

UNIVERSITAT DE LLEIDA
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRÀRIA
DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I CIÈNCIES DEL SÒL

**DETERMINACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD
DEL SUELO EN ÁREAS PRODUCTORAS DE
BANANO (*MUSA x paradisiaca L.*) DE LA
VERTIENTE DEL PACIFICO DE PANAMÁ**

JOSÉ EZEQUIEL VILLARREAL NÚÑEZ



LLEIDA, MARZO 2010



**UNIVERSITAT DE LLEIDA
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRÀRIA
DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I CIÈNCIES DEL SÒL**



**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ**

**DETERMINACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DEL
SUELO EN ÁREAS PRODUCTORAS DE BANANO
(*MUSA x paradisiaca* L.) DE LA VERTIENTE DEL
PACIFICO DE PANAMÁ**

**MEMORIA PRESENTADA POR
JOSÉ EZEQUIEL VILLARREAL NÚÑEZ
PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR**

**DIRECTOR DE LA TESIS
ILDEFONSO PLA SENTÍS**

Lleida, MARZO 2010

*Dedico esta tesis a todas aquellas personas que en algún momento de su vida han tenido que
ver con mi formación moral, espiritual e intelectual.*

*“Nunca consideres el estudio como una obligación sino como una oportunidad para penetrar
en el bello y maravilloso mundo del saber”*

ALBERT EINSTEIN

AGRADECIMIENTOS

- Ante todo a Dios por haberme permitido la oportunidad de alcanzar esta meta.
- A mi tutor y director de la tesis Dr. Ildefonso Pla Sentís por sus recomendaciones, revisiones y aportes que hicieron posible la conclusión del presente trabajo de investigación, además de la amistad y confianza que siempre me brindó.
- Al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) del Ministerio de Ciencia e Innovación del Reino de España por la beca concedida a través del programa Iberoamericano de formación de doctores, que hizo posible la realización de mis estudios de doctorado en la UDL. De manera particular a la Sra. Ángeles Navarrete por su disponibilidad y buena atención.
- Al Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) por seleccionarme para una beca del INIA y especialmente, por el apoyo brindado por los Directores Generales: Dr. Reynaldo Pérez Guardia, Dr. Jorge Aued y el Ing. Julio Abrego.
- Al Centro Internacional de la Papa (CIP) de Lima, Perú, por la buena administración de la beca. Especialmente a la Sra. Mercedes Suito y al Sr. César Tapia por sus atentos servicios.
- Al M.Sc. Benjamín Name, Subdirector General del IDIAP entre 2004 y 2009. No sólo ha sido una inspiración como científico de suelos, sino también, por su confianza en mí, el apoyo total que siempre me brindó y sobre todo por la amistad.
- A los profesores y compañeros del Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo de la Universidad de Lleida.
- A Bioersity International por permitirme participar como responsable de los estudios de suelos en Panamá en el proyecto: Innovaciones Tecnológicas para el Manejo y Mejoramiento de la Calidad y Salud de Suelos Bananeros de

América Latina y el Caribe. Igualmente, al equipo técnico multidisciplinario que participó del proyecto en Panamá.

- A los expertos en ciencias estadísticas y matemáticas Javier Trejos Zelaya y Mario Villalobos Arias, de la Escuela de Matemáticas de la Universidad de Costa Rica, por el gran apoyo con los análisis estadísticos multivariados.
- A Clara Llena Farrés, incansable amiga y servidora de todos en el Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo de la Universidad de Lleida.
- A los propietarios de las fincas independientes, especialmente a la Sra. Carmen de Arauz por habernos facilitado el hospedaje en una casa de su propiedad dentro de La finca Tadeo. Igualmente, a los administradores de las fincas independientes y de COOSEMUPAR por su colaboración con la investigación.
- A los colegas latinoamericanos del tercer ciclo, Humberto Dalurzo (argentino), Francisco Fonseca (Kiko, colombiano), Javier Cruz (chileno), Carlos Zelaya (nicaragüense) por su amistad y por los buenos momentos compartidos durante mis visitas a España. Igualmente, a los colegas españoles del doctorado: José López (Valencia), Nuria Ubach Miró (Lleida), Xavier Domingo (Lleida), Oihane Fernández (País Vasco).
- A mis hermanos Francisco y Oderay, primos, familiares y amigos que siempre me brindaron el mayor apoyo posible dándome ánimo en los momentos difíciles.
- A mis compañeros de trabajo del IDIAP, especialmente a Emma, Lwonel, Jhon, Rogelio, Daniel, Adolfo, Urbano, Fabio y Eddy que nunca dejaron de apoyarme para conseguir el logro de esta meta.

CONTENIDO

	Página
CAPÍTULO 1- INTRODUCCIÓN	1
1.1- OBJETIVOS.....	4
1.2- Estructura de la tesis.....	5
CAPÍTULO 2.- ANTECEDENTES Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA...	6
2.1- Origen y descripción sistemática del género Musa.....	6
2.2- Importancia del banano en la alimentación mundial.....	7
2.2.1- La producción de banano en Panamá.....	8
2.2.2- Manejo del cultivo del banano en Panamá.....	9
2.2.2.1- Sistema de plantación.....	11
2.2.2.2- Exigencias edafoclimáticas.....	11
2.2.2.3- Nutrición del cultivo.....	12
2.2.2.4- Embolsado y encintado.....	15
2.2.2.5- Cosecha, corte y empaçado.....	16
2.2.3- Problemática de los suelos en las áreas bananeras.....	17
2.3- Concepto y definición de calidad de suelos.....	20
2.4- Evaluación de la calidad del suelo.....	22
2.4.1- Indicadores de calidad del suelo.....	23
2.4.1.1- Indicadores físico-químicos.....	25
2.4.1.2- Indicadores biológicos.....	25
2.4.2- Selección del conjunto mínimo de datos.....	26
2.4.3- Significado y uso de los índices de calidad del suelo.....	27
CAPÍTULO 3- MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1- Caracterización del área de estudio.....	28
3.1.1- Geología e hidrología.....	28
3.1.2- Clima.....	30
3.2- Selección de las áreas de estudio en cada finca.....	31
3.3- Selección de indicadores.....	34
3.3.1- Análisis de los datos y cálculo del índice de calidad.....	36
3.4- Correlaciones e interrelaciones entre las propiedades físicas y los indicadores de productividad.....	37
CAPÍTULO 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1- Variables biofísicas en sitios de alta y baja productividad.....	39
4.2- Descripción de calicatas (Capa superior 0 – 40 cm).....	40
4.2.1- Indicadores físicos.....	40
4.2.2- Indicadores químicos.....	43
4.2.3- Indicadores biológicos.....	45
4.3- Obtención del conjunto mínimo de datos (MDS).....	48
4.3.1- Regresiones.....	48
4.3.2- Correlaciones.....	50
4.3.3- Análisis en componentes principales.....	54

4.3.4- Clasificación automática.....	57
4.4- Obtención del índice de calidad del suelo.....	59
4.4.1- Obtención de los pesos de los indicadores del MDS.....	59
4.4.2- Curvas de respuesta de cada indicador.....	62
4.4.3- Aplicación del índice de calidad.....	72
4.5- Influencia de las propiedades físicas del suelo sobre la productividad del banano.....	90
4.5.1- Análisis por finca.....	90
4.5.2- Análisis global para el conjunto de todas las fincas.....	112
4.6- Utilidad y validez del índice encontrado.....	114
4.7- Principales problemas encontrados en las fincas.....	116
CAPÍTULO 5- CONCLUSIONES.....	119
CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES.....	121
CAPÍTULO 7- REFERENCIAS CONSULTADAS.....	122
ANEXOS.....	134
Anexo 1. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta Productividad de Finca Los Ángeles.....	135
Anexo 1a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de finca Los Ángeles.....	135
Anexo 2. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Los Ángeles.....	136
Anexo 2a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de finca Los Ángeles.....	136
Anexo 3. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca San Antonio.....	137
Anexo 3a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de finca San Antonio.....	137
Anexo 4. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Santa Antonio.....	138
Anexo 4a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de finca San Antonio.....	138
Anexo 5. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Santa Cecilia.....	139
Anexo 5a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de finca Santa Cecilia.....	139
Anexo 6. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Santa Cecilia.....	140
Anexo 6a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de finca Santa Cecilia.....	140
Anexo 7. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Margarita.....	141
Anexo 7a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de finca Margarita.....	141

Anexo 8.	Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Margarita.....	142
Anexo 8a.	Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de finca Margarita.....	142
Anexo 9.	Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Balsas.....	143
Anexo 9a.	Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de finca Balsas.....	143
Anexo 10.	Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de finca Balsas.....	144
Anexo 10a.	Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de finca Balsas.....	144
Anexo 11.	Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de finca Higuitos.....	145
Anexo 11a.	Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de finca Higuitos.....	145
Anexo 12.	Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de finca Higuitos.....	146
Anexo 12a.	Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de finca Higuitos.....	146
Anexo 13.	Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de finca Mango.....	147
Anexo 13a.	Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de finca Mango.....	147
Anexo 14.	Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de finca Mango.....	148
Anexo 14a.	Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de finca Mango.....	148
Anexo 15.	Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de finca Palo Blanco.....	149
Anexo 15a.	Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de finca Palo Blanco.....	149
Anexo 16.	Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de finca Palo Blanco.....	150
Anexo 16a.	Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de finca Palo Blanco.....	150
Anexo 17.	Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de finca Jagua.....	151
Anexo 17a.	Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de finca Jagua.....	151
Anexo 18.	Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de finca Jagua.....	152

