a partir de la relación espacial entre Velocidad de infiltración. Conductividad Hidráulica y macroporosidad.
Pair522010	Peso de racimo relacionado con la aireación del suelo	Relación del peso de racimo relacionado espacialmente con la aireación del suelo clasificados según rangos definidos para el estudio
PesoRacimo	Peso de racimo de Banano	Peso de racimo en Kilogramos por lote y promediado cada 10 semanas
LOTCODIGO	Código del lote	Número que se asigna al lote de acuerdo con una división de carácter administrativo.
PROMEDIO10	Promedio del peso de racimo cada 10 semanas	Promedio del peso de racimo que se obtiene en Kilogramos promediando los datos cada 10 semanas por lote
IDPERFIL	Identificador del perfil	Código alfanumérico que se asigna al perfil de suelo o cara de una calicata (hueco de 1,50m de largo por 1m de ancho por 1,50 m de profundidad) en la cual se midieron las características físicas.
HIDRAULIC	Conductividad Hidráulica	Se refiere a la velocidad del movimiento de agua a través del perfil del suelo, bajo los efectos de la gravedad, la capilaridad y otros agentes impulsores. Se expresa en centímetros por hora
INFILTRACI	Velocidad de infiltración	Relación entre la lámina de agua que pasa por la superficie del suelo y el tiempo que tarda en hacerlo. En centímetros/Hora
HORIZONTE	Capa del perfil del suelo	Capa del suelo que se describe por su profundidad, espesor y nomenclatura
DSPROFUNDI	Profundidad de cada capa	Describe la profundidad a la que se encuentra un horizonte en el suelo. Se especifica el límite superior e inferior en centímetros
NMMACROPO	Macroporos	Porcentaje de poros cuyo tamaño es superior a 60 micras, influyen en la aireación y en gran medida en la infiltración del agua en el suelo.

Tabla 2 Definición de Términos Utilizados en la Conceptualización

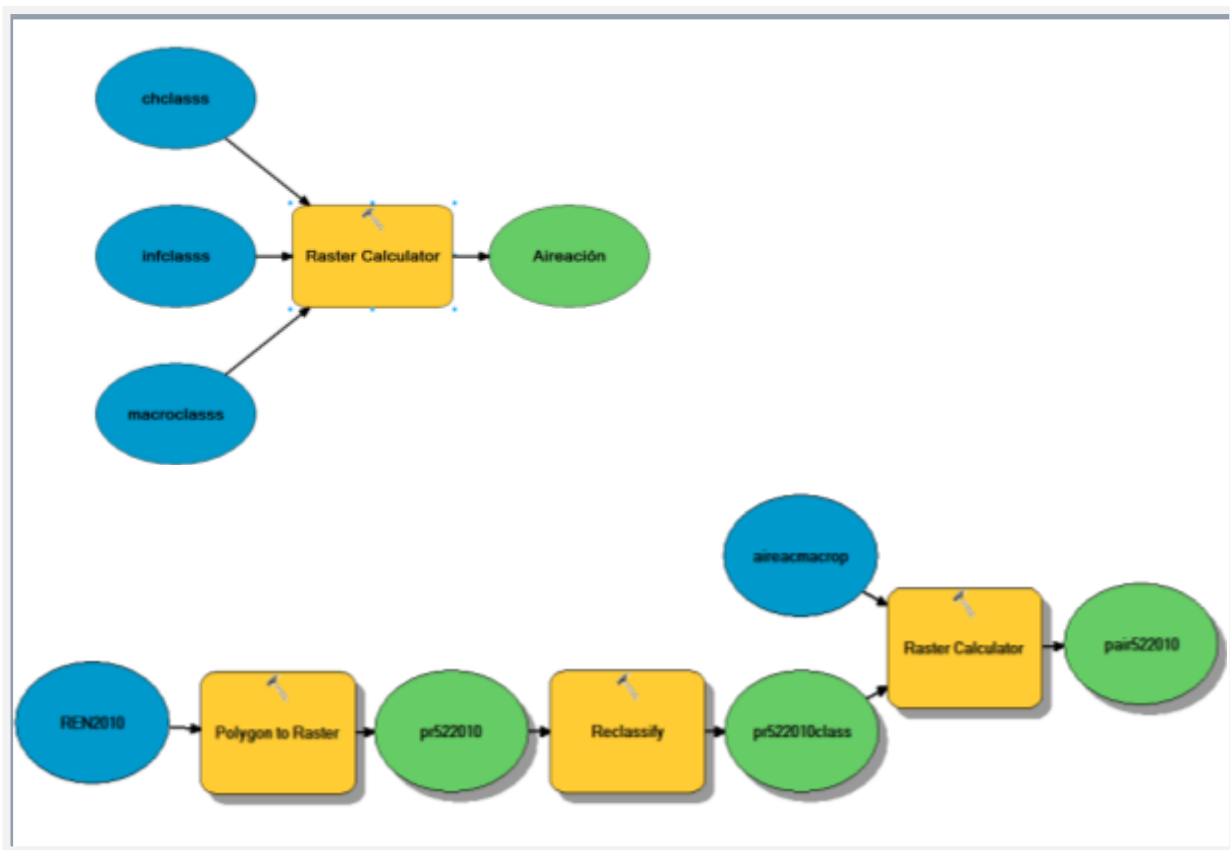


Figura 4. Modelo conceptual

- **Modelo lógico.**

En este modelo se presentan los indicadores y las variables de cada componente y la relación espacial que tienen basados en la entidad relación. (Ver Figura 5).

RENDIMIENTO (LOTCODIGO, **PROM10**)

- **Enunciado de las tablas normalizadas**

Suelos (CDPERFIL, HIDRAULIC, INFILTRACI)

Horizonte (**CDPERFIL**, NMMACROPO, DSPROFUNDI)

Rendimiento (LOTCODIGO, PROM10)

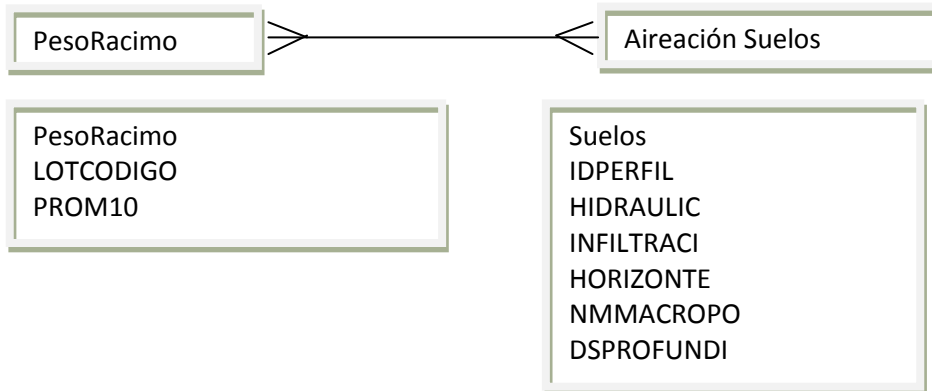


Figura 5 Modelo Lógico

Suelos (CDPERFIL, HIDRAULICA, INFILTRACI, DSPROFUNDI, NMMACROPO)

Los atributos llave principales están subrayados y los atributo llave alternos están escritos en cursiva y negrilla. A continuación se presenta en la Figura 6 el Modelo Entidad-Atributo _ Relación.

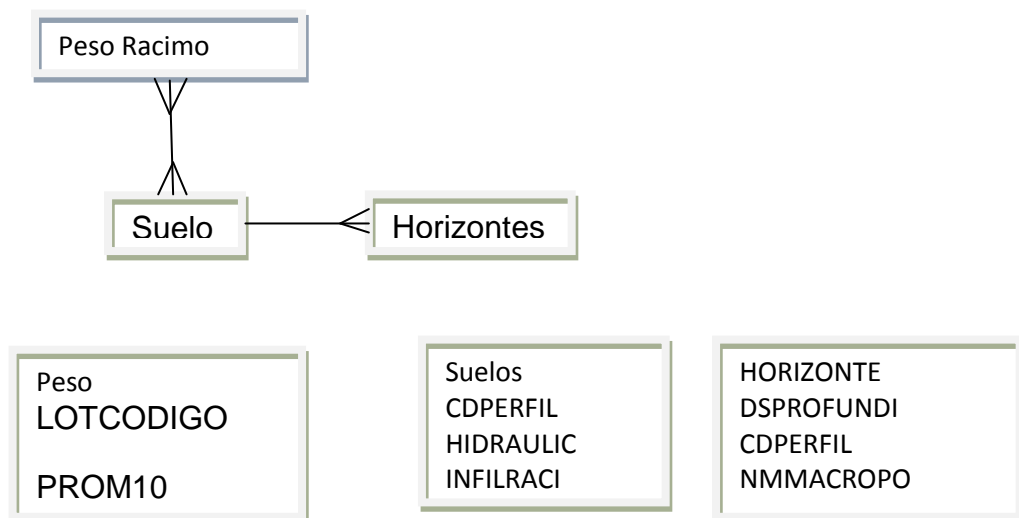


Figura 6 Modelo Lógico Entidad Relación

5.2 Captura de datos y ajuste de cartografía

Se recolectaron los datos de peso de racimo que el productor tiene en la finca El Paso tomados con una bascula electrónica marca Trutest por lote, por semana, desde el año 2008 hasta el 2011. Estos datos se promediaron cada diez semanas teniendo en cuenta que son épocas en que se ve más marcada la variabilidad de los pesos y además las condiciones de precipitación que es la variable más relevante como se observa en la Figura 7.

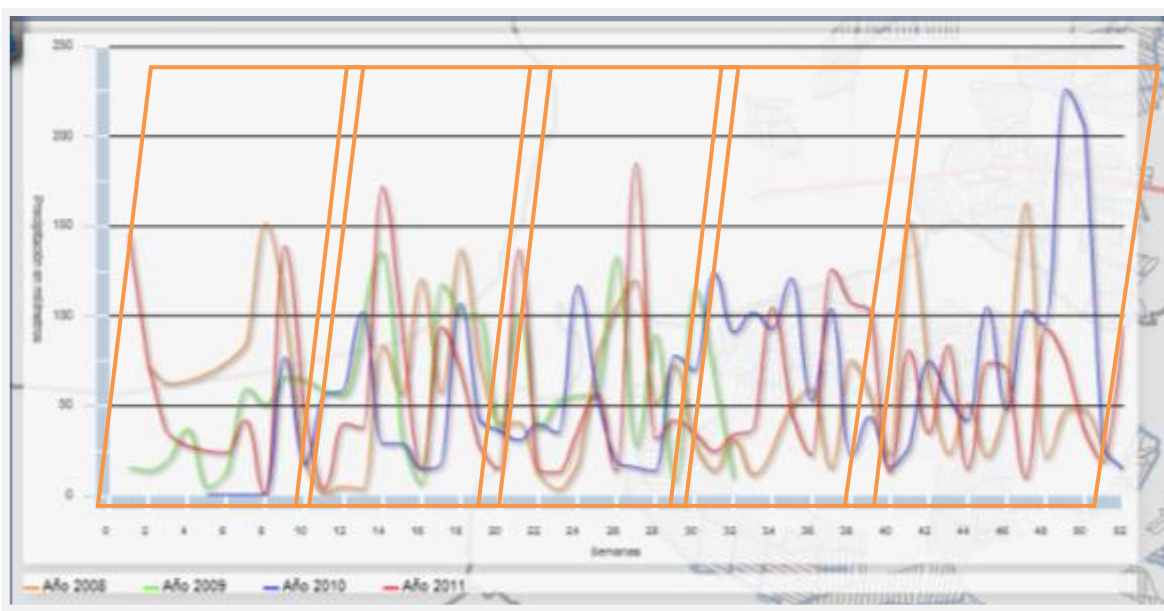


Figura 7 Variabilidad de la precipitación. Tomada del SIG UNIBAN

Los datos de suelos se tomaron de información secundaria del estudio MOFER realizado por UNIBAN S.A. en el año 2005 que consistió en un estudio detallado de suelos donde se definieron las unidades preliminares mediante la fotointerpretación de fotografías aéreas y luego se comprobaron y definieron en campo con cateos y

cajuelas de comprobación, posteriormente se describieron los horizontes en calicatas representativas y se tomaron muestras que se analizaron en el laboratorio.

En la semana 33 de 2012 se volvió a corroborar en campo la Velocidad de Infiltración, la Conductividad Hidráulica y la macroporosidad y el resultado obtenido fue similar al del año 2005.

5.3 Ingreso de datos

Una vez tomados los datos de peso de racimo por lote y por semana se promediaron cada 10 semanas y se ingresaron en la base de datos de acuerdo con la estructura preestablecida. Se obtuvieron 5 datos por año desde el 2008 hasta el año 2011; es decir 20 datos en total para cada lote. Luego se espacializaron utilizando la herramienta Join de Arc Gis después de especializados se clasificaron en 4 rangos desde 20 hasta 40 Kg de 5 en 5. Figura 8.

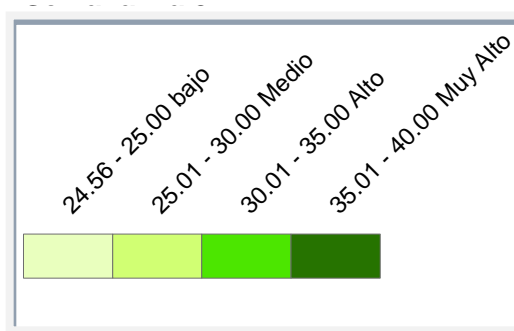


Figura 8. Rangos de peso de racimo

Las variables de suelos (Velocidad de infiltración, Conductividad Hidráulica y macroporosidad) también se relacionaron espacialmente por unidad de suelos por medio de la herramienta join, finalmente se clasificaron y analizaron para cada sitio de la finca. Figura 9.



Figura 9. Rangos de las variables de aireación del suelo.

5.4 Desarrollo del modelo conceptual

Después de clasificar y evaluar cada indicador y variable por separado se integró en un solo mapa la información de la aireación de los suelos y la del peso de racimo. En total se obtuvieron 5 mapas uno por cada 10 semanas cada uno de estos contienen los cuatro años estudiados. Esta integración espacial se realizó aplicando las operaciones de análisis previstas en el modelo conceptual con el fin de relacionar las variables con el indicador y establecer con mayor precisión cuales son los sitios de la finca que presentan mayor o menor aireación y como inciden en el peso de racimo del cultivo por cada lote o sector. Alternó a esto se realizaron las correlaciones estadísticas y se analizaron.

5.5 Resultados y discusión de resultados

Se interpreto y analizó la información desde el punto de vista espacial y estadístico y se presentaron los resultados y discusión con lo que se definió el posible efecto de la disminución de la aireación de los suelos en el rendimiento del cultivo del banano de la finca el Paso y se verificó la hipótesis.

- **Espacial**

Se analizó el peso del racimo cada 10 semanas en los últimos 4 años y se describió en que sector se presentan los pesos mayores, los menores o los de nivel medio en cada caso. Esto con el fin de definir el comportamiento del indicador en estos rangos de tiempo por sector de la finca.

Después se realizó el análisis de la información de aireación de suelos en la que se interpretó por separado cada variable de Conductividad Hidráulica, Velocidad de Infiltración y Macroporosidad con el fin de establecer el comportamiento de cada variable en cada sector de la finca.

Esta información de aireación de suelos se integró en un solo mapa denominado aireación con el fin de obtener la aireación sectorizada y clasificada por sector.

Por último con el fin de cumplir con el objetivo y comprobar la hipótesis, se analizaron las relaciones que se generaron entre el indicador peso de racimo y la aireación del suelo cada 10 semanas durante los últimos 4 años con lo que se determinó la relación espacial entre el indicador de productividad (peso de racimo) y las variables integradas en la aireación del suelo.

- **Estadística**

Se realizó la correlación estadística de los datos de peso de racimo cada 10 semanas en relación con las variables de aireación y se estableció la correlación lineal. Esto con el fin de ver el efecto de la aireación del suelo en los rendimientos del cultivo de banano y verificar la hipótesis planteada “Los Sistemas de Información Geográfica son o no son una herramienta que facilita en forma significativa la evaluación del efecto de la aireación del suelo en los rendimientos del cultivo de Banano”.

Los resultados estadísticos pueden demostrar que hay o no hay relación entre el indicador y las variables, pero el resultado generado espacialmente desde los Sistemas de Información Geográfica pueden demostrar un comportamiento diferente teniendo en cuenta que en cada sector los fenómenos se pueden comportar de diferente forma.

5.6 Conclusiones y recomendaciones

Con base en los resultados del análisis del indicador y las variables y su relación espacial y estadística se obtuvieron las conclusiones y recomendaciones con las que se comprobó la hipótesis y se establecieron las probables relaciones.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los resultados y la discusión de estos resultados obtenidos. Primero se analiza el indicador y las variables por separado y luego se analizan integradas (Peso de Racimo Vs Aireación del Suelo).

6.1 Indicador Peso de Racimo

- **Semana 1 a 10**

En la figura No 10 se observa que el peso de racimo en Kilogramos de los lotes 16 a 21 es el más alto en los últimos cuatro años y se encuentra entre los rangos medio y alto. Los pesos de rango bajo están distribuidos en el resto de los 34 lotes. Esto indica que en un sector de la finca específico (lote 16 al 21) se obtienen las mejores productividades entre la semana 1 y 10 y que en el resto de la finca la productividad es variable. En este caso los pesos de racimo en la gran mayoría de años están entre los niveles bajo y medio y sólo en el año 2011 el peso varía entre bajo y alto.