Anexo 18a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de finca Jagua.....	152
Anexo 19. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de finca Javillo.....	153
Anexo 19a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de finca Javillo.....	153
Anexo 20. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de finca Javillo.....	154
Anexo 20a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de finca Javillo.....	154
Anexo 21. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de finca Caoba.....	155
Anexo 21a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de finca Caoba.....	155
Anexo 22. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de finca Caoba.....	156
Anexo 22a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de finca Caoba.....	156
Anexo 23. Área cultivada y rendimiento por hectárea en cada finca estudiada.....	157

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Área cultivada, rendimiento promedio y producción total de banano por continente.....	8
Cuadro 2. Niveles críticos en diferentes tejidos de plantas de banano completamente desarrolladas, variedad Cavendish Gigante.....	13
Cuadro 3. Cantidad de nutrientes extraídas por diferentes partes de la planta de banano necesarias para un rendimiento de 1000 kg/ha.....	14
Cuadro 4. Ubicación de las áreas seleccionadas en las 11 fincas.....	33
Cuadro 5. Indicadores determinados en cada minicalicata.....	35
Cuadro 6. Datos biométricos del cultivo en cada área de alta y baja productividad de las fincas.....	40
Cuadro 7. Características físicas del horizonte superior del suelo en ambas áreas de las fincas.....	42
Cuadro 8. pH, relaciones catiónicas, porcentaje de saturación de K y Ca y contenido de P, NO ₃ y Al ³⁺ en cada área de las fincas bananeras.....	44
Cuadro 9. Medias obtenidas para los indicadores biológicos en cada área de las fincas.....	47
Cuadro 10. Regresiones paso a paso respecto a la circunferencia de la madre.....	48
Cuadro 11. Regresiones paso a paso respecto al número de manos de banano producidas.....	49
Cuadro 12. Correlaciones entre los indicadores determinados con las variables físicas.....	51
Cuadro 13. Correlaciones entre los indicadores determinados con las variables químicas.....	52
Cuadro 14. Correlaciones entre los indicadores determinados con las variables biológicas.....	53
Cuadro 15. Indicadores que obtuvieron los mejores resultados de acuerdo con el método de análisis estadístico utilizado.....	56
Cuadro 16. Clases diferenciadas obtenidas en el dendrograma.....	58
Cuadro 17. Conjunto mínimo de datos (MDS).....	58
Cuadro 18. Correlaciones entre las variables del MDS.....	59
Cuadro 19. Valores propios del análisis de componentes principales del MDS.....	60
Cuadro 20. Comunalidad y contribución de cada indicador para la construcción del índice de calidad de suelos bananeros según el análisis de componentes principales.....	61
Cuadro 21. Curvas de respuesta obtenidas para cada indicador del MDS....	63

Cuadro 22. Promedios obtenidos para los indicadores en cada área de alta y baja productividad de las fincas bananeras.....	74
Cuadro 23. Índices de calidad de suelos determinados para cada área de alta y baja productividad en las fincas bananeras.....	75
Cuadro 24. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Los Ángeles.....	75
Cuadro 25. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca San Antonio.....	77
Cuadro 26. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Santa Cecilia.....	78
Cuadro 27. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Margarita	79
Cuadro 28. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Balsas....	81
Cuadro 29. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Higuitos...	82
Cuadro 30. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Mango....	83
Cuadro 31. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Palo Blanco.....	85
Cuadro 32. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Jagua.....	86
Cuadro 33. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Javillo....	87
Cuadro 34. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Caoba....	89
Cuadro 35. Propiedades físicas del suelo de la finca Los Ángeles.....	91
Cuadro 36. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Los Ángeles.....	92
Cuadro 37. Propiedades físicas del suelo de la finca San Antonio.....	93
Cuadro 38. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca San Antonio.....	94
Cuadro 39. Propiedades físicas del suelo de la finca Santa Cecilia.....	95
Cuadro 40. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Santa Cecilia.....	96
Cuadro 41. Propiedades físicas del suelo de la finca Margarita.....	97
Cuadro 42. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Margarita.....	98
Cuadro 43. Propiedades físicas del suelo de la finca Balsas.....	99
Cuadro 44. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Balsas.....	100
Cuadro 45. Propiedades físicas del suelo de la finca Higuitos.....	101
Cuadro 46. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Higuitos.....	102
Cuadro 47. Propiedades físicas del suelo de la finca Mango.....	103
Cuadro 48. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Mango.....	104
Cuadro 49. Propiedades físicas del suelo de la finca Palo Blanco.....	105
Cuadro 50. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de	

	productividad en los suelos de la finca Palo Blanco.....	106
Cuadro 51.	Propiedades físicas del suelo de la finca Jagua.....	107
Cuadro 52.	Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Jagua.....	108
Cuadro 53.	Propiedades físicas del suelo de la finca Javillo.....	109
Cuadro 54.	Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Javillo.....	110
Cuadro 55.	Propiedades físicas del suelo de la finca Caoba.....	111
Cuadro 56.	Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Higuitos.....	112
Cuadro 57.	Correlaciones del promedio general de los indicadores de ambas áreas de las fincas.....	113
Cuadro 58.	Limitaciones físico-químicas y biológicas encontradas en las fincas independientes.....	116
Cuadro 59.	Limitaciones físico-químicas y biológicas encontradas en las fincas de COOSEMUPAR.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación de las áreas de producción de banano en Panamá.....	9
Figura 2. Representación diagramática de una planta de banano.....	10
Figura 3. Efecto de diferentes dosis de potasio sobre el rendimiento de banano determinado en varios experimentos.....	15
Figura 4. Rendimiento de banano (t/ha) en siete fincas productoras del Pacífico de Panamá entre 1990 y 2006.....	19
Figura 5. Triple funcionalidad del suelo – base del concepto de calidad del suelo. Doran y Parkin 1994.....	20
Figura 6. Escala para la evaluación de la calidad del suelo según Karlen <i>et al.</i> , (1997). Traducida y adaptada.....	22
Figura 7. Ubicación de las fincas productoras de banano en la vertiente del Pacífico de Panamá.....	29
Figura 8. Principales cuencas hidrográficas de la zona bananera del Pacífico.....	30
Figura 9. Precipitación y temperatura mensual en la zona bananera del Pacífico de Panamá. Año 2007.....	31
Figura 10. Diseño de las cuatro réplicas o minicalicatas usadas para la determinación de los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo en cada área de alta y baja productividad seleccionada.....	34
Figura 11. Procedimiento general de determinación del índice de calidad de suelos bananeros.....	38
Figura 12. Análisis en componentes principales – círculo de correlaciones	55
Figura 13. Dendrograma obtenido mediante análisis de clasificación automática.....	57
Figura 14. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador pH...	63
Figura 15. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador % de arena.....	64
Figura 16. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador calcio	66
Figura 17. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador potasio.....	67
Figura 18. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador materia orgánica.....	68
Figura 19. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador respiración microbiana total.....	69
Figura 20. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador índice de mineralización.....	70
Figura 21. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador peso total de raíces.....	71
Figura 22. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Los	

Ángeles.....	76
Figura 23. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca San Antonio.....	78
Figura 24. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Santa Cecilia.....	79
Figura 25. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Margarita.....	80
Figura 26. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Balsas	81
Figura 27. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Higuitos.....	82
Figura 28. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Mango	84
Figura 29. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Palo Blanco.....	85
Figura 30. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Jagua	87
Figura 31. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Javillo	88
Figura 32. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Caoba	89

ABREVIATURAS QUE APARECEN EN EL DOCUMENTO

ACP	Análisis en componentes principales
Al³⁺	Ión aluminio
Alt hij	Altura del hijo
Ami	Clima tropical húmedo según Köppen
b	Constante que indica la concavidad de la curva de respuesta de cada indicador
BL	Finca Balsas
B. subang.	Bloques subangulares
C	Carbono
CA	Finca Caoba
Ca	Calcio
CaCO₃	Carbonato de calcio
CATAPAN	Estudio sobre capacidad de tierras y aguas de Panamá
CE	Conductividad eléctrica
Circ. Madre	Circunferencia de la madre
cm	Centímetro
cm h⁻¹	Centímetro por hora
cmol kg⁻¹	Centímol por kilogramo
C/N	Relación carbono-nitrógeno
CO₂	Dióxido de carbono
COOBANA	Cooperativa Bananera del Atlántico
COOSEMUPAR	Cooperativa de Servicios Múltiples de Puerto Armuelles
Cu	Cobre
Dap	Densidad aparente
Dens. ap.	Densidad aparente
ETESA	Empresa de Transmisión Eléctrica S.A.
F	Franco
FA	Franco Arcilloso
FAAr	Franco Arcillo Arenoso
FAr	Franco Arenoso
FAL	Franco Arcillo Limoso
FL	Franco Limoso
Fe	Hierro
g cm⁻³	Gramos por centímetro cúbico
GPS	Sistema de posicionamiento global
HG	Finca Higuitos
IDIAP	Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá
Ind. Min.	Índice de mineralización
JG	Finca Jagua
JV	Finca Javillo
K	Potasio

KCl	Cloruro de potasio
kg	Kilogramo
kg cm⁻²	Kilogramo por centímetro cuadrado
K₂O	Óxido de potasio
LA	Finca Los Ángeles
m	Metro. Constante que indica la extensión de la curva de respuesta de cada indicador
m²	Metro cuadrado
Máx	Máximo
MDS	Conjunto mínimo de datos
MG	Finca Mango
Mg	Magnesio
mg C/100 g	Miligramos de carbono por cien gramos de suelo
mg C/Ctotal	Miligramos de carbono por carbono total
Min.	Mínimo
Mn	Manganeso
MO	Materia orgánica
MR	Finca Margarita
mS/m	Mili Siemens por metro
N	Nitrógeno
Nº manos	Número de manos de banano
PB	Finca Palo Blanco
pH	Actividad del ión hidrógeno. Grado de acidez del suelo.
P₂O₅	Pentóxido de fósforo
RM. Total	Respiración microbiológica total
RP	Resistencia a la penetración
RT	Peso total de la raíz
SA	Finca San Antonio
SC	Finca Santa Cecilia
% sat Ca	Porcentaje de saturación de calcio
% sat K	Porcentaje de saturación de potasio
t/ha	Toneladas por hectárea
USDA	Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos
UTM	El Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator
Zn	Cinc

RESUMEN

El banano (*Musa x paradisiaca L.*) es uno de los cultivos agrícolas más importantes en muchos países tropicales y es el cuarto producto con mayor volumen de exportación en el mundo, sólo superado por el arroz, el trigo y el maíz (FAO, 2004). En Panamá, se ha registrado una reducción considerable en la productividad, debido al cambio y deterioro acelerado de las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo. Este trabajo se realizó con el objetivo de determinar índices físico-químicos y biológicos de calidad del suelo que permitieran interpretar las causas de la disminución de la productividad de las plantaciones de banano en los suelos de los distritos de Barú y Alanje. La investigación se realizó en el área bananera del Pacífico de Panamá, en 5 fincas independientes del distrito de Alanje y 6 fincas pertenecientes a la Cooperativa COOSEMUPAR en Barú. Los suelos son de origen sedimentario, reciben influencia de las zonas volcánicas próximas a la región. Pertenecen a los órdenes Inceptisol (Andic Dystrudepts, Udic Haplustepts y Dystric Haplustepts) y Entisol (Andic Udifluvents), con un promedio anual de lluvias de 2200 mm y temperatura media de 27°C. Dentro de cada finca se escogieron áreas de productividad contrastante (alta y baja). Para la descripción de los indicadores se abrieron 8 calicatas (4 por cada área) de 60 X 60 X 60 cm en la banda de fertilización de plantas de banano recién florecidas. Alrededor de la minicalicata se registraron los datos biométricos de vigor: circunferencia de la madre, altura del hijo, número de manos de banano de 20 plantas cercanas a cosecha. Además, en cada sitio se midió la infiltración básica, el peso total de raíces y se tomaron muestras para determinar las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo. La finca San Antonio fue la que presentó un mayor contraste entre áreas de alta y baja productividad, mientras que las fincas Margarita, Mango y Jagua los menores. Se obtuvo correlación positiva entre la circunferencia de la madre y el número de manos que fue de 0,88 y correlaciones positivas importantes entre la circunferencia de la madre y el peso total de raíces y contenido de Ca, Mg y P en el suelo. En todas las fincas se pudo observar elevados niveles de Ca, Mg y K, lo que hace que la saturación de aluminio en estos suelos aun se mantenga en niveles bajos. En promedio, el porcentaje de saturación de Ca sobrepasaba el 65% en estos suelos, en cambio, el de K no fue mayor de 5 %. Esto demuestra que ha habido un encalamiento continuo en las fincas, razón por la cual existe una alta acumulación de Ca en el perfil. Los niveles de K en algunas fincas excedían las necesidades del cultivo. Fueron obtenidas bajas concentraciones de materia orgánica, relacionado con la baja actividad biológica y escasa biomasa microbiana. En la mayoría de las fincas la infiltración era lenta, sin embargo, en algunas áreas de las fincas San Antonio, Los Ángeles, Javillo, Balsas y Margarita, se encontró mejor velocidad de infiltración, entre 60 y 120 mm/h. Después de realizar el análisis de componentes principales al total de los indicadores determinados el conjunto mínimo de datos (MDS) quedó integrado por los siguientes indicadores: porcentaje de arena, pH, Ca, K, materia orgánica, respiración microbiológica, índice de mineralización y peso total de raíces, que fueron los que mejor ayudaron a diferenciar entre áreas de alta y baja productividad. En la mayoría de las fincas se observó que las propiedades físicas como capacidad de aireación del suelo, velocidad de infiltración y la resistencia a la penetración tenían una gran influencia sobre la calidad y la productividad del banano en estos suelos. Ninguna de estas propiedades físicas obtuvo elevada puntuación al realizar el cálculo matemático de los índices. Se comprueba así, que muchas veces estos métodos estadísticos de calcular índices de calidad, enmascaran o subestiman la influencia que pudieran tener otros indicadores que no obtienen elevada puntuación matemática mediante el método estadístico utilizado.

RESUM

El cultiu de la banana (*Musa x paradisiaca L.*) és un dels conreus agrícoles més importants en molts països tropicals i és el quart producte amb major volum d'exportació al món, només superat per l'arròs, el blat i el blat de moro (FAO, 2004). A Panamà, a pesar de l'aplicació de tècniques i insums d'alt cost, s'ha registrat una considerable reducció en la productivitat, Causa el canvi i deteriorament accelerat de les propietats físico-químiques i biològiques del sòl. Aquest treball es va realitzar amb l'objectiu de determinar índexs físico-químics i biològics de qualitat del sòl que permetessin interpretar les causes de la disminució de la productivitat de les plantacions de banana en els sòls dels districtes de Barú i Alanje. La investigació es va realitzar a l'àrea bananera del Pacífic de Panamà, en 5 finques independents del districte d'Alanje i 6 finques pertanyents a la Cooperativa COOSEMUPAR a Barú. Els sòls són d'origen sedimentari, reben influència de les zones volcàniques properes a la regió. Pertanyen als ordres Inceptisol (Andic Dystrudepts, Udic Haplustepts i Distric Haplustepts) i Entisol (Andic Udifluvents), amb una mitjana anual de pluges de 2200 mm, temperatura mitjana de 27 ° C. Dins de cada finca es van escollir àrees de contrastant productivitat (alt i baixa). Per a la descripció dels indicadors es van obrir 8 sondatges (4 per cada àrea) de 60 X 60 X 60 cm a la banda de fertilització de plantes de banana recent florides. Al voltant de la minicalicata es van registrar les dades biomètriques de vigor: circumferència de la mare, alçada del fill, nombre de mans de banana de 20 plantes properes d'una collita. A més, en cada lloc es va mesurar la infiltració bàsica, el pes total d'arrels i es van prendre mostres per determinar les propietats físico-químiques i biològiques del sòl. La finca de San Antonio va ser la que va presentar un major contrast entre àrees d'alt i baixa productivitat, mentre que les finques de Margarita, Mango i Jagua els menors. Es va obtenir correlació positiva entre la circumferència de la mare i el nombre de mans que va ser de 0,88 i correlacions positives importants entre la circumferència de la mare i el pes total d'arrels i contingut de Ca, Mg i P a sòl. En totes les finques es va poder observar elevats nivells de Ca, Mg i K, pel que fa a la saturació d'alumini és encara aquests sòls és mantenir a nivells baixos. De mitjana, el percentatge de saturació de Ca sobrepassava el 65% En aquests sòls, en canvi, el de K no ser de 5%. Això demostra que hi ha hagut un emblanquinat continu en les finques, raó per la quina existeix una alta acumulació de Ca al perfil. Els nivells de K en finques, algunes excedien les necessitats del cultiu. Van ser obtingudes baixes concentracions de matèria orgànica, relacionat amb la baixa i escassa activitat biològica i biomassa microbiana. A la majoria de les finques la infiltració era lenta, però, en algunes àrees de les finques San Antonio, Los Angeles, Javillo, Balsas i Margarita, es va trobar millor velocitat d'infiltració, entre 60 i 120 mm/h. Després de realitzar l'anàlisi de components principals al total dels indicadors determinats el conjunt mínim de dades (MDS), va quedar integrat pels següents indicadors: percentatge de sorra, el pH, Ca, K, matèria orgànica, respiració microbiològica, índex de mineralització i pes total d'arrels, que van ser els que millor van ajudar a diferenciar entre àrees d'alta i baixa productivitat. En la majoria de les finques es va observar que les propietats físiques com a capacitat d'aireig del sòl, velocitat d'infiltració i la resistència a la penetració tenien una gran influència sobre la qualitat i la productivitat de la banana en aquests sòls. Cap d'aquestes propietats físiques va obtenir elevada puntuació al realitzar el càlcul matemàtic dels índexs. Es comprova així, que moltes vegades aquests mètodes estadístics de calcular índexs de qualitat, emmascaren o subestimen la influència que poguessin tenir altres indicadors que no obtenen elevada puntuació matemàtica mitjançant el mètode estadístic utilitzat.