En los años 2009 a 2011 se presentan valores bajos de peso de racimo en los lotes 2 y 3.

- **Semana 10 a 20**

En esta época del año se observa en la Figura 11 que el mejor peso de racimo en todos los años está entre los lotes 12 y 21 clasificados en los rangos medio a alto. El lote 16 en particular conserva siempre el peso más alto y el lote 1, 2 y 3 el peso más

bajo (excepto en el año 2011 en donde el lote 21 presenta peso medio) y el resto de lotes presentan una clasificación indiferente. En general en toda la finca los pesos van desde bajos a altos y en el año 2008 es cuando predominan los pesos altos entre el lote 12 y 21.

De acuerdo con lo anterior se deduce que la mayor productividad para esta época del año está entre los lotes 12 al 21 y que la menor está en los lotes 1, 2 y 3.

- **Semana 20 a 30**

En esta época del año el mejor peso del racimo se obtiene en los lotes 16 al 21 con niveles medios y altos y los más bajos en los lotes 2, 3, 32 y 33 con niveles bajos excepto en el año 2008 en donde el nivel es medio como se observa en la Figura 12. Esto indica que la productividad en esta época del año está entre los niveles bajo y alto y que la mejor se presenta en el sector donde están ubicados los lotes 16 al 21 y la menor en los lotes 2, 3, 32 y 33.

Según estos valores el lote 1 y 2 se ven muy afectados en las épocas de mayor precipitación probablemente porque el suelo se satura más de agua y disminuye la aireación afectando el sistema radicular.

- **Semana 30 a 40**

En el promedio obtenido entre las semanas 30 y 40 se observa en la Figura 13 que los valores más altos del peso de racimo se presentaron en los lotes del 13 al 21 ubicados entre los niveles medio y muy alto y los más bajos se presentan en el lote 32 excepto en el año 2008 donde el nivel es medio.

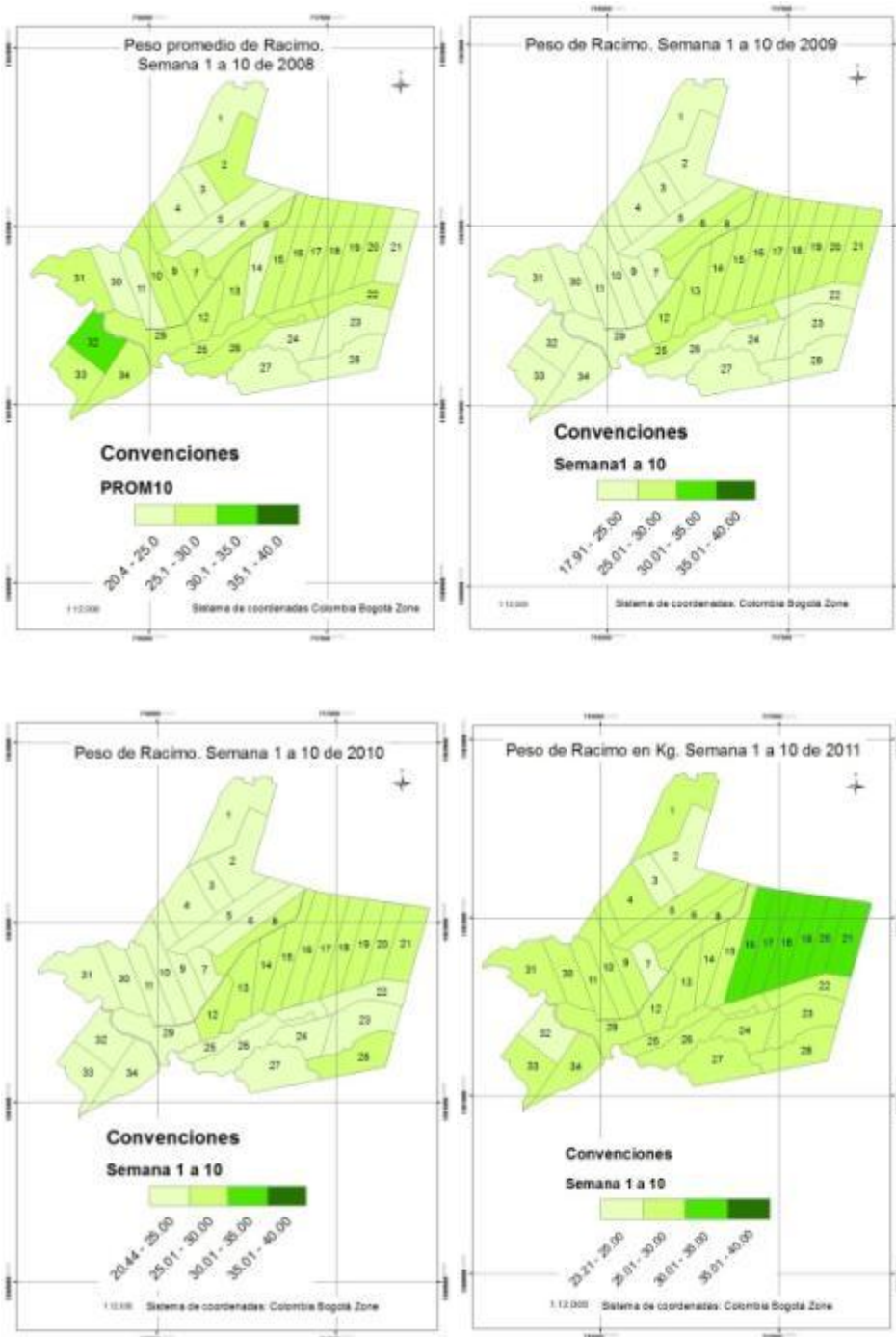


Figura 10 Peso promedio de racimo. Semana 1 a 10. Año 2008 a 2011

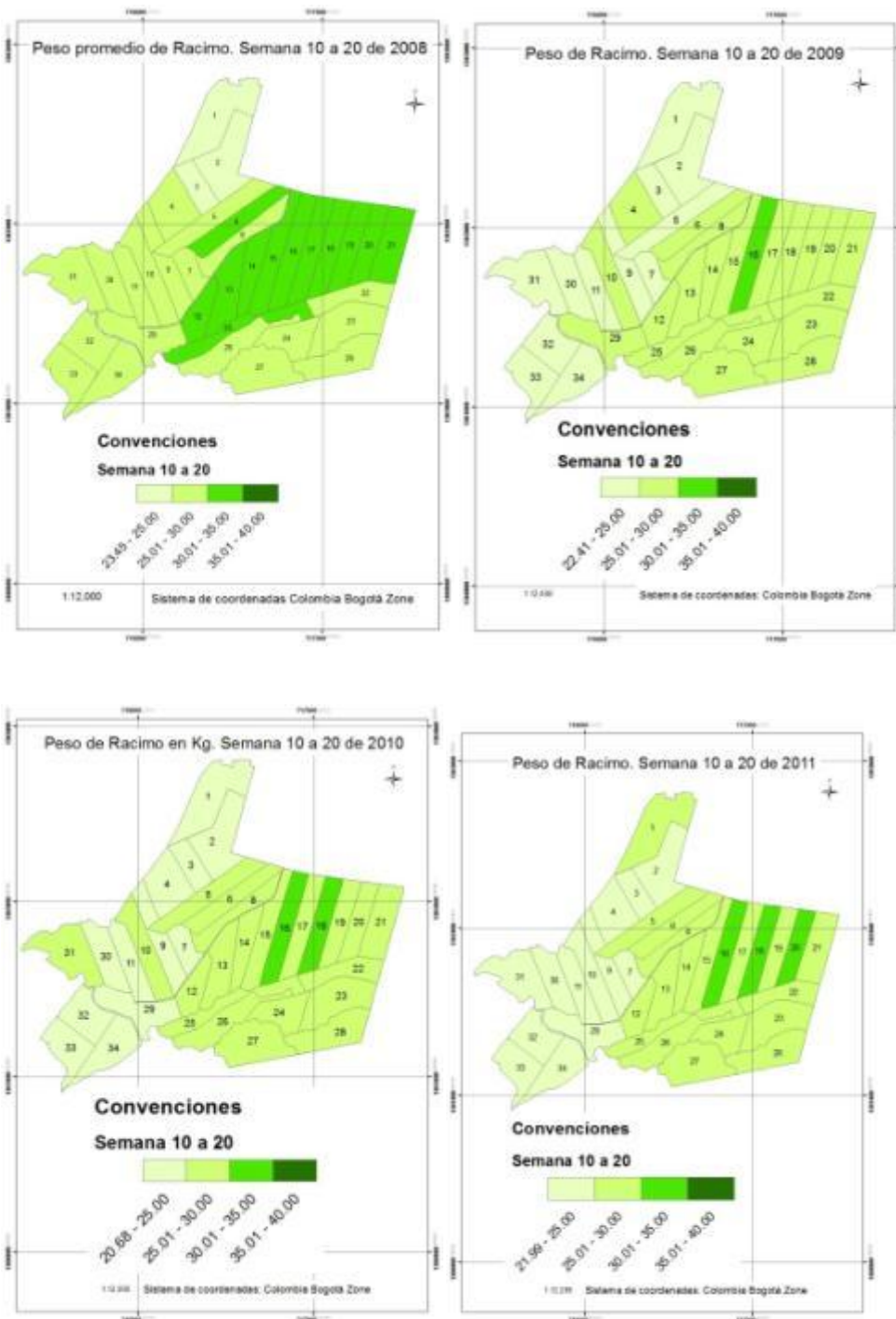


Figura 11 Peso promedio de racimo. Semana 10 a 20. Año 2008 a 2011

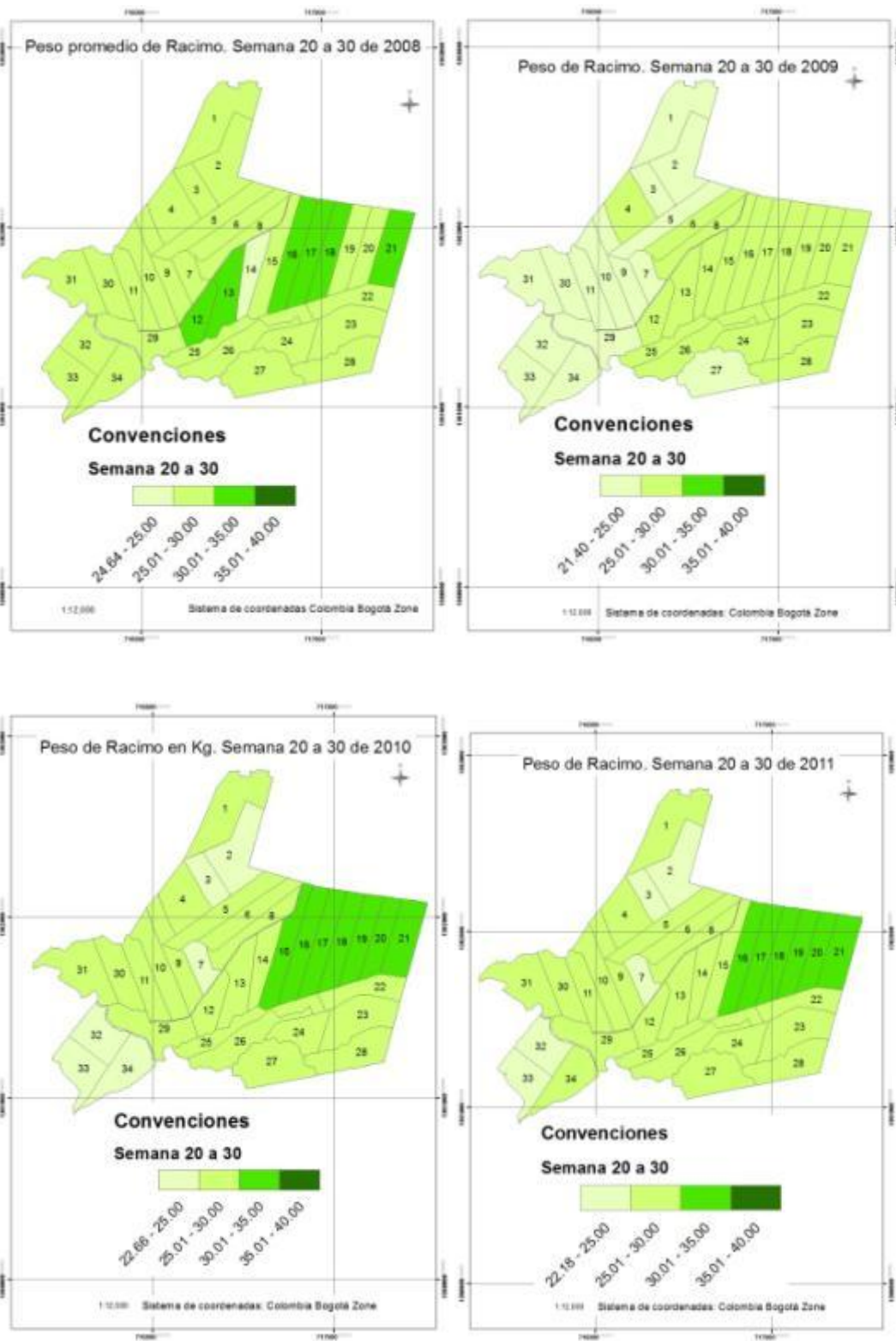


Figura 12 Peso promedio de racimo. Semana 20 a 30. Año 2008 a 2011

- **Semana 30 a 40**

En el promedio obtenido entre las semanas 30 y 40 se observa en la Figura 13 que los valores más altos del peso de racimo se presentaron en los lotes del 13 al 21 ubicados entre los niveles medio y muy alto y los más bajos se presentan en el lote 32 excepto en el año 2008 donde el nivel es medio.

En esta época del año el nivel del peso de racimo sube hasta muy alto en el lote 16 en el año 2008 y 2010. En general el peso de racimo varía entre bajo y muy alto lo que indica que probablemente en esta época del año es cuando la productividad es mejor en la finca y se presenta en el sector donde están ubicados los lotes del 13 al 21. La menor ocurre en el lote 32.

- **Semana 40 a 52**

En este rango los mayores valores de los pesos están en los lotes 12 al 21 correspondientes al nivel medio a muy alto, El valor más bajo se presenta en el lote 32 con un nivel bajo en los cuatro años y en los lotes 2 y 3 excepto en el año 2010 donde este valor es medio, como se observa en la Figura 14.

Los lotes 16 y 18 fueron los que presentaron valores muy altos en el año 2010. En general el peso de racimo en la finca estuvo entre un nivel bajo a muy alto. La mejor productividad en esta época del año se presenta en los lotes 12 a 21 con mejores valores en los lotes 16 y 18 y la más baja en los lotes 2, 3 y 32.

6.2. Variables de aireación del Suelo

Los suelos están representados de acuerdo con los valores que adquieren sus indicadores. Los colores más rojizos indican que este indicador en ese sector de la finca se sale de los rangos óptimos para el cultivo de banano, en la medida que el color es más claro (menos rojizo) entonces los rangos son óptimos o se acercan a estos niveles.

En la Figura 15 se observa la representación espacial de la conductividad hidráulica, Velocidad de infiltración, macroporosidad y textura, esta distribución muestra los sectores de la finca con más potencial de aireación así como los de menos potencial.

Respecto a la conductividad hidráulica se observa que en el sector central y occidental de la finca es moderadamente lenta con valores de 0,53 y 1,75 cm/Hora y aunque no es el rango óptimo para el cultivo de banano es el mejor en toda la finca. Hacia la parte norte y sur oriente esta variable es muy lenta (con valor de 0.02 cm/H y hacia el sur occidente es lenta con valores de 0.48 cm/H. Esto indica que la parte central y oriental de la finca es la que tiene mayor potencial desde el punto de vista de la conductividad hidráulica.

La velocidad de infiltración, según el plano de la siguiente página en la parte central, oriental y noroccidental es moderada con valores de 5,39 y 6,1 cm/H. Esta infiltración es la más adecuada para el cultivo de banano. Hacia el borde del Norte y hacia el occidente y un poco del sur es muy lenta (0.01 a 0.09 cm/H). Según esta variable la parte que presenta mejor velocidad de infiltración es la central y occidental al igual que lo que manifiesta la conductividad hidráulica.