SUMMARY

The banana (*Musa x paradisiaca L.*) is one of the most important agricultural crops in many tropical countries and is the fourth product with the highest export volume in the world, overcome only to rice, wheat and maize (FAO, 2004). In Panama, despite the application of techniques and high-cost inputs, there has been a significant reduction in productivity due to accelerated change and deterioration of physical, chemical and biological soil. There is evidence of the direct relationship between reduced productivity and loss of soil quality for the adverse impact of conventional production system. This work was conducted with the aim to determine physical, chemical and biological indices of soil quality for interpreting the causes of the decline of productivity of the banana plantations in soils of the Alanje and Baru districts. The research was conducted in the Pacific banana area of Panama in 5 independent farms from Divala, Alanje district and 6 farms belonging to the Cooperative COOSEMUPAR in Baru district.. The soils are of sedimentary origin, are influenced by volcanic areas near the region. Belong to the orders Inceptisols (Andic Dystrudepts, Udic Haplustepts and Dystric Haplustepts) and Entisols (Andic Udifluvents) with an average annual rainfall of 2200 mm and average temperature of 27 ° C. Within each farm were chosen areas of contrasting productivity (high and low). For a description of the indicators 8 trial pits were opened (4 per area) of 60 X 60 X 60 cm in the fertilizer band of banana plants newly in bloom. Around minipits recorded biometric data of effect: circumference of the mother, child height, number of hands of 20 banana plants near harvest. In each site we measured the basic infiltration, the total weight of roots and sampled to determine the physico-chemical and biological soil properties. The San Antonio was the one with a greater contrast between high and low productivity areas, while farms Margarita, Mango and Jagua minors. Positive correlation was obtained between the circumference of the mother and the number of hands was 0.88 and significant positive correlations between the circumference of the mother and root weight and total content of Ca, Mg and P in the soil. In all the farms we observed high levels of Ca, Mg and K, which makes aluminum saturation in these soils still, remains low. On average, the percentage Ca saturation exceeded 65% in these soils; however, the K was not higher than 5%. This shows that there has been a continuous liming on farms, which is why there is a high accumulation of Ca in the profile. K levels on some farms exceeded crop requirements. Were obtained low concentrations of organic matter, related to the low biological activity and low microbial biomass. In most farms infiltration was slow, however, some areas of the San Antonio, Los Angeles, Javillo, Balsas and Margarita farms, it was better infiltration rates, between 60 and 120 mm/h. After performing the principal component analysis to the total indicators identified the minimum data set (MDS) was composed of the following indicators: percentage of sand, pH, Ca, K, organic matter, microbial respiration, mineralization rate and weight total roots, who were the best help distinguish between areas of high and low productivity. In most of the farms was found that the physical properties such as soil aeration capacity, speed of infiltration and penetration resistance had a great influence on the quality and productivity of banana in these soils. None of these physical properties obtained high score to make the mathematical calculation of the indices. Thus one can confirm that many times these statistical methods of calculating quality indices, mask or underestimate the influence that may have other indicators that do not get high mathematical score by statistical method used.

CAPÍTULO 1- INTRODUCCIÓN

El cultivo del banano constituye una de las principales fuentes de ingreso en la economía de más de 120 países en el trópico y subtrópico. Además, el cultivo del banano y el plátano como un conjunto, representan el cuarto cultivo más importante del 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).

La industria bananera es de gran importancia para el desarrollo socioeconómico en la región por lo que es necesario revisar y modificar el sistema actual de producción de banano, empleando tecnologías que tiendan a reducir la cantidad de agroquímicos utilizados en la producción. Estas innovaciones tecnológicas deberán garantizar el incremento y mantenimiento de la calidad de los suelos bananeros, así como reducir los riesgos de contaminación ambiental y asegurar la protección de los trabajadores en las plantaciones bananeras (Gauggel *et al.*, 2005).

El banano es cultivado en una alta diversidad de suelos, en sistemas tradicionales y ambientalmente conservadores, lo que implica cambios marcados en las características del suelo y su calidad. Por lo tanto, es necesario buscar indicadores que sirvan de referencia para conocer la estabilidad y la calidad de estos suelos.

La calidad del suelo está definida como “la capacidad de un suelo para funcionar dentro de un ecosistema, para una productividad biológicamente sostenible, manteniendo la calidad y promoviendo la salud de la planta y el animal (Doran y Parkin, 1994).

Un indicador es una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información importante. Los indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas, aunque pueden ser cualitativas o nominales o de rango u ordinales, especialmente cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa, o el atributo no es cuantificable, o cuando los costos para cuantificar son demasiado elevados. Las principales funciones de los indicadores son: evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo - Río '92 (UNCED) marcó un hito muy especial al establecer la necesidad de

desarrollar y aplicar diferentes metodologías mediante la obtención de indicadores para determinar el estado del ambiente y monitorear los cambios ocurridos a nivel local, nacional, regional y global. La determinación de estos indicadores y su monitoreo constante podría ayudar a realizar una mejor evaluación de las dimensiones de los diferentes problemas ambientales, identificar y evaluar los resultados de la aplicación de las convenciones internacionales y los programas de acción, como también, orientar las políticas nacionales (Cantú et al., 2007). Estas iniciativas han ayudado mucho a desarrollar el interés y el desarrollo de metodologías para medir la calidad de los suelos.

Panamá cuenta con 18 productores independientes que cultivan un área total de 6.556 ha de banano (4.731 en el Pacífico y 1.825 en el Atlántico) de un total de 11.070 ha cultivadas. Además existen dos cooperativas productoras, la Cooperativa de Banano del Atlántico R.L. (COOBANA R.L.) y la Cooperativa de Servicios Múltiples de Puerto Armuelles R.L. (COOSEMUPAR R.L.). Las otras 5.151 ha son cultivadas por la Compañía Chiquita por medio de la Bocas Fruit Company (Dirección Nacional del Banano, 2003).

En el año 2006 la exportación de banano en Panamá sumó unas 22,6 millones de cajas (436.632 toneladas) con un valor de 115,8 millones de dólares al mercado internacional (Dirección Nacional del Banano. MICI, 2007). La recuperación fue atribuida por el Ministerio de Comercio a un crecimiento del 26 % de las exportaciones en las plantaciones del Atlántico, desde donde se exportaron 15 millones de cajas (289.800 toneladas), casi dos tercios del total enviado al exterior ese año.

A pesar del crecimiento de las exportaciones bananeras en 2006, en el Pacífico hubo una caída de 4,6%, factor atribuido a problemas en las fincas independientes, desgaste de los suelos y a la sigatoka negra. Para el año 2007, hubo una disminución del 10% en el volumen total exportado e ingresos por el orden de 103 millones de dólares (Dirección Nacional del Banano. MICI, 2008). En el 2008, las exportaciones no alcanzaron los 100 millones de dólares (La Prensa, 2009)

En Panamá, el cultivo comercial del banano se realiza desde hace más de 100 años en zonas que antes eran ocupadas por bosques tropicales. Debido a la gran calidad de fruta producida se ha logrado que el mercado de la Unión Europea sea el destino del 90 % de la fruta panameña. Sin embargo, en los últimos años se observa un deterioro constante de las plantaciones, disminución de la calidad y productividad de las fincas.

El monocultivo, las enfermedades y plagas como la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), el uso intensivo de agroquímicos, aplicación de dosis de fertilizantes por encima de la capacidad de extracción del cultivo, pérdida del recurso suelo por erosión y desequilibrio entre los componentes físico - químicos y biológicos del suelo, han ocasionado una reducción considerable en la productividad, debido al cambio y deterioro acelerado de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Se tiene evidencia de la relación directa entre la reducción de la productividad y el aumento de los procesos de degradación del suelo, por el impacto adverso que resulta de malas prácticas de producción (Gauggel *et al*, 2005; Pattison, *et al*, 2005).

Según Pla (1988), los procesos de degradación del suelo son aquellos que reducen tanto en forma cuantitativa como cualitativa, su capacidad actual de producir bienes o servicios. Por lo general, son debidos a la ruptura provocada por la intervención humana, del equilibrio natural entre la agresividad climática y la resistencia potencial de los suelos.