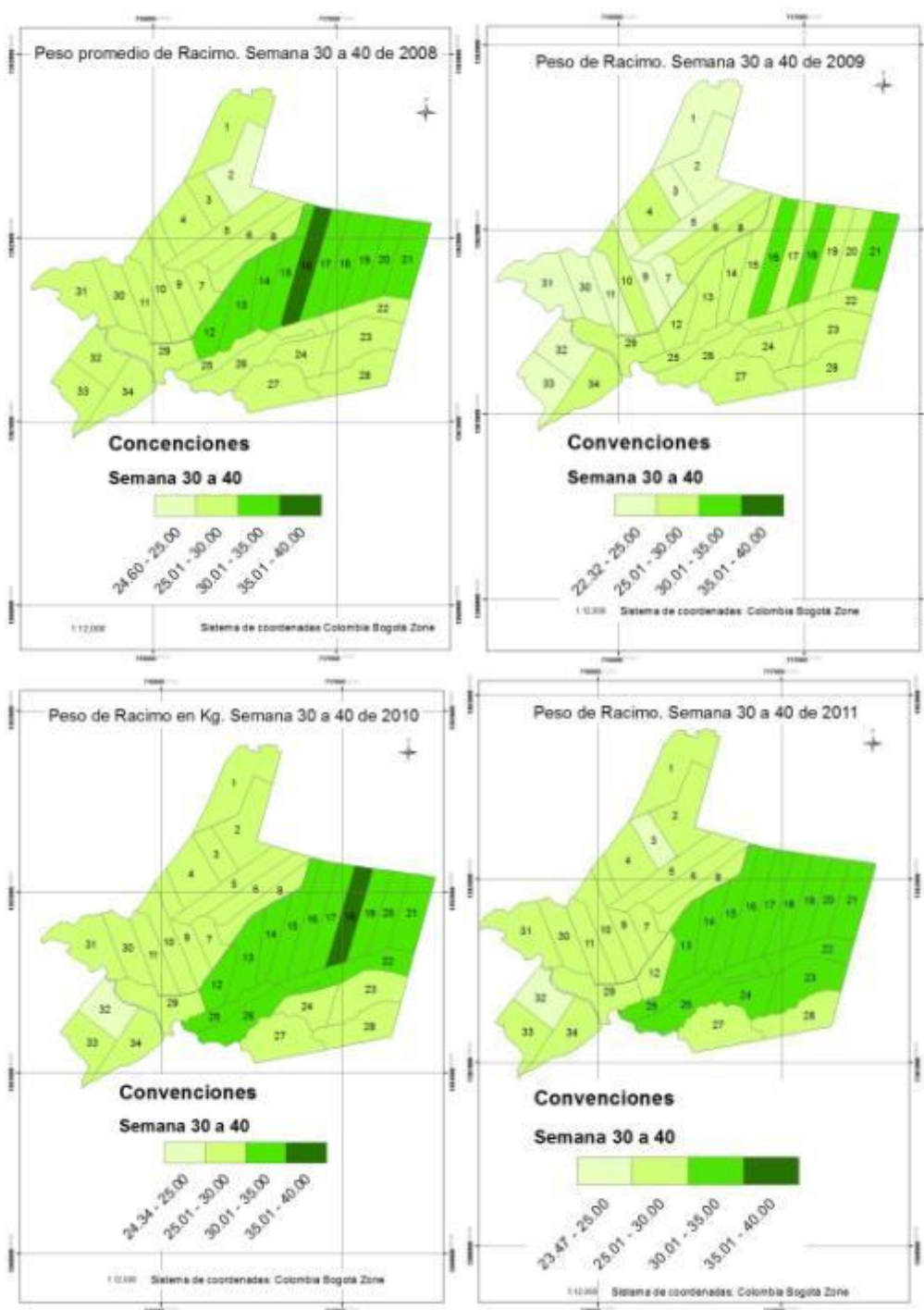


Figura 13 Peso promedio de racimo. Semana 30 a 40. Año 2008 a 2011

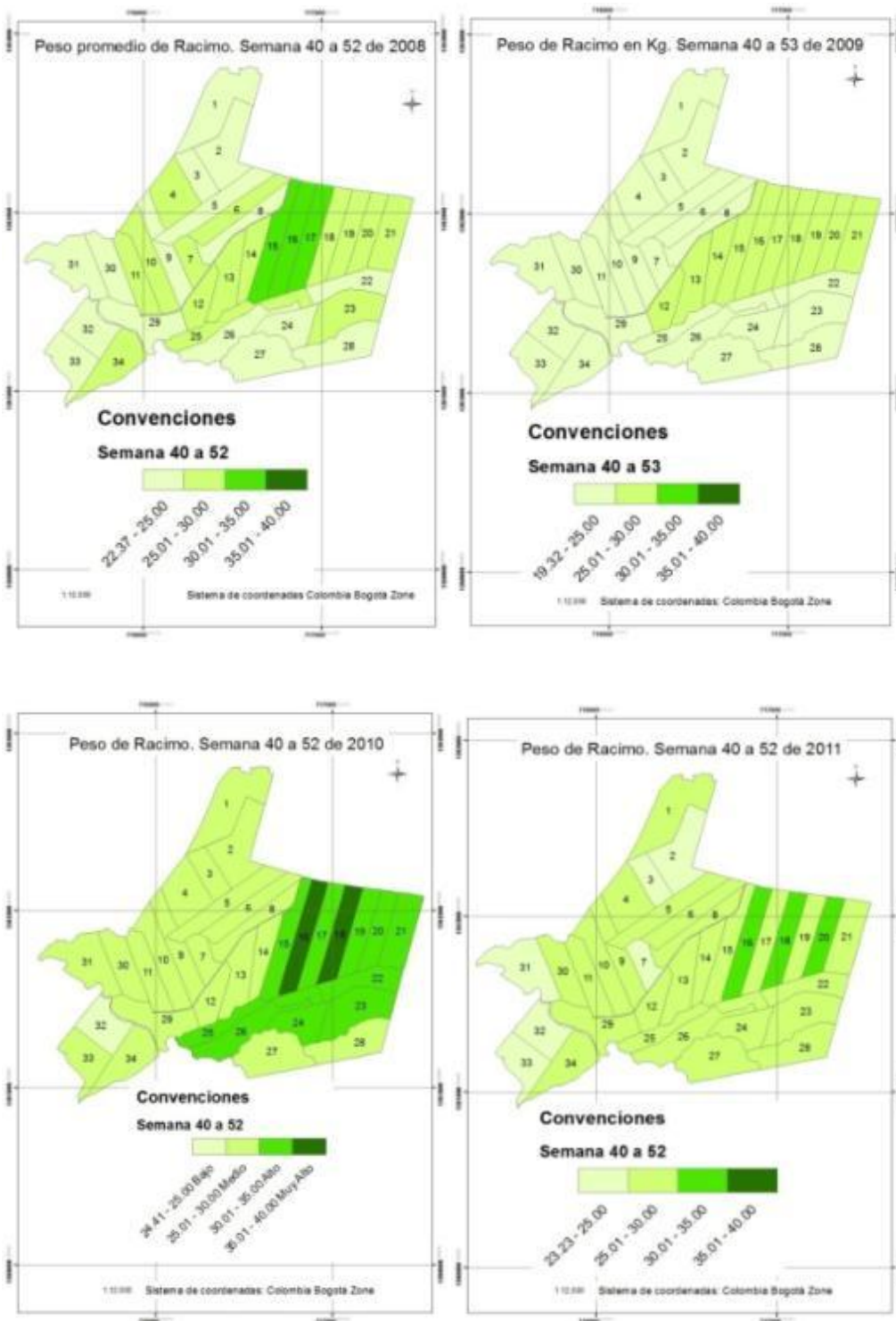


Figura 14 Peso promedio de racimo. Semana 40 a 52. Año 2008 a 2011

La macroporosidad que es una de las variables que más incide en la conductividad hidráulica, la infiltración y la aireación. Hacia el centro y un poco hacia el oriente se encuentra un porcentaje de poros medios entre 10 y 20% en todos los horizontes o capas del suelo. Este nivel de macroporosidad es el adecuado para el cultivo del banano.

Hacia el sur occidente y el borde del norte el porcentaje de macro poros está en el rango bajo (menor del 10%) que afecta negativamente la aireación del suelo.

Según la macroporosidad la parte que presenta mejor aireación es el centro y un poco hacia el oriente de la finca.

Analizando el promedio de porosidad por unidad de suelos se observa que el comportamiento es igual a cuando se analiza este parámetro por horizontes o capas.

En la Figura 16 de aireación del suelo que resultó de integrar espacialmente las variables de Infiltración, conductividad Hidráulica y Macroporosidad se observa que resultaron tres unidades clasificadas en el nivel bajas, moderadamente bajas y óptimas. En esta figura se puede ver que la aireación que está en el rango óptimo está ubicada en gran parte de los lotes 1 al 9 y 12 al 26 y todo el 28.

La aireación moderadamente baja está distribuida en el borde norte de la finca y la baja está en la mayoría o todo el lote 4, 10, 11 y del 29 al 34.

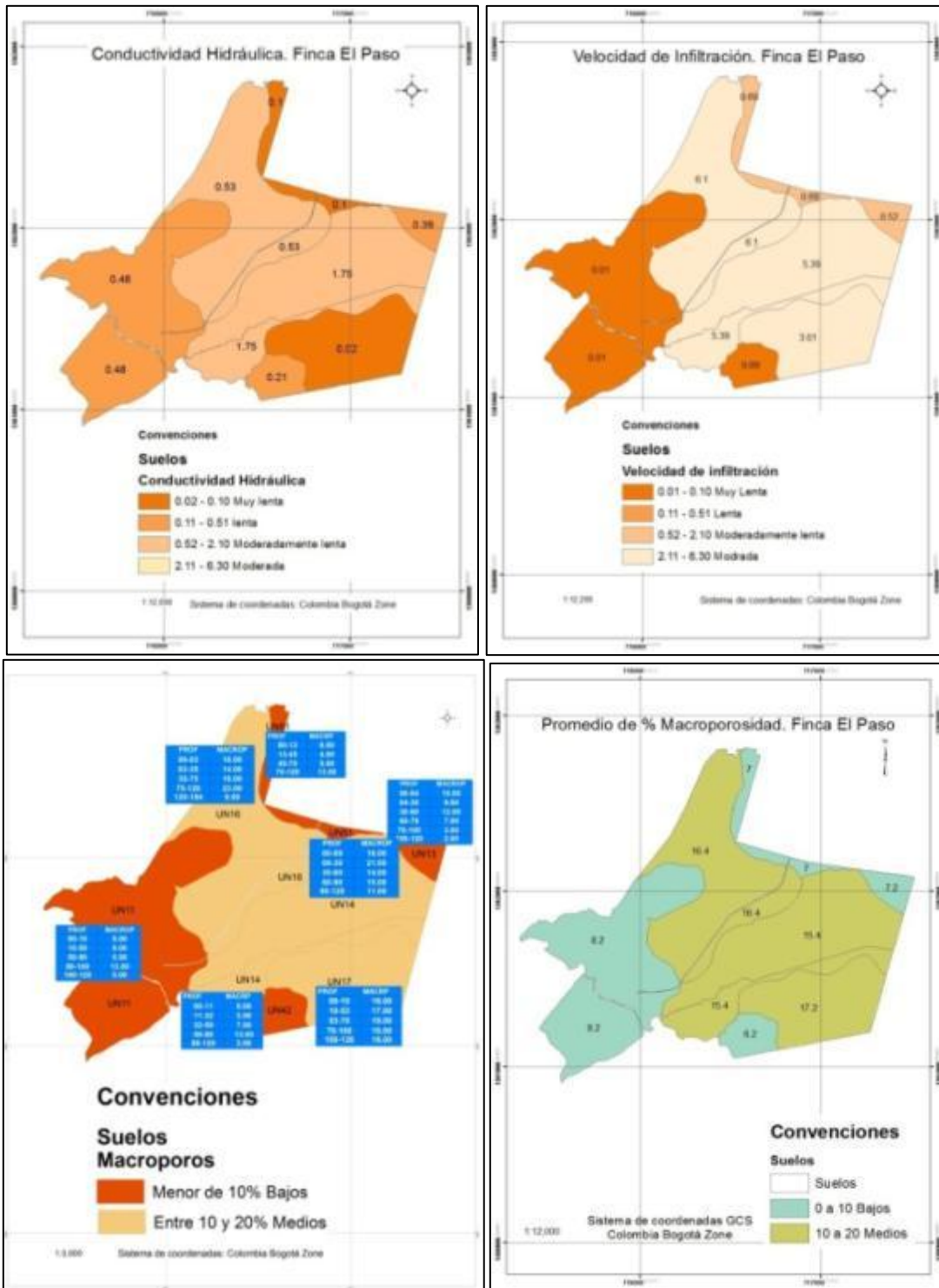


Figura 15 Espacialización de las Variables de Aireación del Suelo

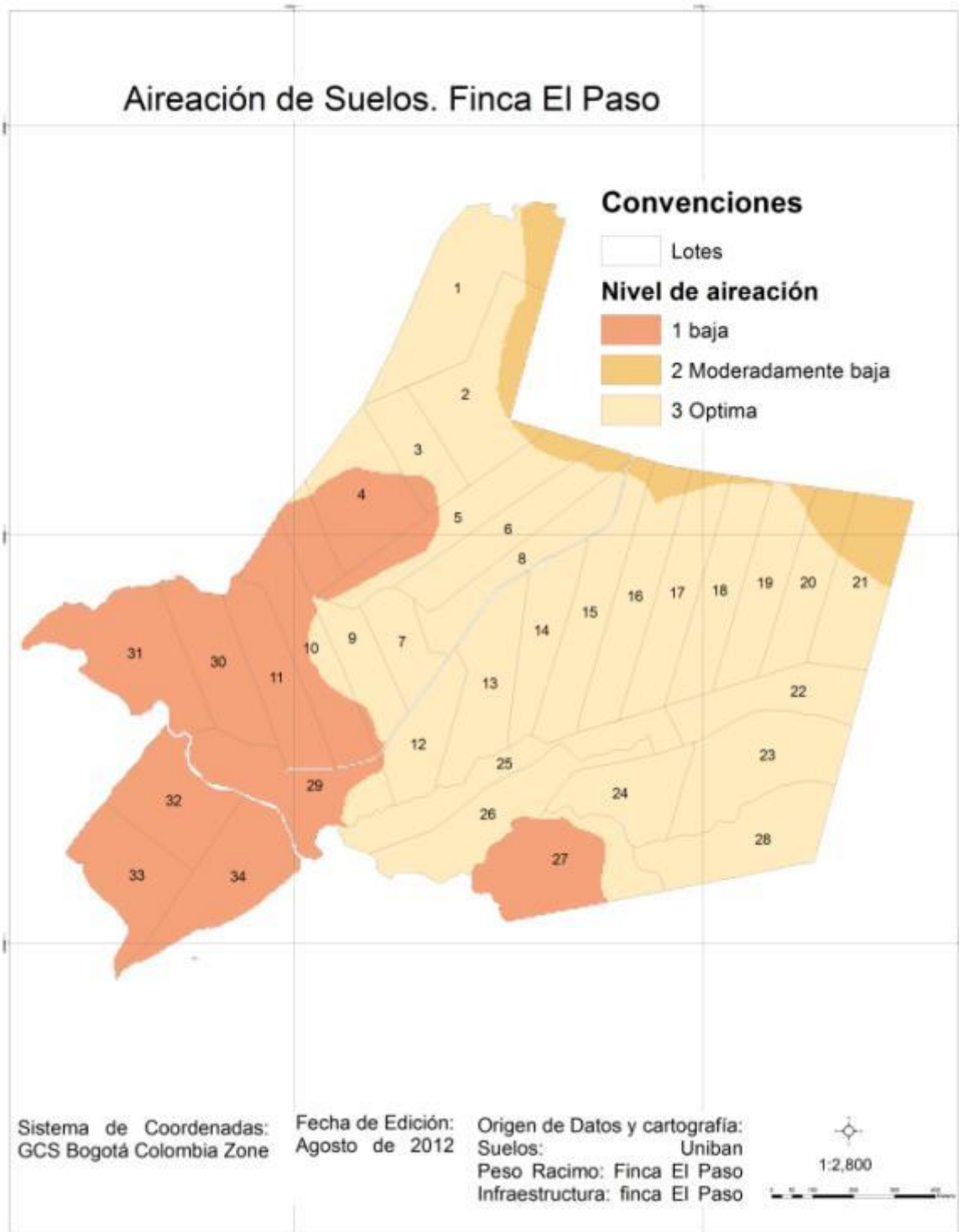


Figura 16. Aireación del suelo de la finca el Paso

6.3 Relaciones del Peso de Racimo Vs La Aireación

- Espaciales

Estos son los rangos y niveles establecidos del peso promedio de racimo por lote desde el año 2008 al 2011, Tabla 3; de la Velocidad de infiltración y de la conductividad hidráulica Tabla 4 y de la macroporosidad Tabla 5 por unidad de suelos. Estos rangos se determinaron teniendo en cuenta los datos de la finca.

Rango	Categoría	Nivel
< 25	1	Bajo
>=25 < 30	2	Medio
>= 30 <= 35.5	3	Alto

Tabla 3. Clase de Peso de Racimo

Infiltración	Conductividad Hidráulica	Categoría	Nivel
< 0.1	<0.51	1	Bajo
>=0.1 < 0.69		2	Medio
>=0.69 < 6.1	>= 0.51 < 1.75	3	Alto

Tabla 4. Clases de Infiltración y Conductividad Hidráulica.

Rango	Categoría	Nivel
0 a 10	1	Bajo
10 a 20	2	Medio

Tabla 5. Clases de Macroporosidad

El resultado de integrar la información de Peso de Racimo Vs Aireación del suelo cada 10 semanas desde el año 2008 hasta el año 2011 se ve reflejado en los siguientes mapas.

Semana 1 a 10 Vs Aireación del Suelo

En la Figura 17 se Observa la relación entre pesos de racimo y Aireación del suelo en las primeras 10 semanas del año durante 4 años (2008 a 2011). En este caso se observa que en sitios donde la aireación es baja el peso de racimo toma valores bajos y esto ocurre con mayor frecuencia en el lote 32 en los años 2009 a 2011 y también en el lote 27 y una parte del lote 4 durante los años 2008 a 2010.

En el sitio donde están ubicados los lotes 16 a 20, donde la aireación es óptima se presentan los valores más altos de peso de racimo que están en el rango medio y alto. Esta relación es la más frecuente en este sitio de la finca.

Hay un sector de la finca donde en todos los casos el peso de racimo es medio y bajo y la aireación es Baja a Moderadamente Baja. Esto ocurre en los lotes 4, 9, 10 y en los lotes 11, 27 y del 29 al 34.

- **Semana 10 a 20 Vs Aireación del Suelo**

En la Figura 18 se observa que se presenta una relación entre el peso de racimo y la aireación del suelo donde la aireación del suelo es Baja el peso de racimo es Bajo (Bajo – Baja) en los lotes 32 al 34 entre los años 2009 al 2011. En los lotes 8, 22 al 24 y 26, 28 se observa una relación de peso de racimo Medio con aireación óptima (Medio – Óptima) para esta época del año durante todos los años. Sólo la parte del lote 16 donde la aireación es óptima presenta en todos los casos una relación de peso de racimo Alto y aireación del suelo Óptima (Alto – Óptima).

Los sitios donde la aireación es Baja o moderadamente baja el peso de racimo está en el rango Medio a Bajo es decir menor a 30 Kg.

Es decir que en esta época del año al igual que en la época anterior en estos sitios donde la aireación está entre baja y moderadamente Baja los pesos de racimo no fueron superiores a 30 Kg Esto se ve en parte de los lotes 4, 9, 10; en los lotes 11, 27 y del 29 al 34.

En el sitios donde la aireación es optima los pesos de racimo son Bajos (en parte de los lotes 1 al 6) y medios y altos (en los lotes 6, 8; en parte del 12 al 26 y 28).

- **Semana 20 a 30 Vs Aireación del Suelo**

En este caso en la Figura 19 se observa que en el lote 32 y 33 donde la aireación del suelo es baja el peso de racimo es bajo (Bajo – Baja), Lo contrario ocurre en los lotes 16 al 18 en el sector donde la aireación es óptima el peso de racimo es el mejor (alto o medio). En los sitios de los lotes 16 al 21 donde la aireación es óptima el peso es el mejor (Alto o medio) para los años 2009 al 2011.

Lo mismo que en los dos casos anteriores en el sector donde la aireación es baja y moderadamente baja el peso de racimo es medio y bajo como ocurre en parte en los lotes 4, 9, 10; en los lotes 11, 27 y del 29 al 34. Esto significa que donde la aireación es Moderadamente Baja o baja entonces en esta época del año los pesos de racimo son menores a 30 Kg.

Para este caso en sitios donde la aireación del suelo es óptima el peso de racimo está entre medio y alto (entre 25 y 35 Kg) y esto se observa en los lotes 5 a 8; 12 a 26 y 28.

- **Semana 30 a 40 Vs Aireación del Suelo**

En este periodo de tiempo en la Figura 20 se observa que donde la aireación del suelo es baja el peso de racimo es el menor (medio o bajo) en el lote 32 en todos los años. También se presenta que en los sitios de los lotes 16 y 18 donde la aireación es óptima el peso de racimo es alto.

La relación entre el peso de racimo Alto y la aireación óptima (Alto – Óptima) se repite en los lotes 13 al 21 para los años 2008, 2010 y 2011.

Es muy claro que en el sector donde la aireación está categorizada como Moderadamente baja o baja el peso de racimo sólo alcanza valores hasta 30 Kg lo que equivale a niveles medios y bajos de este indicador. Esto ocurre en parte en los lotes 4, 9, 10 y en toda el área de los lotes 11, 27 y del 29 al 34 y se repite de nuevo al igual que en los tres casos anteriores.

En este caso al igual que en el anterior también se presenta esta relación que indica que en los sitios donde la aireación del suelo es óptima el peso de racimo está entre medio y alto (entre 25 y 35 Kg).

En esta época de tiempo se repite al igual que en los dos casos anteriores que cuando la aireación del suelo es óptima el peso de racimo es medio y alto (entre 25 y 35 Kg).

- **Semana 40 a 52 Vs Aireación del Suelo**

En este rango de semana en la Figura 21 se puede ver que en todos los años en el sitio donde la aireación es baja el peso de racimo es bajo en el lote 32. En el lote 16 donde la aireación es óptima el peso de racimo es el mejor en todos los cuatro años (Alto o medio – Óptima), sin embargo en otros sitios de la finca donde la aireación es óptima el peso de racimo es medio.

Al igual que en las cuatro épocas anteriores en los sitios donde la aireación es Baja y moderadamente Baja se encontró que el peso de racimo es medio a bajo inferior a 30 Kg Esto ocurre en parte en los lotes 4, 9, 10; en los lotes 11, 27 y del 29 al 34.

En este rango de tiempo se repite por tercera vez que en el sector donde la aireación del suelo es óptima el peso de racimo está entre medio y óptimo (entre 25 y 35 Kg) la única diferencia es que en este caso esto se da en un área más amplia en los lotes del 5 al 9; del 12 al 26 y 28.

De acuerdo con lo observado en todos los casos anteriores respecto a la aireación del suelo en relación con los rendimientos del cultivo representados en el peso del racimo promedio cada 10 semanas se puede evidenciar que el mejor sector respecto a aireación y rendimientos es el comprendido entre los lotes 12 al 21 y que los rendimientos más altos de esta finca se obtienen en las últimas 10 semanas del año lo cual puede tener alguna relación con la precipitación que en este momento ha aportado las mayores cantidades para los racimos que se cosechan en estas semanas.

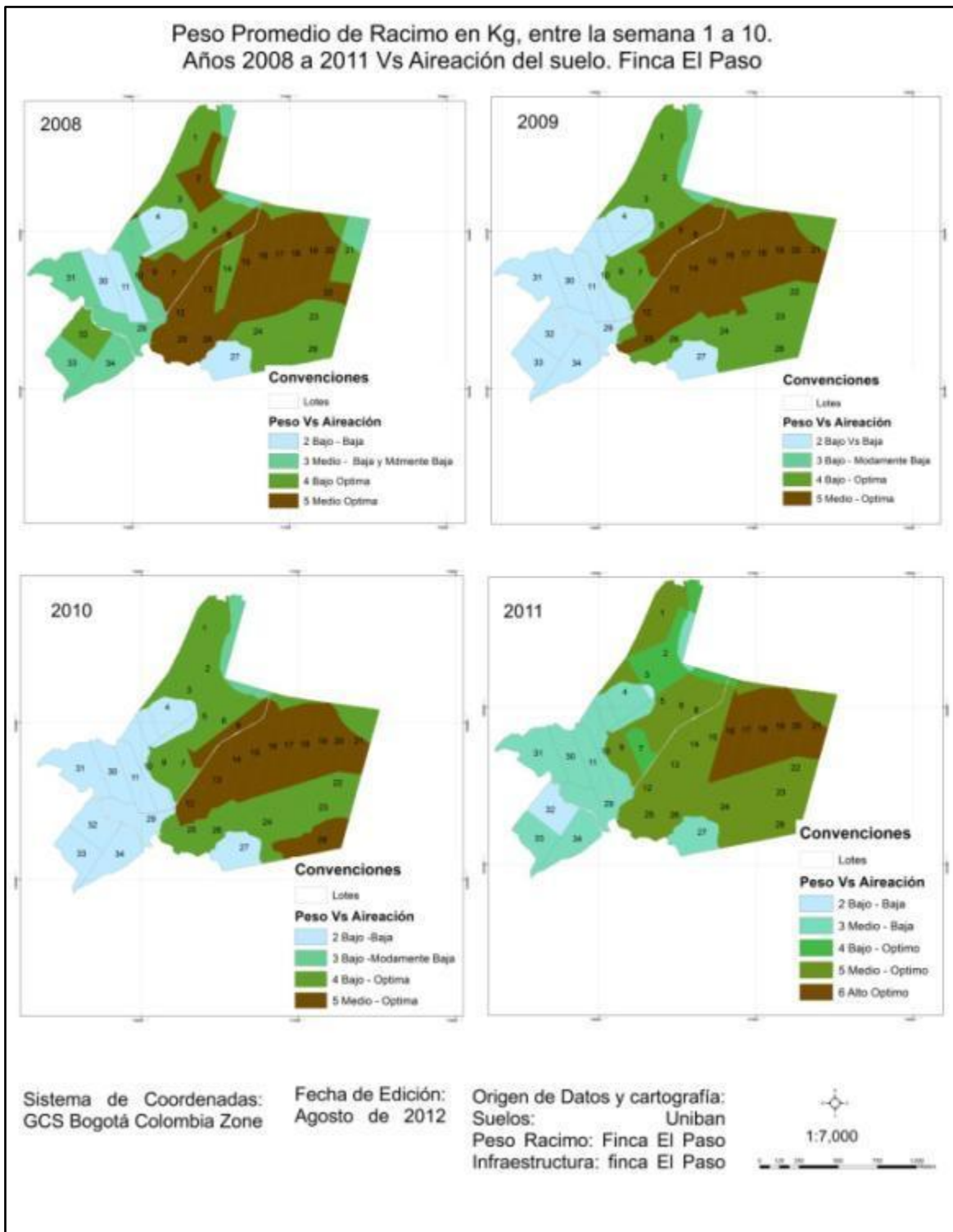


Figura 17. Relación de Peso de Racimo Vs Aireación del Suelo. Semana 1 a 10. Años 2008 a 2011.

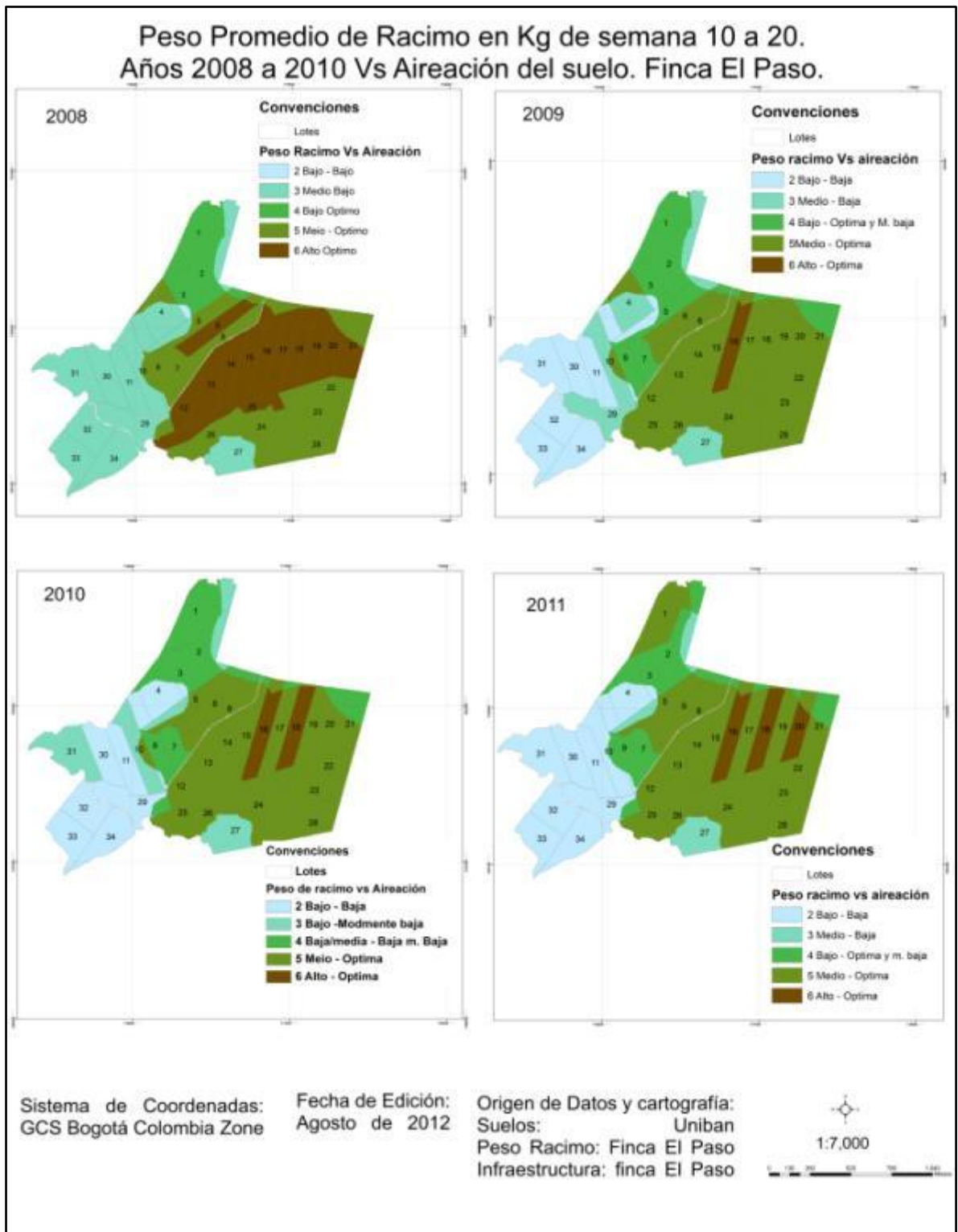


Figura 18. Relación de Peso de Racimo Vs Aireación del Suelo. Semana 10 a 20. Años 2008 a 2011.

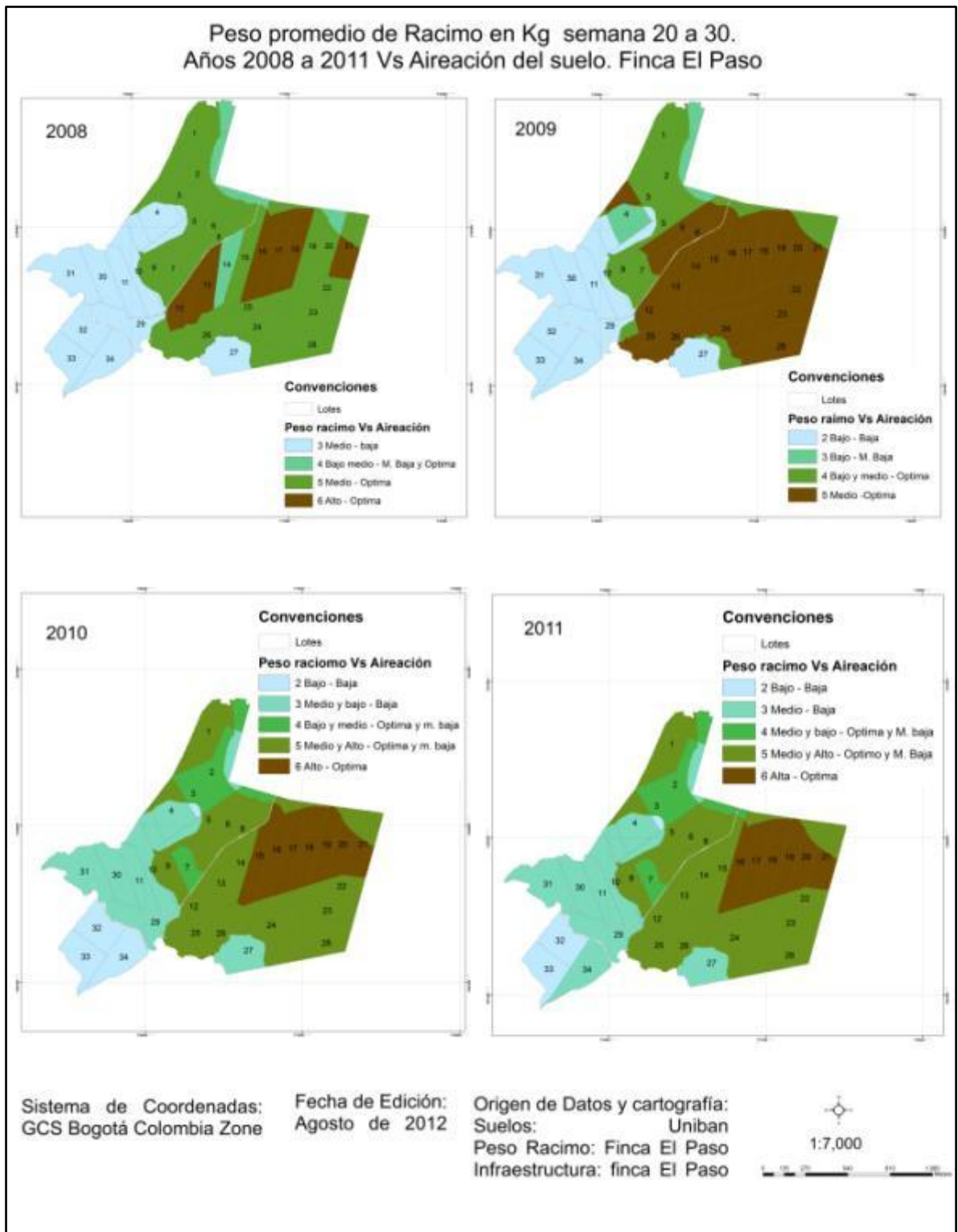


Figura 19. Relación de Peso de Racimo Vs Aireación del Suelo. Semana 20 a 30. Años 2008 a 2011.