Actualmente los esfuerzos para tratar de comprender los procesos que ocurren en el suelo, han sido enfocados principalmente en las propiedades físicas y químicas y de sus relaciones con algunas características especiales como la topografía y las condiciones climáticas predominantes, no obstante, las propiedades biológicas y el desarrollo radical de la planta juegan un papel determinante en la expresión del potencial productivo del cultivo y son elementos claves para explicar las complejas interacciones del suelo y su rizosfera (Pattison, 2004).

En los sistemas agrícolas, un suelo de alta calidad y salud permite un crecimiento productivo y sostenible de los cultivos con el mínimo impacto sobre el ambiente, gracias a su alta disponibilidad de nutrientes y aireación, buena infiltración y retención de humedad, estabilidad estructural y elevado nivel de actividad biológica.

En la medida en que se avance en metodologías y generación de información que permitan establecer indicadores confiables se estará más cerca de diseñar sistemas productivos menos agresivos con el suelo, el medio ambiente y delimitar aquellas zonas que es necesario mantener sin intervenir. Aunando esfuerzos en este sentido, la presente investigación busca generar información sobre características químicas, físicas y biológicas de los suelos donde se asienta un ecosistema ambientalmente muy frágil como lo es la zona bananera del Pacífico del Istmo de Panamá y analizarlos en términos de indicadores de calidad del suelo.

1.1- OBJETIVOS

- ◆ Determinar un índice de calidad del suelo por medio de indicadores físicos, químicos y biológicos que permitieran interpretar las causas de la disminución del rendimiento de las plantaciones de banano en los suelos de los distritos de Barú y Alanje.
- ◆ Evaluar la influencia que tienen las propiedades del suelo determinadas sobre la productividad del banano y la calidad de los suelos.

1.2 Estructura de la Tesis

La tesis está dividida en 7 capítulos, cada uno con sus características particulares.

El primer capítulo corresponde a la Introducción. Se hace una breve descripción del tema central de la tesis y del problema existente en los suelos productores de banano en Panamá, además se describen los objetivos planteados.

El segundo capítulo explica los antecedentes del tema. El cultivo del banano en Panamá, la evaluación de la calidad del suelo, qué son los indicadores, su importancia y uso.

En el tercer capítulo, se explica la metodología empleada para la descripción de los suelos a través del uso de minicalicatas y la determinación de los índices de calidad.

El cuarto capítulo presenta el índice de calidad del suelo calculado por finca y la influencia de las propiedades físicas del suelo de los horizontes más profundos sobre la productividad del banano.

El quinto capítulo presenta las conclusiones a las que se llegó luego de analizados los resultados.

El sexto capítulo presenta las recomendaciones que se consideran importantes para poder darle una utilidad al índice calculado y probar su validez en el tiempo.

El séptimo capítulo presenta las referencias bibliográficas utilizadas para la elaboración de la presente tesis.

Además se presentan en los anexos una serie de resultados de análisis físico-químico de los suelos de las fincas, así como también, el análisis de las características físicas de la calicata.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1- Origen y descripción sistemática del género *Musa*

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 las 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 bananos.

Prácticamente desconocidas en América aún a finales del siglo XIX, eran consideradas frutas exóticas. Fue llevada por los portugueses a Islas Canarias poco después de 1402 y de allí pasó al Nuevo Mundo. Según León (2000) estas especies fueron introducidas en América después de la conquista; Fray Tomás de Berlanga trajo las primeras cepas a Santo Domingo hacia 1516.

El banano es una planta monocotiledónea herbácea, de gran tamaño, con un tronco falso que produce un racimo único y luego muere. Clasificadas dentro de la familia Musácea (Simmonds, 1966), en la sección *Eumusa*, género *Musa* y orden Zingiberales. El género *Musa* está dividido dentro de cuatro secciones, los cuales incluyen dos tipos con semillas y dos sin semillas (partenocarpicos). Dos de las secciones contienen especies con número de cromosomas $2n = 20$ (*Callimusa* y *Australlimusa*) mientras que las especies de las otras dos secciones (*Eumusa* y *Rhodoclamys*) tienen un número básico de cromosomas de 11 ($2n = 22$) (Horry *et al.* 1997). La mayoría de las formas silvestres son diploides y fértiles, mientras que los genotipos cultivados son partenocárpicos y estériles, condiciones indispensables para obtener frutas comestibles. El género *Musa* incluye miembros con tipo de reproducción sexual (por semilla) y asexual (cormos y meristemas) (Sharrock *et al.*, 2001). La esterilidad se debe a un complejo de causas: genes específicos de esterilidad, poliploidía y cambio estructural cromosómico (Horry *et al.* 1997). Su principal forma de reproducción es vegetativamente.

Los elementos principales para la clasificación de los bananos comestibles son aquellos favorecidos a su origen y al conocimiento del número de los cromosomas. De acuerdo con esto, se han identificado nueve grupos de cultivares con diferentes niveles de ploidía y aportes en el genoma (A = *acuminata* y B = *balbisiana*), desde los diploides ($2n = 2x = 22$) los más numerosos, seguidos por los triploides y tetraploides (Stover y Simmonds 1989). Los genomas más importantes por su valor como alimento básico o como fuente de ingreso, son los

genomas AAA, AAB y ABB. La triploidía confiere mayor vigor a la planta, mayor productividad y favorece la esterilidad (Price, 1995; Soto, 1990). La inflorescencia pendular produce flores rojas, femeninas, masculinas o hermafroditas. Su fruto es carnoso de color crema o amarillo. Entre los principales cultivares comerciales están el Gros Michel, Subgrupo Cavendish (Robusta Valery) y el Cavendish Gigante (Grand Naine).

2.2- Importancia del banano en la alimentación mundial

En Panamá y en muchos países de América se utiliza el término “banano” para identificar la fruta para el consumo fresco, en otros países como México y en Canarias (España) se les llama “Plátanos” tanto a los frutos de consumo fresco como también a los que se consumen cocinados.

El banano es un alimento básico para millones de personas en las zonas tropicales del mundo en desarrollo. Tiene significativa importancia nutricional, ya que es una fuente rica en carbohidratos, necesarios para dar energía al cuerpo humano, y de fácil digestión (INIBAP, 1998).

El banano es el cuarto producto agrícola con mayor volumen de exportación en el mundo, sólo superado por el arroz, el trigo y el maíz (FAO, 2004). Durante el año 2005 hubo una producción total de 72.465.770 t/año en un área cultivada de 4.639.165 hectáreas y un rendimiento promedio de 18,5 t/ha. La principal zona exportadora del mundo es América Latina y el Caribe destacándose en exportaciones: Ecuador, Costa Rica y Colombia. El mayor exportador en Asia, es Filipinas; en África, Camerún y Costa de Marfil. Los países desarrollados representan el 83 % de las importaciones mundiales de banano. Los principales mercados son América del Norte, Comunidad Europea, Japón, los países de Europa Oriental y Rusia (FAO-STAT, 2007).

El total de áreas cultivadas, el rendimiento y la productividad del cultivo de banano han variado de forma sustancial a través de los años. En el Cuadro 1 se puede ver la producción por continente de acuerdo con el reporte de la FAO para el año 2007.

En América Latina y el Caribe la producción total de musáceas supera los 31 millones de toneladas de fruta anuales provenientes de 1,4 millones de hectáreas; se estima que es el 36% de la producción mundial (FAO-STAT, 2007). Aproximadamente un tercio de esta producción está destinada a la exportación, y

el resto (22 millones de toneladas), son consumidas localmente y producidas por pequeños agricultores de bajos ingresos. Dichas producciones son principalmente plátano con una producción de 7,37 millones de toneladas, el plátano de cocción tipo ABB con 6,5 millones de toneladas y banano subgrupo Cavendish (variedades William, Valery, Cavendish Gigante) de consumo local (Lescot, 2000).

Cuadro 1. Área cultivada, rendimiento promedio y producción total de banano por continente (FAO, 2007)

Continente	Área cultivada (ha)	Rendimiento promedio (t/ha)	Producción total (t/año)
Africa	1.006.583	7,57	7.620.389
Asia	2.119.788	18,35	38.895.334
América Latina y El Caribe	1.220.010	19,98	24.372.197

2.2.1- La producción de banano en Panamá

La producción de banano para la exportación en Panamá se inicio desde el año 1890, antes de la independencia de Colombia. Las plantaciones bananeras están ubicadas en la costa Atlántica y Pacífica del Istmo, en las provincias de Bocas del Toro y Chiriquí, respectivamente, siendo el mercado de la Unión Europea el destino del 90 % de la fruta panameña.

En Panamá se cultivan en total 11.070 ha de banano, los productores independientes cultivan un área total de 6.556 ha. de banano (4.731 en el Pacífico y 1.825 en el Atlántico) (Figura 1). Las otras 5.151 ha son cultivadas en el lado Atlántico por la Compañía Chiquita a través de la Bocas Fruit Company (Dirección Nacional del Banano, 2003).

En el año 2007 Panamá exportó un total de 20,4 millones de cajas de banano (406.627 toneladas) que representaron ventas totales al exterior por un monto de 103,2 millones de dólares (Dirección Nacional del Banano, 2008).