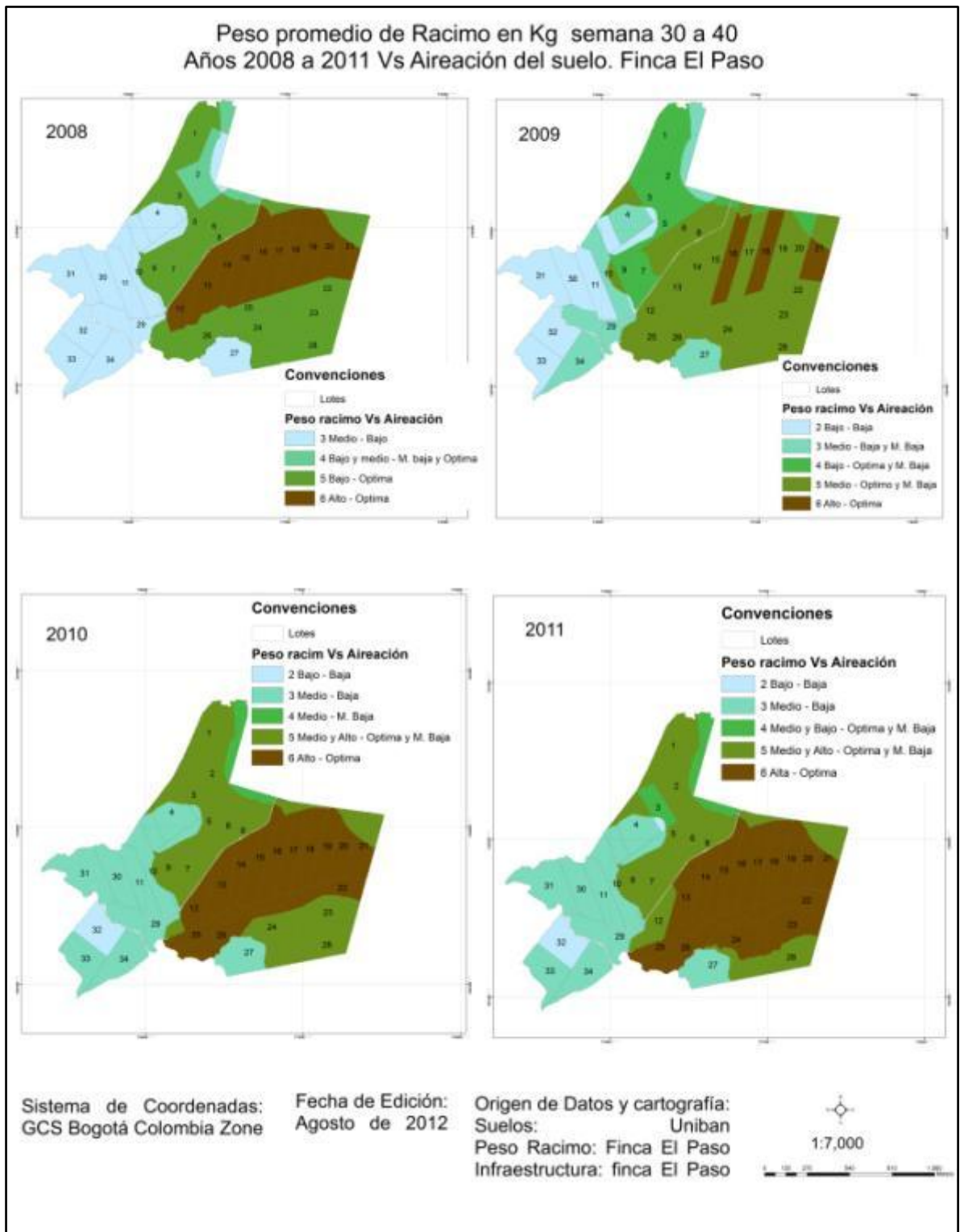


Figura 20. Relación de Peso de Racimo Vs Aireación del Suelo. Semana 40 a 52. Años 2008 a 2011.

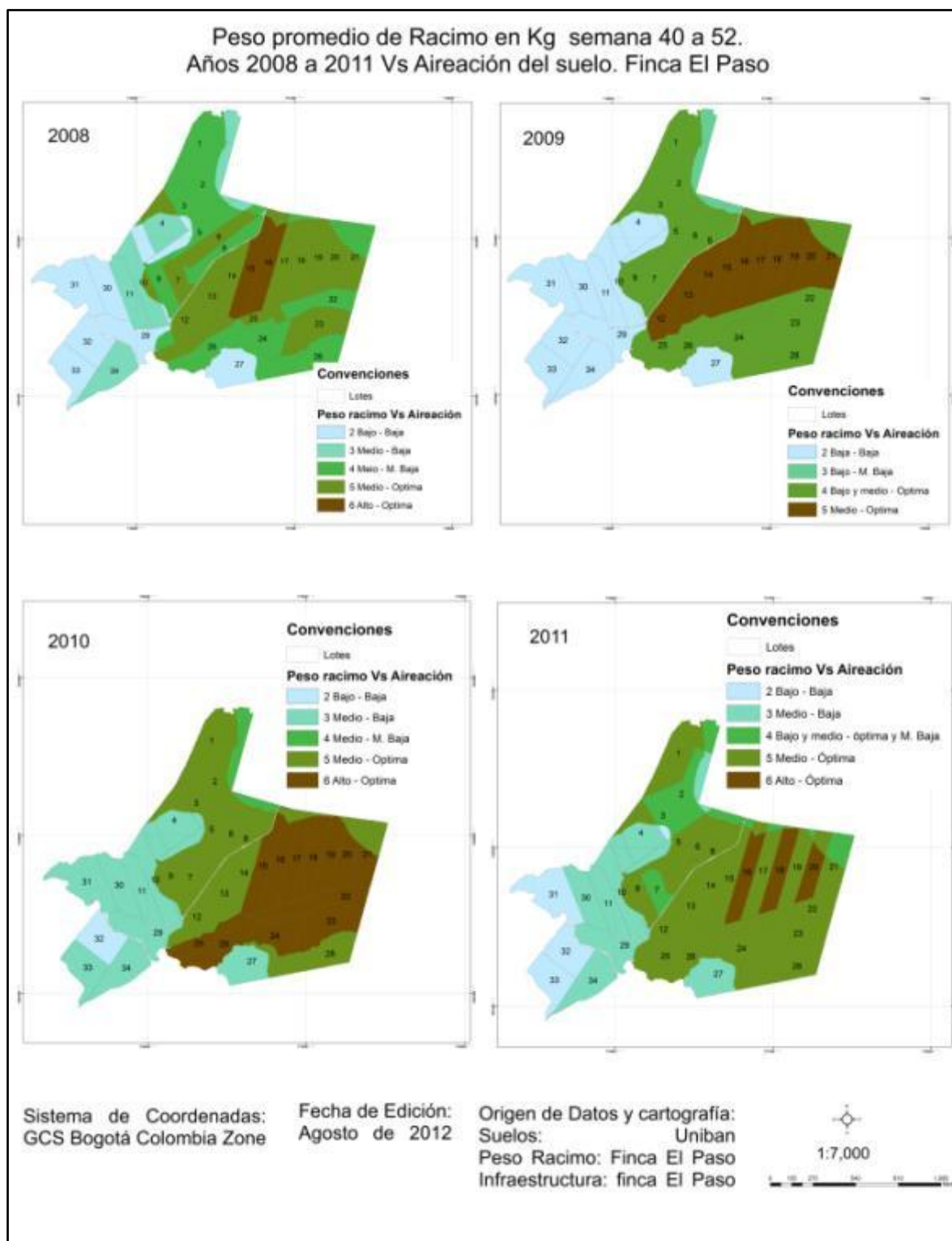


Figura 21. Relación de Peso de Racimo Vs Aireación del Suelo. Semana 40 a 52. Años 2008 a 2011.

- Estadísticas

Coorrelación entre las Variables de Aireación del Suelo

Entre las variables de aireación existe una relación desde el punto de vista estadístico que se representa en la Figura 22 y en la Tabla 6. Se observa que la relación entre la infiltración y la conductividad hidráulica es significativa (0.32) lo que quiere decir que la una afecta a la otra.

En la gráfica del medio se observa que La macroporosidad no afecta de forma significativa la conductividad Hidráulica para este caso, es decir que si tenemos bajas macroporosidades la conductividad hidráulica es baja, pero si esta macroporosidad aumenta entonces la conductividad hidráulica aumenta en 0.1246.

En la última gráfica de abajo de esta figura se observá que la correlación entre la macroporosidad y la infiltración si es alta (0.79) lo que muestra que en la medida que el suelo tiene macroporodidades bajas disminuye la Velocidad de infiltración y así mismo si esta macroporosidad aumenta entonces también aumenta la Velocidad de infiltración.

Variable	Variable	R ²
Infiltración	Conductividad Hidráulica	0.321
Conductividad Hidráulica	Macroporosidad	0.124
Infiltración	Macroporosidad	0.79

Tabla 6. Correlación entre las Variables de Aireación

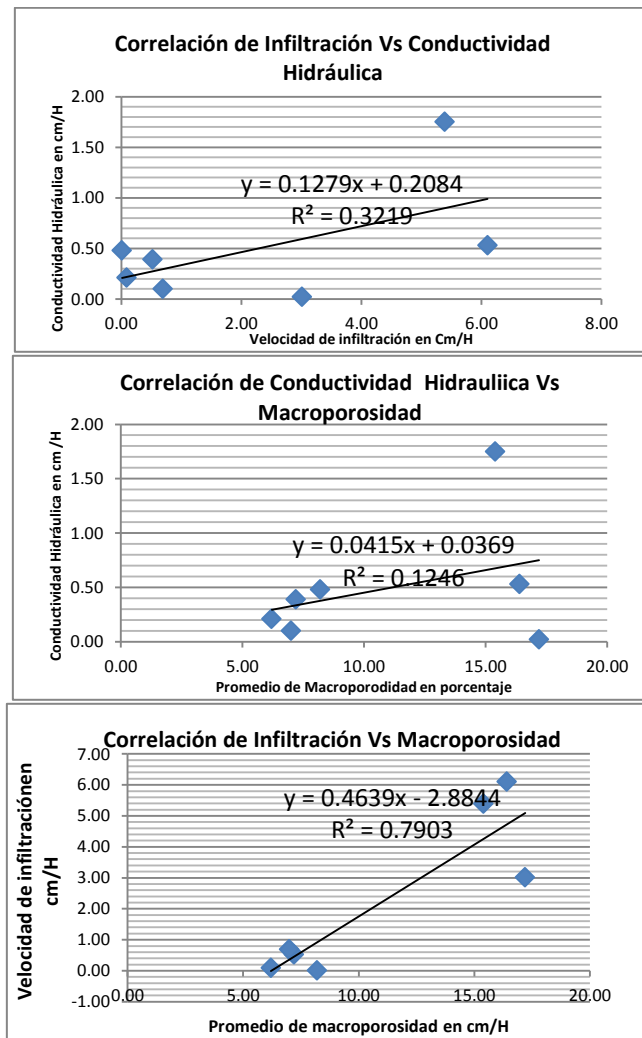


Figura 22 Correlación entre las diferentes variables de aireación

- **Correlación entre el Indicador y las Variables de Aireación (Tabla 7)**

Semana 1 a 10 Vs Aireación del Suelo

Para este rango de tiempo desde el punto de vista estadístico se encontró que las correlaciones son muy bajas y que solo en el caso de la Conductividad Hidráulica Vs peso de racimo para el año 2010 hay una dependencia baja de esta variable respecto al indicador (Ver gráfica de fondo rosado). Figura 23 del anexo1.

Semana 10 a 20 Vs Aireación del Suelo

En este rango de tiempo sólo se encontró alguna correlación entre la variable conductividad hidráulica y el indicador peso de racimo, lo que indica que en los sectores donde la conductividad hidráulica es baja el peso de racimo tiende a ser bajo y que en la medida que esta aumenta el peso también tiende a aumentar. Respecto a las otras variables no inciden en el indicador. Figura 24 del anexo 1.

Semana 20 a 30 Vs Aireación del Suelo

En la semana 20 a 30 solo se encontró una leve tendencia a aumentar el peso de racimo con la conductividad hidráulica en el año 2010 donde se observa que la correlación fue de 0.105 (ver gráfica de fondo rosado) y en el resto de variables y años se ve una correlación muy baja. Figura 25 del anexo 1.

Semana 30 a 40 Vs Aireación del Suelo

En este rango de tiempo solo se encuentra una correlación baja de la conductividad Hidráulica con el peso del racimo para los años 2008, 2009 y 2010 como se observa

en la Figura 26 del anexo 1 (Grafica de fondo rosado), lo que muestra que hay una relación directa entre esta variable y los rendimientos del cultivo.

Semana 40 a 52 Vs Aireación del Suelo

En esta época del año se observa que no hay ninguna correlación baja que los resultados del r^2 son muy bajos y que la variabilidad de la aireación no afecta los rendimientos del cultivo como se observa en la figura. Figura 27 del anexo 1.

Relación	Año/semana	1 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 52
Rendimientos Vs Infiltración	2008	0	0.062	0.02	0.076	0.065
	2009	0.035	0.062	0.05	0.067	0.046
	2010	0.035	0.049	0.03	0.049	0.024
	2011	0.019	0.026	0.044	0.059	0.047
Rendimientos Vs Conductividad Hidráulica	2008	0.045	0.131	0.022	0.158	-0.059
	2009	0.078	0.133	0.096	0.139	0.005
	2010	0.116	0.113	0.105	0.102	0.085
	2011	0.075	0.077	0.098	0.094	0.078
Rendimientos Vs Macroporosidad	2008	0.002	0.03	0	0.029	0.02
	2009	0.0004	0.03	0.02	0.048	0.021
	2010	0.01	0.023	0.016	0.024	0.014
	2011	0.008	0.014	0.034	0.048	0.025

Tabla 7. Correlación entre el Indicador Peso de Racimo y Variables de Aireación del Suelo

La hipótesis que se cumple para este caso es: “Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta que facilita en forma significativa la evaluación del efecto de la aireación del suelo en los rendimientos del cultivo de Banano”. Esto debido a que en todos los casos se ve la relación espacial entre la aireación del suelo y los rendimientos del cultivo de banano en la finca El Paso ubicada en la zona bananera del Urabá antioqueño a pesar de que en los resultados de la correlación

estadística no se encontró una relación significativa en ningún rango de tiempo evaluado.

7. CONCLUSIONES

1. Si existe alguna relación espacial de la aireación del suelo con el peso de racimo en la mayoría de los sitios de la finca, sobre todo donde la aireación es moderadamente baja y baja el peso de racimo que se ha podido obtener desde el año 2008 hasta el año 2011 es inferior a 30 Kg. Esto se observa en parte de los lotes 9, 10, 11, 27 y toda el área del 29 al 34.
2. Otra relación que se ve es que en la mayoría de los sitios donde la aireación del suelo es optima se alcanzo un peso de racimo hasta de 35.5 Kg, es decir que cuando tenemos una buena aireación de los suelos entonces la productividad puede ser mejor. Esto se observa con mayor frecuencia en el Centro de los lotes del 16 al 21.
3. También se observa que en los sitios donde la aireación del suelo es optima con mucha frecuencia en las cinco épocas del año (semanas de 0 a 10; 10 a 20; 20 a 30; 30 a 40 y 40 a 52) el peso del racimo es alto entre 30 y 35.5 Kg.
4. Así mismo hay otros sectores en la finca que el valor del peso de racimo es indiferente a la aireación. Estos sectores corresponden a los lotes 1, 2, 3, 5, 6, 7 y 8 en los que también se encontró que donde la aireación es baja u optima hay un traslape de valores del peso de racimo entre 25 y 30 Kg rango medio.
5. Se cumple la hipótesis nula H_0 : La aireación del suelo no afecta los rendimientos del cultivo de Banano en el Urabá Antioqueño desde el punto de vista estadístico; sin embargo espacialmente se encuentran algunas

relaciones que pueden orientar los planes de manejo de mantenimiento de los suelos y recuperación desde el punto de vista físico.

6. A pesar de que hay un predominio en el comportamiento del cultivo en las diferentes épocas del año se observa que para las épocas comprendidas entre las semanas 30 a 40 y 40 a 52 el área de peso de racimo alto aumenta esto debido probablemente a que la fruta precedida de precipitaciones entre 20 y 120 mm o un poco más favorece los rendimientos del cultivo especialmente en los lotes del 12 al 21. Por el contrario cuando estas precipitaciones disminuyen por debajo de 100 incluso por debajo de 80 o menos el área donde se presenta peso de racimo alto disminuye.
7. Los Sistemas de Información Geográfica facilitan la organización de los datos, se automatiza la información y se analiza desde lo espacial para ver cada lote de la finca por separado y el efecto que pueden tener esta y otras variables sobre los rendimientos del cultivo.

8. RECOMENDACIONES

1. Se requiere integrar otros factores que influyen en el peso de racimo en estas épocas del año en diferentes años tales como nivel freático y prácticas de manejo y clon sembrado para determinar con más certeza que factores son los que influyen en el valor del indicador en diferentes sitios de la finca.
2. Se requiere conservar las propiedades físicas de los suelos para que haya una buena aireación pero también se debe tener en cuenta la evacuación de agua proveniente del nivel freático para evitar que permanezca en la zona de desarrollo radicular aproximadamente a 60 cm de profundidad desde la superficie del suelo.
3. Realizar incorporación de materia orgánica en los lotes 32 al 34 y realizar un análisis integrado de las otras características de la plantación en este sector para realizar también planes integrados que conduzcan a mejorar los rendimientos del cultivo.
4. Realizar un estudio integrado de todos los factores que pueden influir en los rendimientos de los lotes 2 y 3 debido a que se presentan los menores pesos de racimo pero en este sector la aireación no es baja, esto se puede deber a que en este sector las texturas son más gruesas y también requieren incorporación de materia orgánica que además de mejorar la estructura aporte coloides a este suelo.

5. Revisar el comportamiento del clon Gran Enano sembrado en parte de los lotes 4, 9, 10 y en el total del área de los lotes 11, 27 y del 29 al 34. Este factor combinado con la baja aireación, también puede estar influyendo en el peso de racimo menor de 30 Kg.
6. Utilizar este modelo para el análisis de otros factores con los posibles ajustes que se requieran dependiendo de la variable y los indicadores que se analicen.
7. Basarse también en las relaciones espaciales para establecer el efecto de la aireación de los suelos en los rendimientos de un cultivo y no sólo en las estadísticas, esto debido a que estas correlaciones estadísticas no muestran el comportamiento del indicador y la variable por sector.

BIBLIOGRAFÍA

Ana Primavesi. 2002. Acorbat, memorias XV reunión, realizada en Cartagena de Indias, Colombia. 27 de octubre al 2 de noviembre de 2002. Manejo del suelo para el cultivo del banano, Cartagena. Colombia.

Agromat. 2006. Política ambiental para el desarrollo sustentable del sector agropecuario del Ecuador. Revista informativa del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Edición N° 1, Año 1, Editorial AXXIS Publicidad. Quito – Ecuador. 41 p.

C.I. UNIBAN S.A. 2011. Programa “Manejo del Cultivo de banano por sitio Especifico” www.unibanvirtual.com.

C.I. UNIBAN S.A. 2005. Estudio Detallado de Suelos de las Fincas Adscritas a Uniban. 320 p.

BIOAGRO. 2004. Aptitud Física de tres clases de suelos de la planicie del Río Motatan, Trujillo, Venezuela.

CORBANA & INIBAP, c/o 10 a 20 de octubre de 2006. CATIE Guía para el Diagnóstico de la Calidad y la Salud de Suelos Bananeros.

Champion J. & P. Olivier. 1961. Etudes préliminaires sur les racines de bananier. *Fruits* 16:371-374 p.

Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 2009. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal Conductividad Hidráulica En Monolito de Suelo de CHILE *versión On-line* ISSN 0718-2791. *CentralRev. Cienc. Suelo*

FONTAGRO. 2010. Salud de suelos bananeros. New York Avenue NW.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1990. Propiedades físicas de los Suelos, Sección Imprenta y edición IGAC, Bogotá D.C. 813 p.

Moreau y Le Bourdellés, 1963; Lassoudière. 1971. Activadores Del Crecimiento De Raíz de Banano, como Neutralizadores de la Podredumbre por la Interacción Hierro Manganeseo.

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

Anexo 1

Graficas de las correlaciones estadísticas del efecto de la aireación de los suelos en los rendimientos del cultivo de banano

Promedio Peso de Racimo Semana 1 a 10 Vs Variables de Aireación del Suelo

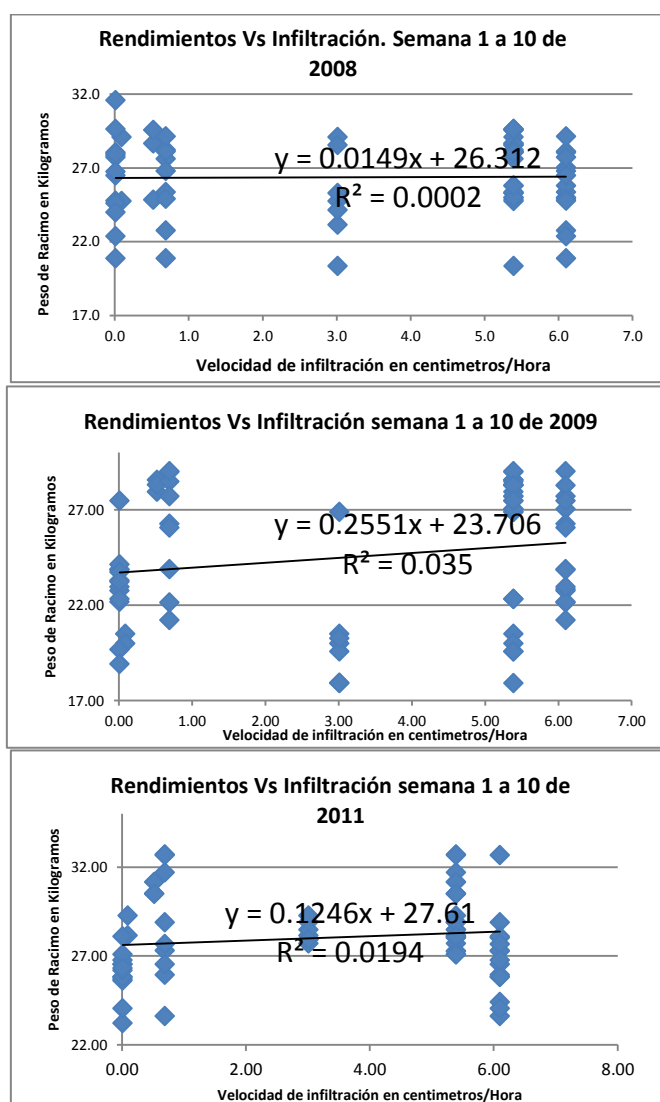


Figura 23. Rendimientos Vs Velocidad de infiltración. Semana 1 a 10. Año 2008 a 2011. Finca El Paso

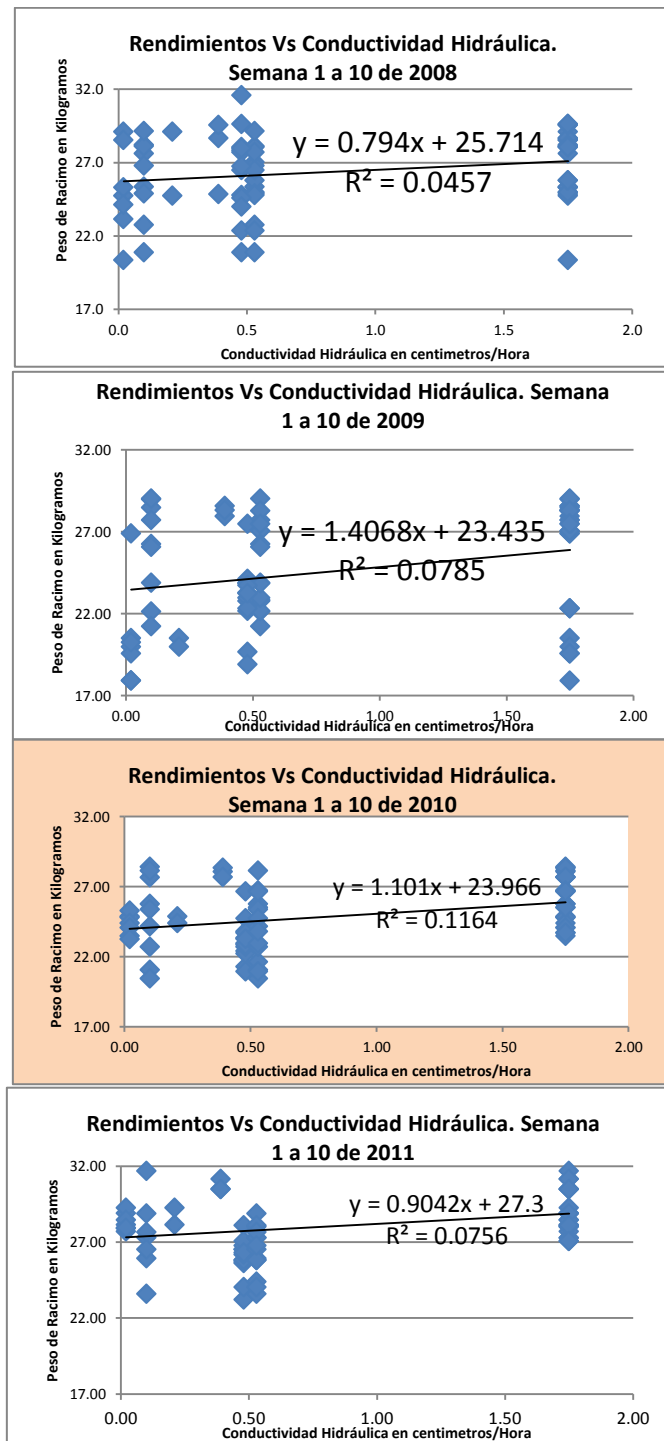


Figura 23. Rendimientos Vs Conductividad Hidráulica. Semana 1 a 10. Año 2008 a 2011. Finca El Paso

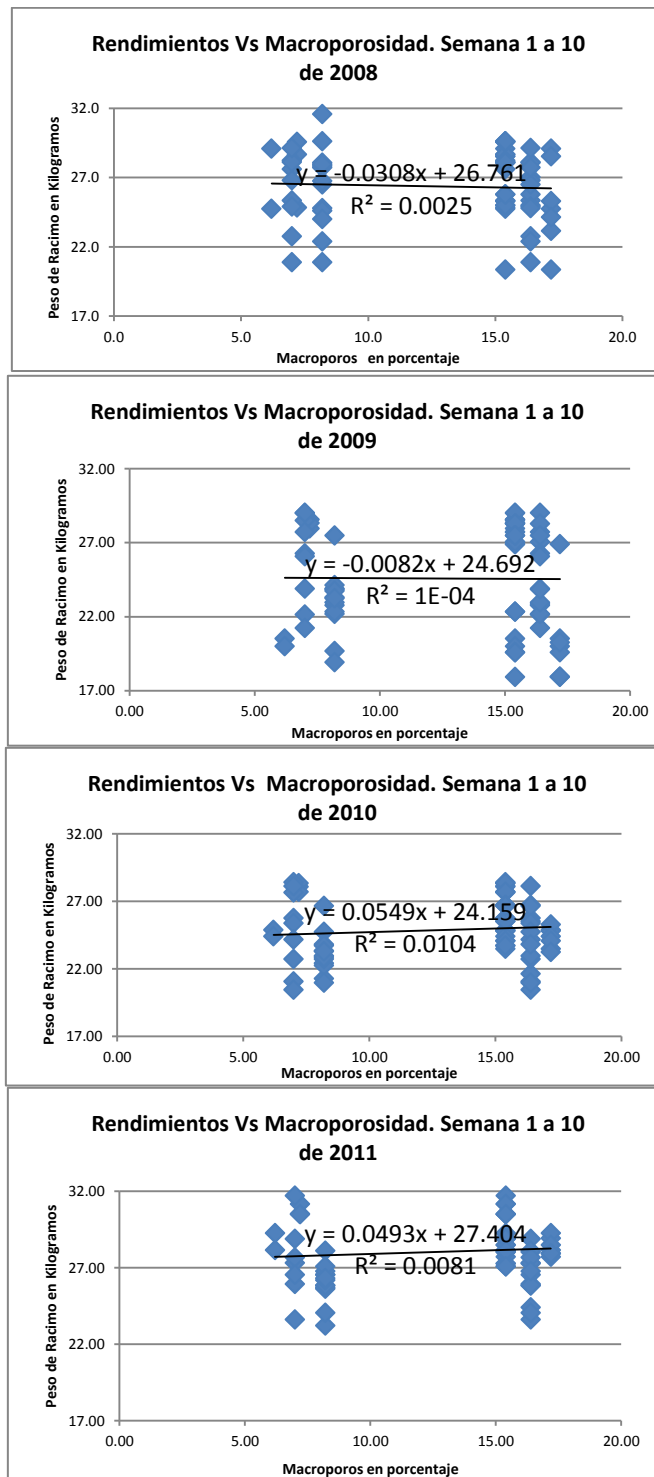


Figura 23. Rendimientos Vs Macroporosidad. Semana 1 a 10. Año 2008 a 2011. Finca El Paso

Promedio Peso de Racimo Semana 10 a 20 Vs Variables de Aireación del Suelo

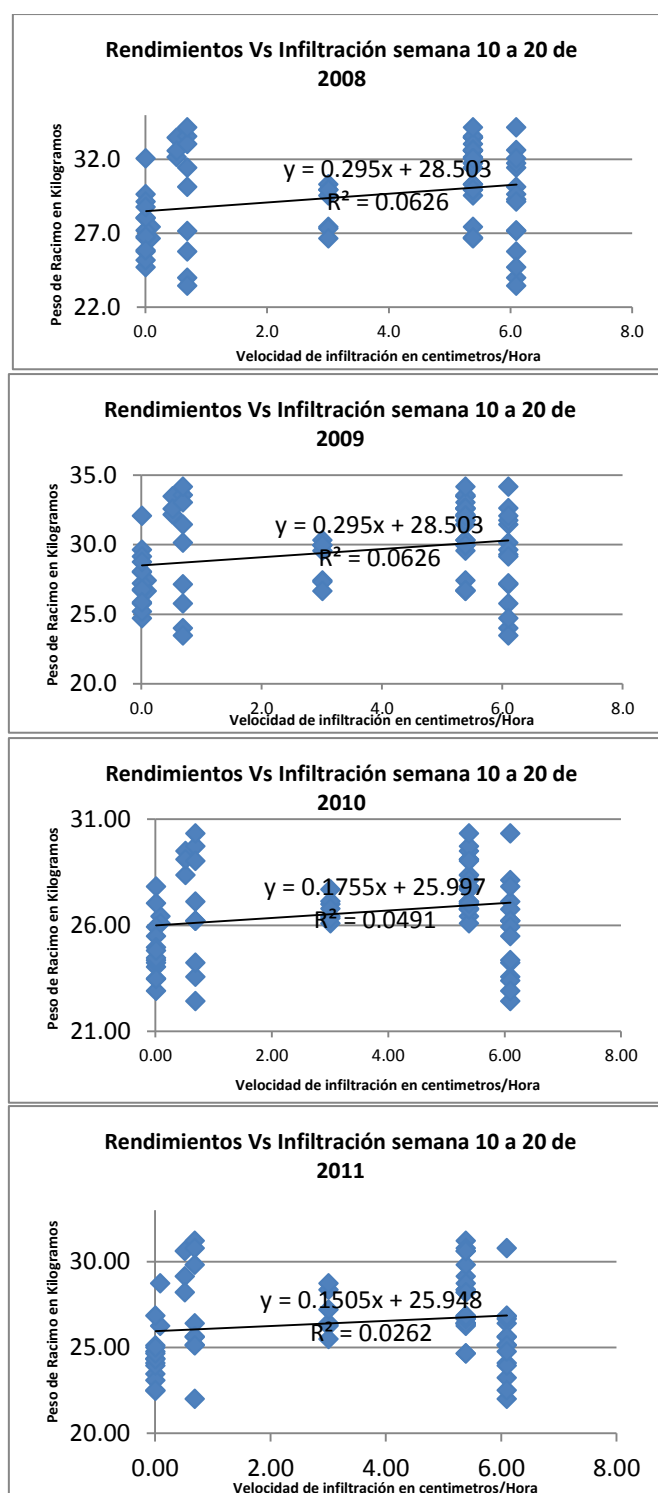


Figura 24. Rendimientos Vs Velocidad de infiltración. **Semana 10 a 20.**
Año 2008 a 2011. Finca El Paso