Figura 1. Ubicación de las áreas de producción de banano en Panamá

Según datos de comercio de La Unión Europea, Panamá es uno de los cuatro países dominantes en la actividad exportadora de banano hacia los mercados comunitarios donde existen más de 500 millones de consumidores. Los demás países incluidos por los europeos asociados en su lista son Ecuador, Costa Rica y Colombia. En el año 2006, la Unión compró al menos 5 millones de toneladas de banano y de este total, un 82 por ciento provino de las importaciones. Panamá ocupa el cuarto lugar en esta reducida nómina con una cuota de 406.632 toneladas, antecedido por Ecuador con 743.6242, Costa Rica 689.245 y Colombia con 662.587.

2.2.2. Manejo del cultivo de banano en Panamá

La planta de banano se desarrolla mejor en los climas tropicales y subtropicales, y a diferencia de otras especies tiene una actividad vegetativa continua, generando de esta manera crecimiento y fructificación todo el año.

El banano se multiplica a través del ahijamiento, siendo uno de los sistemas más empleados el de los cormos, que son verdaderos tubérculos con muchas yemas. Otra forma de reproducción utilizada es la técnica del colino inducido (asexual),

en la que se escogen los brotes o yemas más desarrollados, de 60 cm a 90 cm de largo, plantados en hoyos de 30 cm de lado x 30 cm de profundidad, en línea recta, a distancias de 5 m x 5 m.

Después de dos a tres meses de plantados los cormos, nace un gran número de hijos que deben eliminarse, hasta dejar sólo dos; además de este deshije se realiza el deshoje, retirando las hojas secas que cuelgan alrededor del tallo, práctica que se realiza sólo si hay mucha sombra. De lo contrario se dejan, pues protegen la planta de la radiación directa (comunicación personal en la finca, 2009).

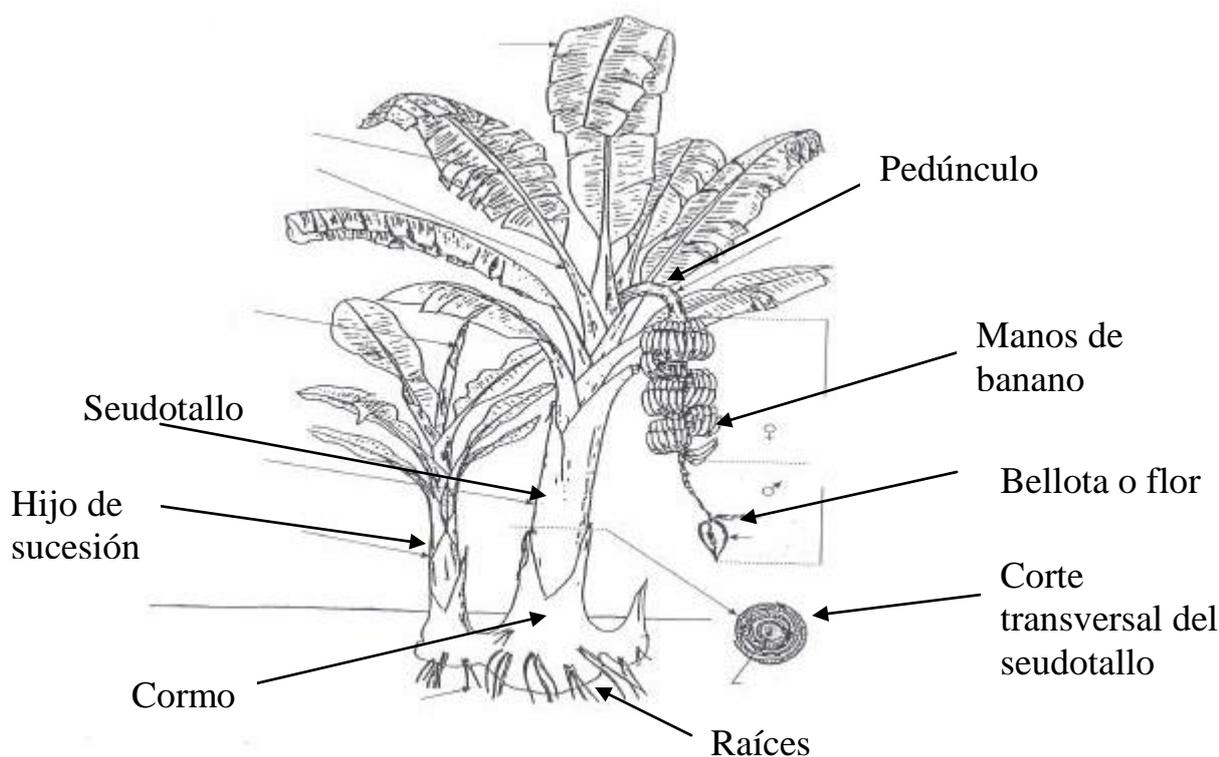


Figura 2. Representación diagramática de una planta de banano. Tomado de FAO (2002).

En la Figura 2 se puede apreciar una representación esquemática donde aparecen el hijo de sucesión y la ubicación del cormo en una planta de banano.

La siembra del banano se puede realizar los doce meses del año, pero por situaciones del mercado nacional la siembra debe realizarse en los meses de agosto - noviembre así obtendremos la producción en los meses de subida de

precio. Si la plantación se destinará para la exportación de la fruta, se puede plantar en cualquier época del año.

2.2.2.1 Sistema de Plantación

Debe estar relacionada con las condiciones de fertilidad de suelos, manejo de la plantación y otros factores. Tradicionalmente se manejaba el sistema en cuadrado cuyo distanciamiento eran 4 m x 4 m, obteniendo una densidad de 625 plantas por hectáreas. Este sistema no es muy funcional debido al área que se pierde o que deja de usarse.

Actualmente se recomienda el sistema de plantación en triángulo, o en doble surco, y si el terreno lo exige se sigue las curvas a nivel. Este sistema concede mayor aireación a la plantación. Consiste en plantar dos hileras bastante cerca una de otra y dejando un espacio bastante amplio entre cada doble hilera. Distanciamientos de 1,5 x 1,5 x 3,0 m ó de 1,10 x 1,10 x 3,0 m, resultan en una población inicial de 2.333 y 3.030 plantas por hectárea, respectivamente. Últimamente se está experimentando con plantaciones de alta densidad con 2.500 a 3.000 plantas por hectárea (Rosales *et al.*, 2009).

2.2.2.2 Exigencias edafoclimáticas

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 *et al.*, 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 costeras con texturas que van desde franco arenoso fino hasta franco arcilloso. La textura siempre debe estar ligada a la estructura. Los suelos con textura arcillosa pueden ser adecuados si tienen una estructura en bloques, migajosa ó granular. El porcentaje de arcilla no debe ser mayor del 40% ni menor al 20%. El suelo debe tener una profundidad mínima de 0,80 m sin la presencia de un nivel freático elevado o capas endurecidas a esta profundidad.

Las condiciones de pH ideales para el plátano van desde 5,5 hasta 7.0 (ligeramente ácido a neutro). Terrenos con pH alcalino y alto contenido de carbonato de calcio provocan clorosis en las plantas. Un contenido de materia orgánica superior a 2,5 % es lo ideal.

Igualmente, una altitud entre 0 y 300 m es la adecuada para el cultivo, sin embargo, el banano se adapta a alturas hasta de 2200 m, considerando que las variaciones de altitud hacia arriba prolongan el ciclo biológico. Por ejemplo, en Canarias por cada 100 metros se prolonga el ciclo 45 días y en Jamaica por cada 70 metros las plantas alargan su ciclo en 76 días (Orozco *et al.*, 2004)

Las plantaciones de banano toleran vientos hasta de 40 kilómetros por hora. Velocidades de 20 a 30 kilómetros por hora producen un leve desgarre en las hojas que no afectan el rendimiento, pero si la plantación no está bien nutrida pueden provocar doblamiento de la planta. Vientos con una velocidad mayor a los 50 kilómetros por hora pueden producir desenraizamiento y doblamiento de la planta, causando pérdidas del 60 al 100%. A nivel mundial se puede estimar una pérdida de cosecha del 20 al 30% por efecto de vientos (Lardizabal, 2007)

Aproximadamente de 85% al 88% del peso de la planta de banano está constituida por agua y requiere de un suministro adecuado durante todo el año. Se considera una precipitación óptima entre los 100 a 180 mm de agua por mes. Cuando no se tenga esta distribución es necesario suministrar riego en los meses secos La temperatura mínima que toleran es de 15,6°C y máxima de 37,8°C. (Marcelino *et al.*, 2008).

2.2.2.3 Nutrición del cultivo

Los nutrientes más requeridos por el cultivo de banano son el nitrógeno (N) y el potasio (K). 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 disponibles en el suelo, considerando 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 determinarán el rendimiento esperado en cada sitio.

Las recomendaciones de fertilización en banano normalmente no toman en

cuenta las condiciones ambientales ni las contribuciones de los nutrientes reciclados en el suelo para calcular un rendimiento óptimo. Frecuentemente se recomiendan cantidades fijas de nutrientes para áreas muy grandes de producción.

Cuadro 2. Niveles críticos en diferentes tejidos de plantas de banano completamente desarrolladas, variedad Cavendish Gigante

Nutriente*	Lámina (hoja 3)	Nervadura central (hoja 3)	Pecíolo (hoja 7)
N (%)	2,6	0,65	0,4
P (%)	0,2	0,08	0,07
K (%)	3,0	3,0	2,1
Ca (%)	0,5	0,5	0,5
Mg (%)	0,3	0,3	0,3
S (%)	0,23	-	0,36
Mn (mg/kg)	25	80	70
Fe (mg/kg)	80	50	30
Zn (mg/kg)	18	12	8
Cu (mg/kg)	9	7	5
B (mg/kg)	11	10	8

* Niveles de nutrientes y porcentajes determinados en peso seco de la planta

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 (Cuadro 2). Recomiendan que un buen plan de fertilización para el banano debiera estar basado en curvas de respuesta obtenidas para cada nutriente en condiciones locales, análisis de suelo y de tejido foliar.

Boufil (1984) determinó la cantidad de nutrientes extraída por diferentes partes de la planta necesaria para un rendimiento de 1000 kg/ha (Cuadro 3). Llama la atención las cantidades importantes de K extraídas por las diferentes partes de la planta, incluso superiores a las de N.

El potasio junto con el nitrógeno es el elemento mas importante en el cultivo de plátano, interviene en el equilibrio hídrico de la planta y del fruto; cada fruto puede contener hasta 350 miligramos de potasio, así gran cantidad de este elemento es extraído en la cosecha, por lo cual es necesario adicionarlo a través del fertilizante. El nivel crítico de K para banano utilizado en la mayoría de los países productores de América latina es de 0,5 cmol₍₊₎/kg de suelo, extraído con acetato de amonio pH 7 (López y Espinosa, 1995). En Panamá lo suelos de las zonas productoras no son deficientes en este nutriente y por lo general se obtiene baja respuesta con aplicaciones superiores a 400 kg K₂O/ha (Marcelino *et al*, 2008).

Cuadro 3. Cantidad de nutrientes extraídas por diferentes partes de la planta de banano necesarias para un rendimiento de 1000 kg/ha

Partes de la planta	N (kg)	P (kg)	K (kg)	Ca (kg)
Pseudo-tronco	0,96	0,16	2,5	0,56
Hojas	6,38	0,6	10,5	3,43
Racimo	2,13	0,26	4,53	0,1
Total	9,46	1,03	17,6	4,2

La Figura 3 muestra una comparación de los resultados de los estudios de dosis de potasio (K) utilizadas para determinar el nivel crítico y las dosis a aplicarse de acuerdo con el análisis de suelos. Es interesante notar como las mismas dosis de K permiten mayores rendimientos a medida que pasa el tiempo. La parte más alta de las curvas se encuentra entre los niveles de 600 a 700 kg/ha de K₂O en todos los casos, luego con aplicaciones muy altas de K₂O ya no se observa aumento del rendimiento.

Esta es la dosis usual de K₂O aplicada a suelos con contenido bajo de K y que fue determinada a partir de estos y otros experimentos conducidos en América Latina. El incremento en rendimiento a través del tiempo con los mismos niveles de K se debe simplemente al mejor manejo y mejor tecnología utilizados en la producción. En 1984 se aplicaba el fertilizante en cuatro fracciones al año, lo que hacía ineficiente el uso de nutrientes por la planta, particularmente en las condiciones de las zonas bananeras de Costa Rica donde llueve más de 3000 mm al año. En 1994 se usaron plantas meristemáticas de mayor potencial de producción y se recomendó fraccionar la aplicación de fertilizantes hasta en 26 ciclos al año. Esto obviamente permitió obtener mayores rendimientos con las

mismas dosis de K debido a la mejor eficiencia de utilización de los nutrientes por el cultivo (López y Espinosa, 1995)

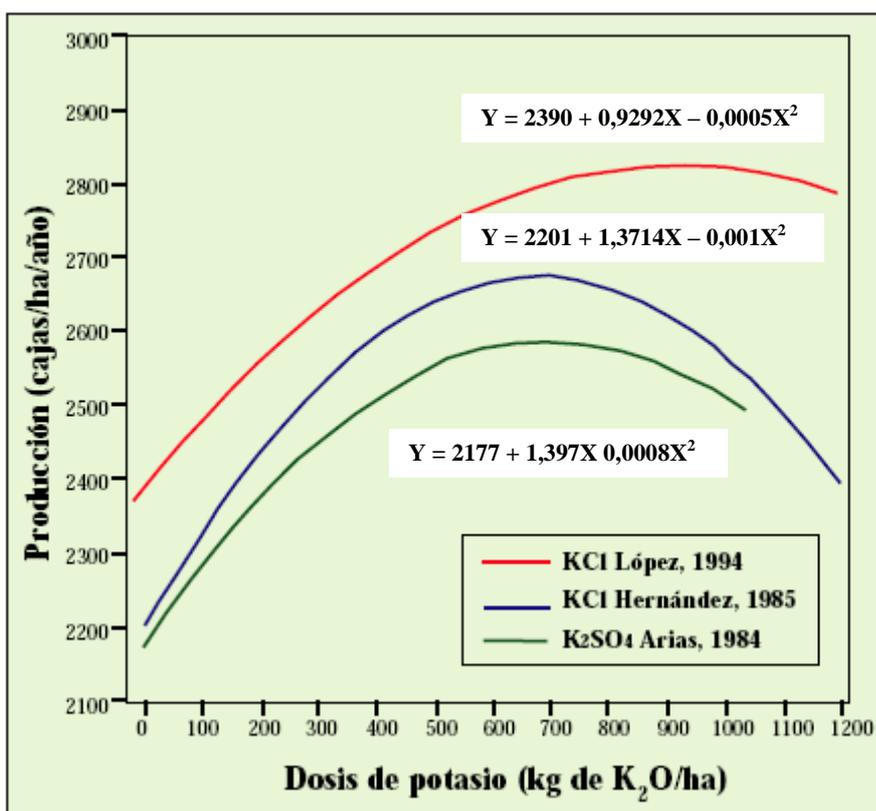


Figura 3. Efecto de diferentes dosis de potasio sobre el rendimiento de banano determinado en varios experimentos, Fuente: López y Espinosa, 1995

2.2.2.4 Embolsado y encintado

El embolsado consiste en colocarle al racimo una bolsa de prolipropileno perforada en su totalidad con perforaciones de 12,7 mm de diámetro cada 76 mm cuadrados. Con este método evitamos daños a la fruta por insectos, mejora la apariencia de la fruta en cuanto a coloración, brillo, grosor y longitud y el racimo alcanza más rápido la época de corte. El embolsado se realiza tan pronto el ápice inferior de la bellota apunta al suelo.

El encintado es una práctica que se realiza junto con el embolsado y sirve para determinar la edad del racimo. Se usan 15 colores distintos de cinta,

colocando un color diferente cada semana, con la finalidad de identificar los racimos protegidos semanalmente. Esta identificación de la edad permite cortar las cintas correspondientes a las edades exigidas por los mercados, manteniendo un grado de cosecha constante y evitando la presencia de bananos demasiado maduros (Stover, 1987).

2.2.2.5- Cosecha, Corte y Empacado

La cosecha se realiza a los 12 meses de realizada la siembra y puede ser ejecutada en 7, 15 ó 25 días dependiendo de la demanda del mercado.

El grado de corte lo determinan factores como la demanda de la fruta, la distancia a los mercados de consumo, la cantidad de frutas existente en las plantaciones, la sanidad de la plantación y la estación del año. Antes de cortar el racimo se calibra el fruto para saber cuáles racimos cumplen con la medida deseada de corte. Se calibra midiendo el diámetro y la longitud del dedo medio de la segunda mano contada de abajo hacia arriba. Generalmente, la longitud requerida es de unos 22 cm y un diámetro de 34,2 a 36,6 mm. Para la medición se utilizan calibradores especiales. (Marcelino *et al.*, 2008).

En el desmane se mide la longitud del fruto, así mismo se determina la calidad, teniendo en cuenta la madurez, enfermedades, ralladuras, etc.

En la zona de empaque existen 2 tinas. Una de 3 metros x 4 metros que es la del lavado del látex o savia y la segunda de 4 metros x 6 metros que es la del enjuague. En cada tina las manos de frutas deben permanecer de 20 a 25 minutos para eliminar totalmente la savia.

Una vez empacado el fruto en cajas de aproximadamente 20,0 kg con 90 frutos, en promedio, son llevadas desde el campo al local de paletizado y acomodadas en el contenedor, donde la Dirección Nacional de Sanidad Vegetal, extiende el certificado fitosanitario para los diferentes mercados.

2.2.3- Problemática de los suelos en las áreas bananeras

Las fincas bananeras se establecieron 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 (Serrano, *et al.*, 2006).