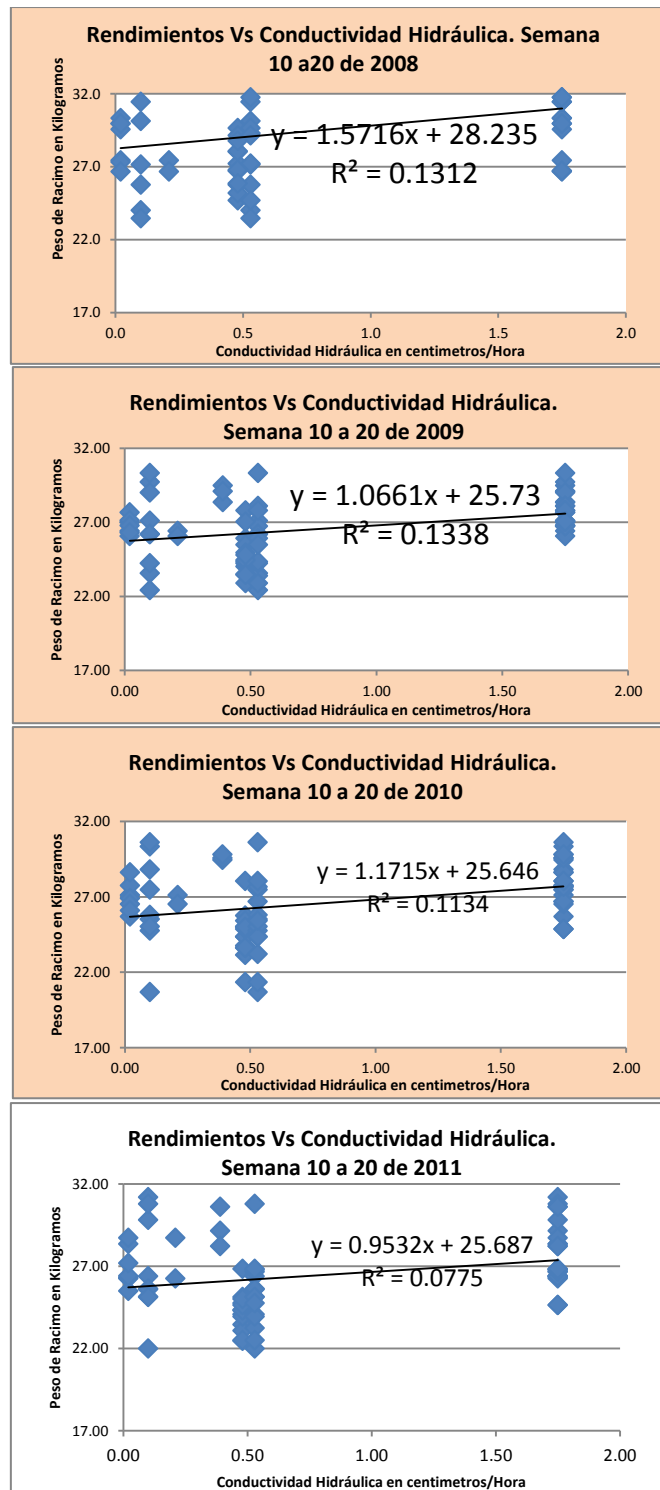


Figura 24 Rendimientos Vs Conductividad Hidráulica. **Semana 10 a 20.** Año 2008 a 2011. Finca El Paso

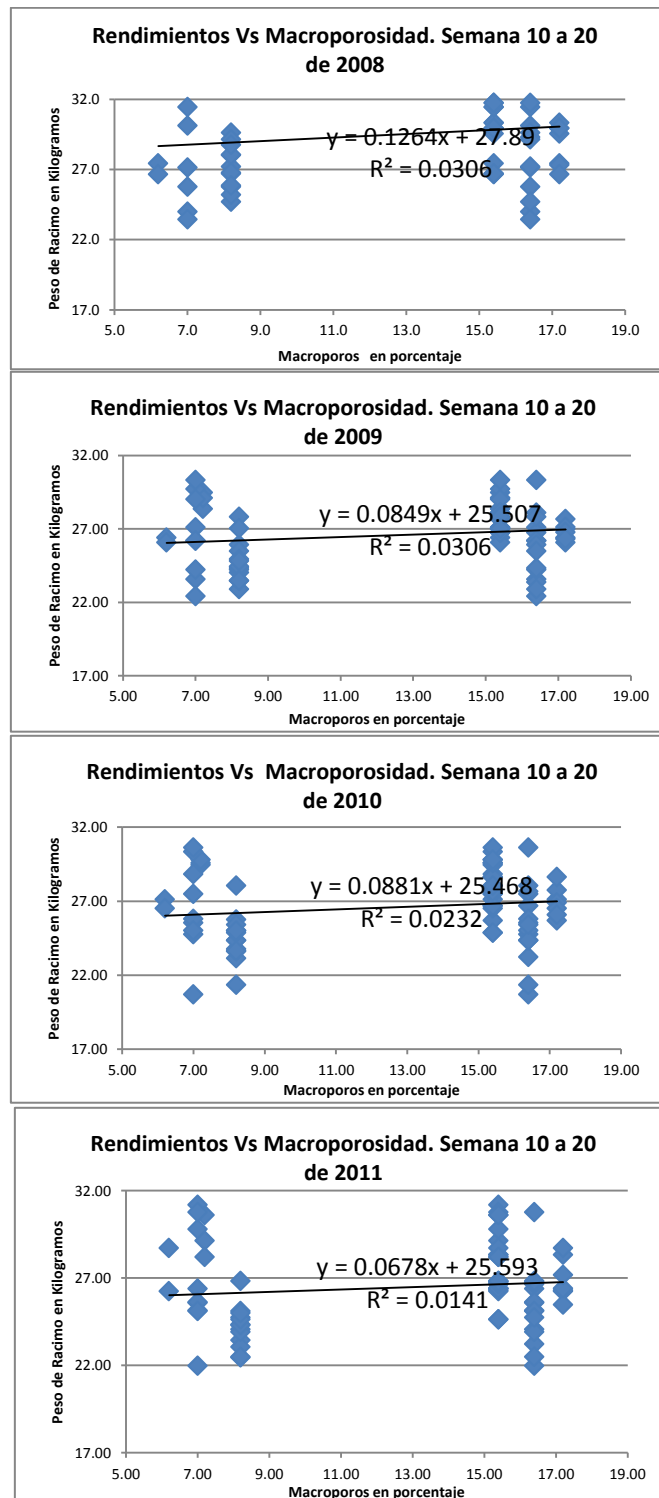


Figura 24 Rendimientos Vs Macroporosidad. **Semana 10 a 20**. Año 2008 a 2011. Finca El Paso

Promedio Peso de Racimo Semana 20 a 30 Vs Variables de Aireación del Suelo

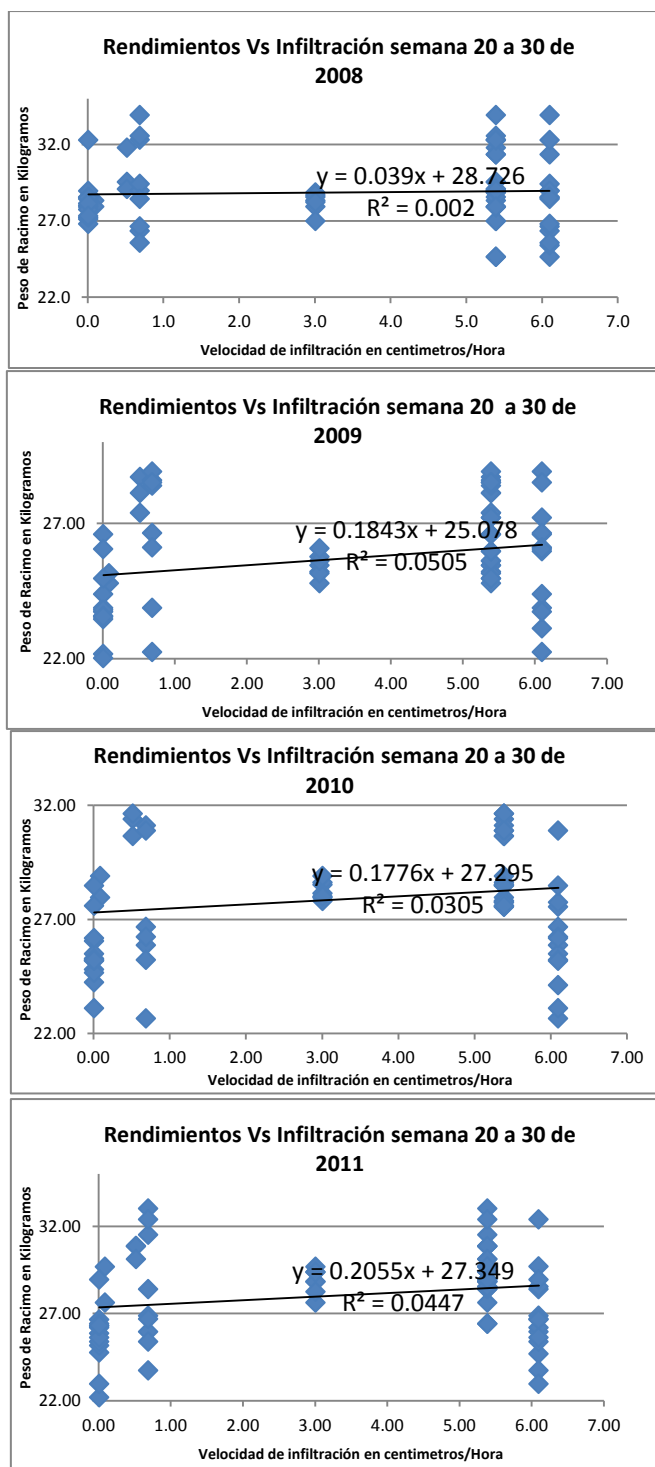


Figura 25 Rendimientos Vs Velocidad de infiltración. **Semana 20 a 30.**
Año 2008 a 2011. Finca El Paso

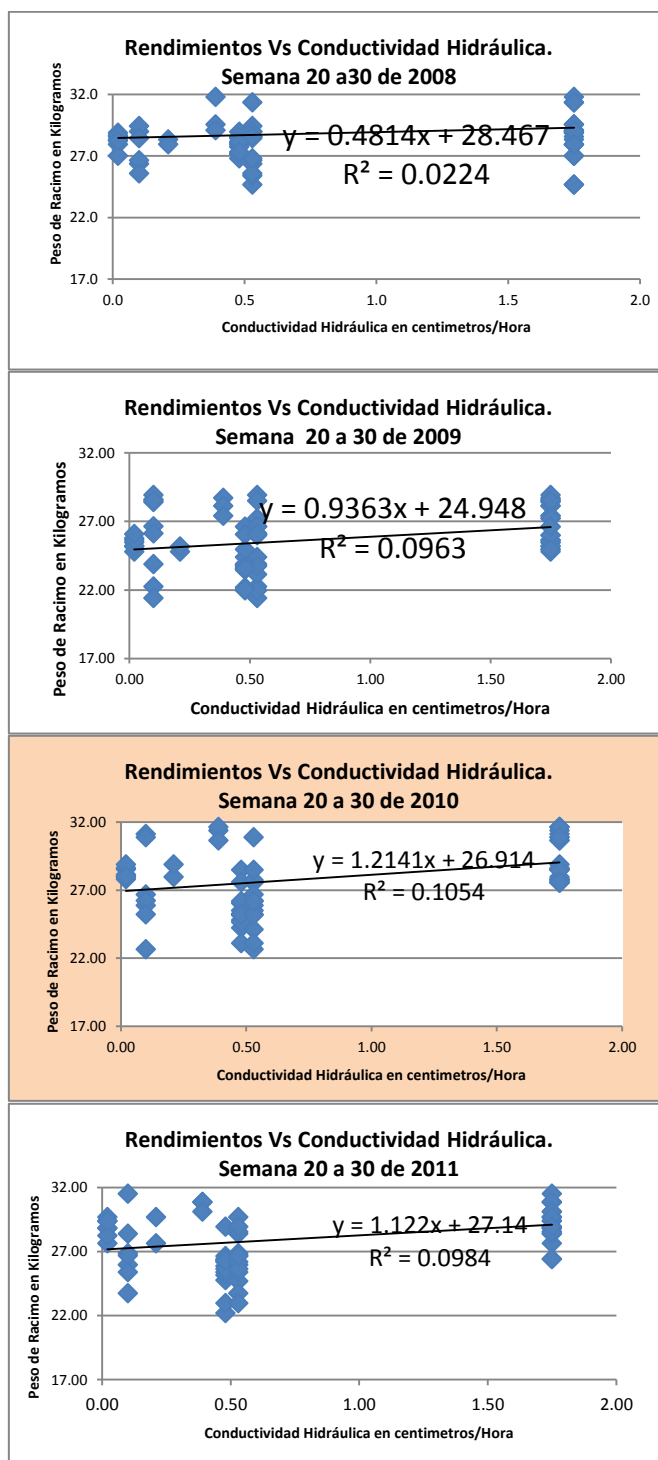


Figura 25 Rendimientos Vs Conductividad Hidráulica. **Semana 20 a 30.** Año 2008 a 2011. Finca El Paso

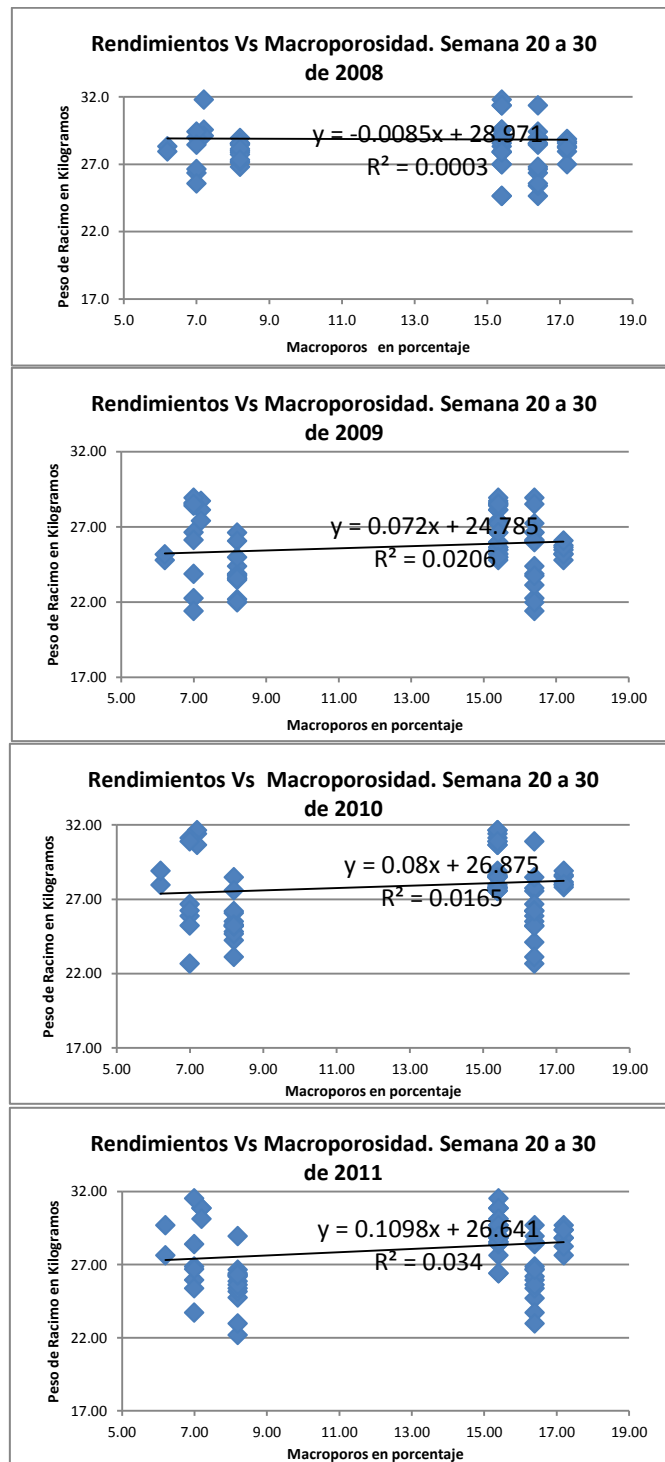


Figura 25 Rendimientos Vs Macroporosidad. **Semana 20 a 30**. Año 2008 a 2011. Finca El Paso

Promedio Peso de Racimo Semana 30 a 40 Vs Variables de Aireación del Suelo

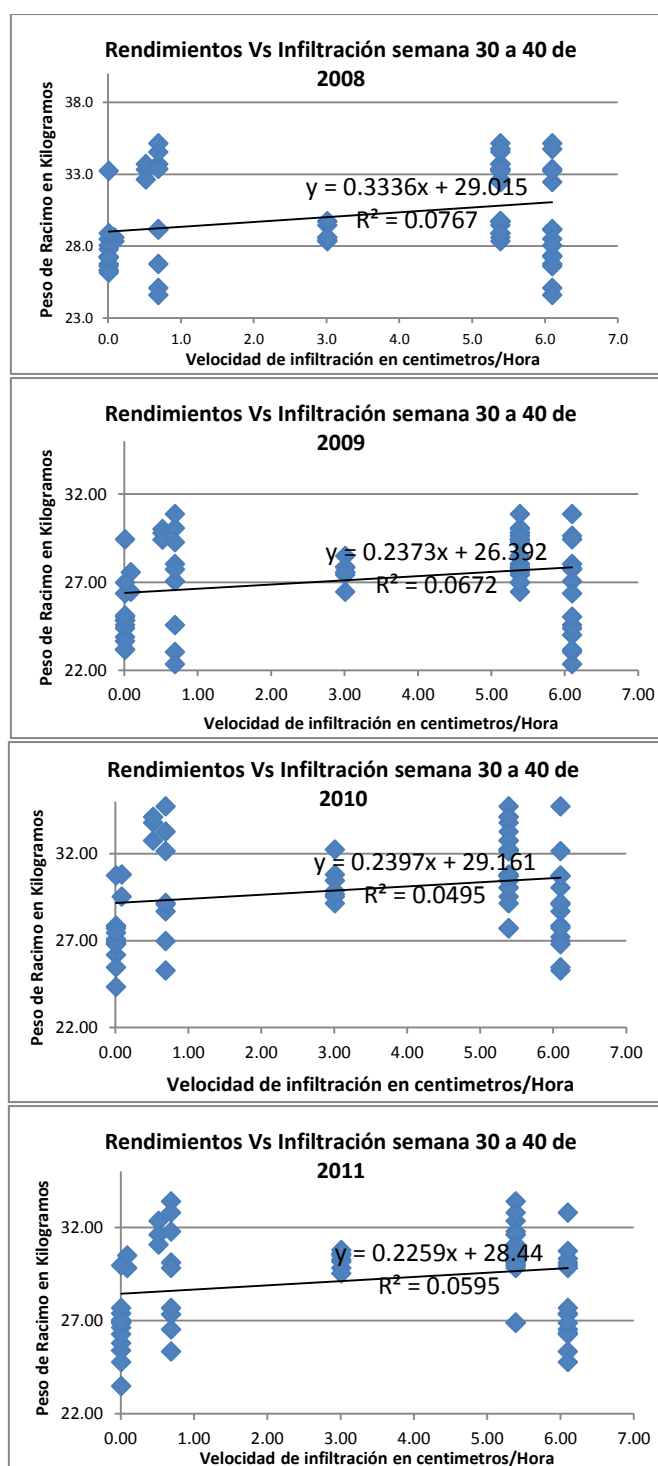


Figura 26 Rendimientos Vs Velocidad de Infiltración. **Semana 30 a 40.**
Año 2008 a 2011. Finca El Paso

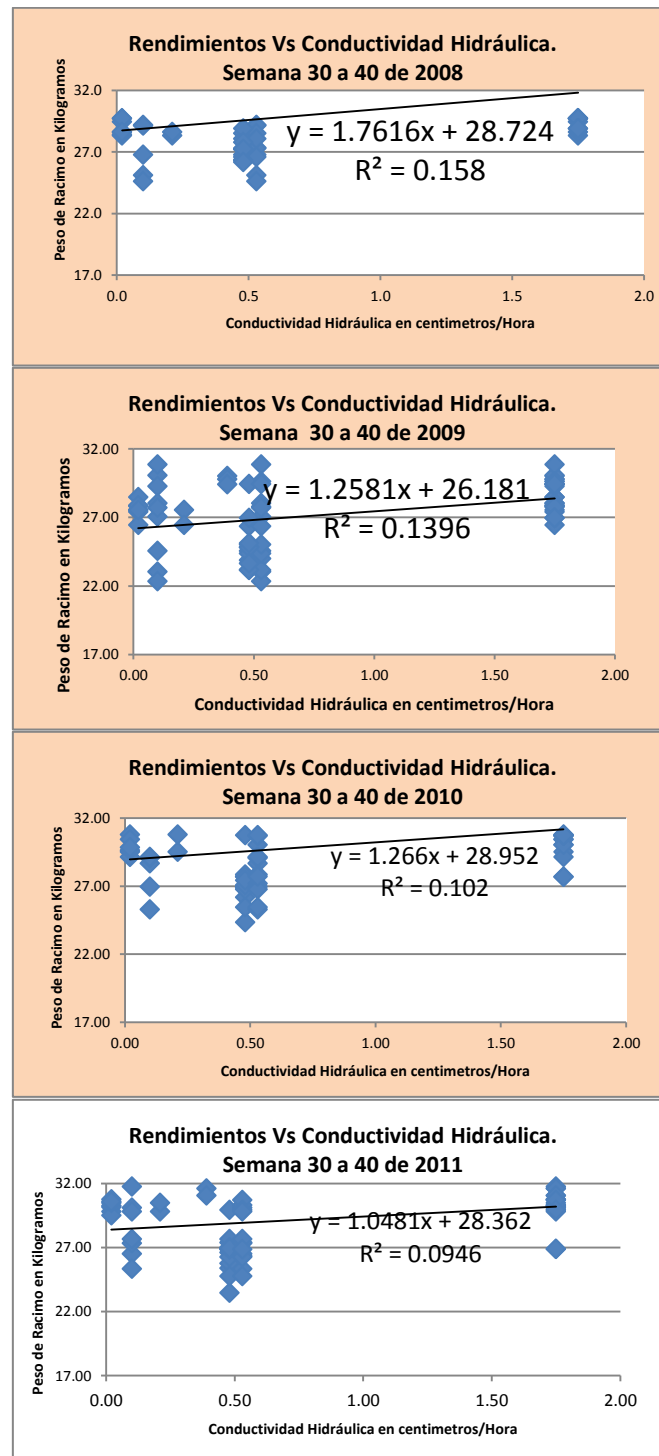


Figura 26 Rendimientos Vs Conductividad Hidráulica. **Semana 30 a 40.** Año 2008 a 2011. Finca El Paso

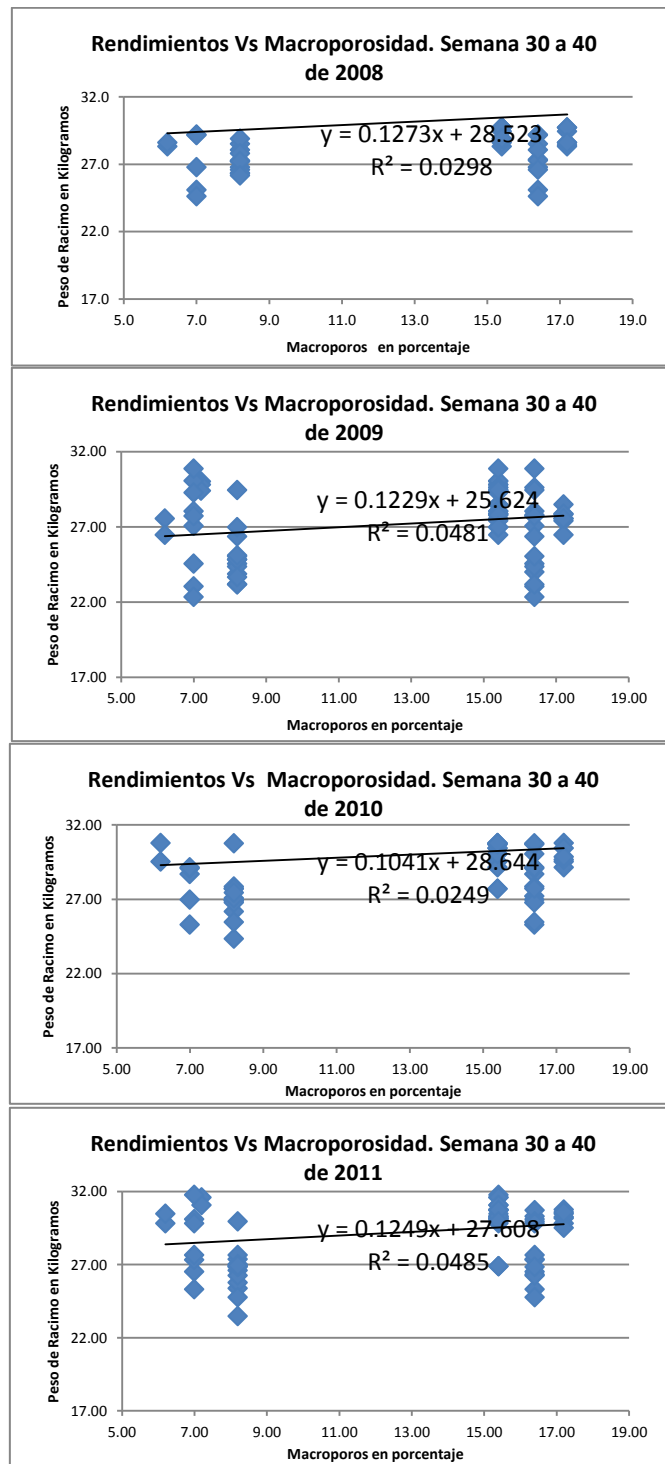


Figura 26 Rendimientos Vs Macroporosidad. **Semana 30 a 40**. Año 2008 a 2011. Finca El Paso

Promedio Peso de Racimo Semana 40 a 52 Vs Variables de Aireación del Suelo

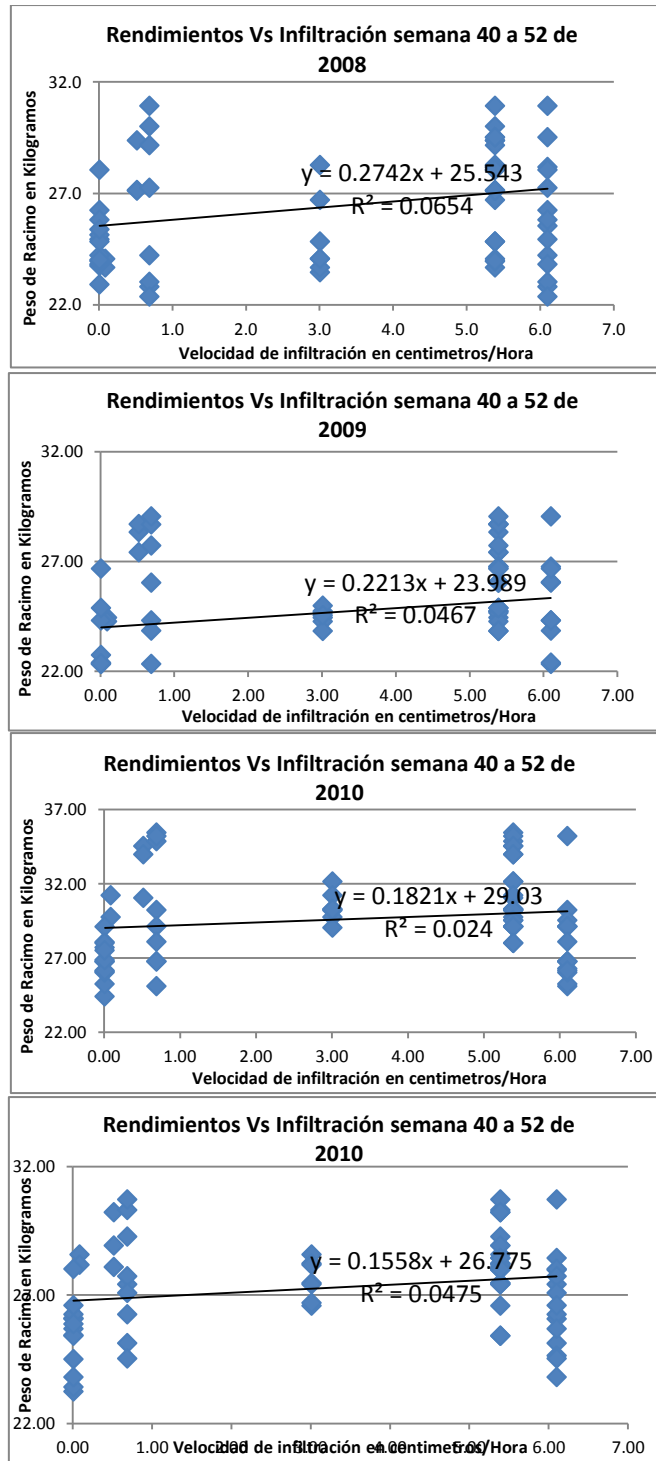


Figura 27 Rendimientos Vs Velocidad de Infiltración. **Semana 40 a 52.** Año 2008 a 2011. Finca El Paso

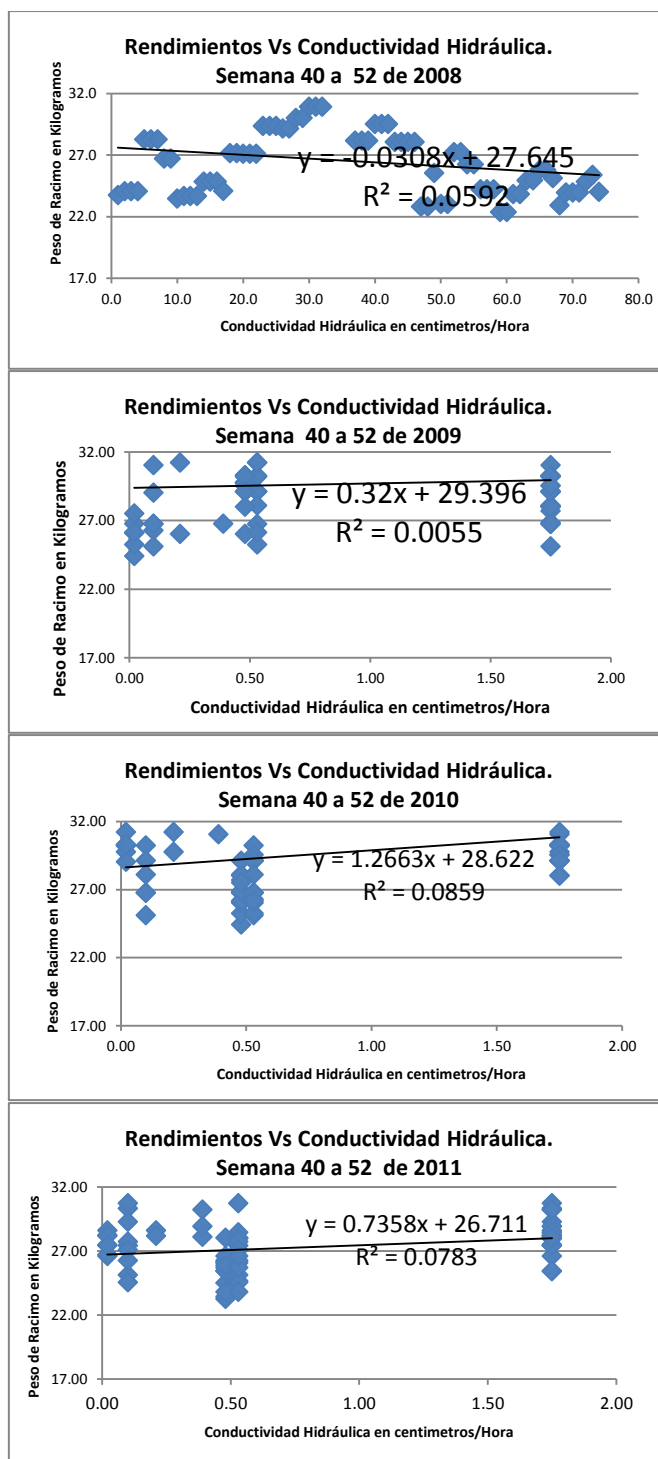


Figura 27 Rendimientos Vs Conductividad Hidráulica. **Semana 40 a 52.** Año 2008 a 2011. Finca El Paso

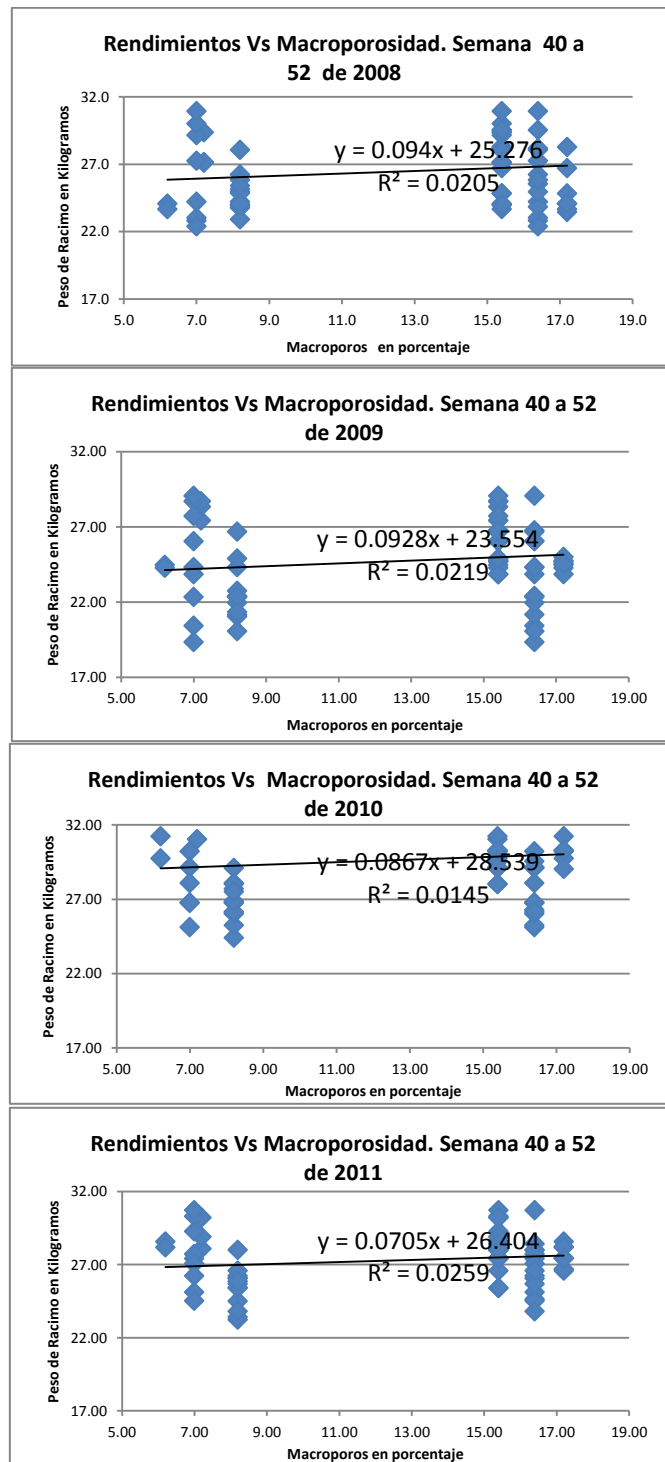


Figura 27 Rendimientos Vs Macroporosidad. **Semana 40 a 52.** Año 2008 a 2011. Finca El Paso