En la costa del Pacífico de América Central el cultivo del banano se realiza en grandes zonas de suelos aluviales que contienen sedimentos originarios de varias fuentes. Las arcillas alófanas originarias de las zonas volcánicas próximas a las áreas de cultivo están mezcladas con rocas metamórficas que contienen diferentes minerales afectando la disponibilidad de nutrientes para el cultivo (Gauggel *et al.*, 2005).

El monocultivo intensivo del banano ha provocado cambios sustanciales en este ambiente, tales como la disminución de la biodiversidad, pérdida del recurso suelo por erosión y desequilibrio entre los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo. La alta carga de desechos de polietileno y nylon en los suelos bananeros, el uso intensivo de biocidas para el control de nematodos y de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) 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.

A pesar de la aplicación de técnicas e insumos de alto costo, incluyendo el uso intensivo de agroquímicos, en las plantaciones comerciales de banano, se ha registrado una reducción considerable en la productividad, debido al cambio y deterioro acelerado de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Se tiene evidencia de la relación directa entre la reducción de la productividad y la pérdida de la calidad del suelo, ocasionados por el manejo inadecuado de la plantación, el laboreo excesivo del suelo y en pendientes mayores de 25 % que favorece la erosión y pérdida de la capa arable del suelo, establecimiento de la red de canales en forma deficiente, uso excesivo de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades y fertilización sin tomar en cuenta las necesidades reales del cultivo ni tampoco los niveles existentes en el suelo. (Gauggel *et al.*, 2005; Pattison, *et al.*, 2005).

Por ejemplo, la productividad de las plantaciones en fincas bananeras con alta tecnología, gestionadas por multinacionales en Panamá ha mostrado oscilaciones considerables durante la última década pasando de aproximadamente 50 t/ha a un rendimiento promedio de apenas 30-35 t/ha (Figura 4; comunicación personal Administradores de Fincas, 2009). Existe evidencia no bien documentada de que esta reducción de la producción está asociada a un agotamiento o cansancio de los suelos, que ha ocasionado el abandono de muchas áreas de producción ya no rentables para las grandes empresas exportadoras. Prueba de ello es que la empresa Chiquita Fruit Company en el año 1998 vendió sus fincas a productores independientes de la COOSEMUPAR. Estos productores debido a malos

manejos administrativos en las fincas, falta de tecnificación en la producción y problemas sindicales con sus trabajadores han visto disminuir cada día más su productividad.

Por el contrario, la producción bananera en países como Venezuela y República Dominicana, caracterizada por una mayor utilización de sistemas de producción orgánica o de menor uso de insumos químicos, aunque con un rendimiento más bajo por planta, ha mantenido una notoria estabilidad durante los últimos diez años (Serrano, 2003).

Se ha determinado que los sistemas de producción orgánica presentan mayor actividad biológica y reducción de patógenos asociados al sistema radical que los suelos manejados convencionalmente (Pocasangre, 2003; Meneses *et al.*, 2003). Esto representa una ventaja económica para el productor y ayuda a mantener la calidad de los suelos.

Para superar el problema que representa la pérdida de productividad del banano se hace necesario adoptar prácticas y sistemas de cultivo que consideren las relaciones del suelo, planta y la biota asociadas a la rizosfera del cultivo. Al definir claramente cuál es la calidad de suelo bananero que se tiene se podrá diagnosticar con mayor precisión, a través de indicadores relevantes y reproducibles, el impacto del manejo del suelo sobre la sostenibilidad de la producción de banano.

Serrano *et al.*, (2006) en Costa Rica y Villarreal *et al.* (2008) en Panamá, trabajando en suelos en áreas de producción bananera, determinaron que entre los principales problemas que caracterizan estas zonas están el bajo contenido de materia orgánica, escasa actividad microbiana, mala estructura y compactación del suelo, lenta infiltración del agua y la necesidad de conocer mejor la cinética del potasio en estos suelos ya que, pese a que se encontraron elevados niveles de este nutriente en los suelos, es necesario realizar grandes aplicaciones anuales de fertilizantes potásicos para asegurar una mejor producción de frutas.

La textura, la compactación y el drenaje son las principales características físicas que influyen sobre el crecimiento de las raíces y la productividad del banano (Vaquero, 2005). Capas de suelo compactadas limitan el crecimiento y afectan las propiedades relacionadas al movimiento del agua y el aire.

Calvo y Araya (2001), determinaron el peso de raíz total en los diferentes cantones productores de banano de Costa Rica de 1995 a 1999, encontrando que fincas con productividades cercanas a las 3.000 cajas/ha/año (57.960 kg/ha) tenían pesos de raíz total más altos que fincas con menor productividad.

Actualmente los métodos para medir la capacidad o potencial productivo de un suelo para el cultivo de banano, se basan principalmente, en el estudio de las propiedades físicas y químicas del mismo y de sus relaciones con algunas características especiales como la topografía y las condiciones climáticas predominantes. Estos métodos raramente consideran los aspectos biológicos y el estado de salud del suelo y no son suficientes para explicar las complejas interacciones del suelo y su rizosfera (Pattison, 2004), definiendo la rizosfera como la zona alrededor de las raíces de las plantas donde se estimula la actividad biológica y química (Ferrera-Cerrato, 1989; Campell y Greaves, 1990 y Hund, 1990).

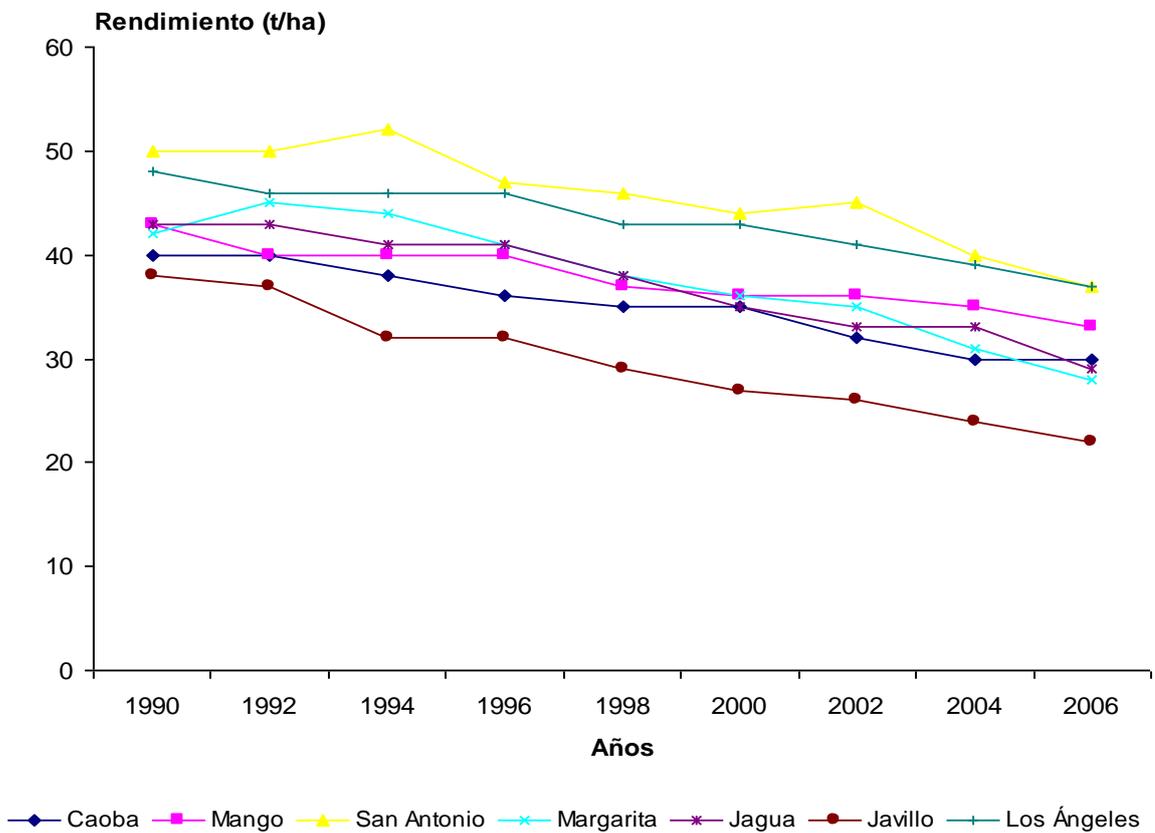


Figura 4. Rendimiento de banano (t/ha) en siete fincas productoras del Pacífico de Panamá entre 1990 y 2006

2.3- Concepto y definición de calidad de suelos

El término calidad del suelo no es fácil de conceptualizar, ya que la misma se define en función al uso y manejo del suelo que favorece determinadas condiciones (suelos agrícolas, forestales, industriales, etc.); no obstante, se debe tomar en cuenta el equilibrio medioambiental y caracterizar algunas de las propiedades del suelo: infiltración, contenido nutricional, vulnerabilidad a sufrir degradación (Doran *et al*, 1994; Blum, 1998). Desde un punto de vista sostenible para el agroecosistema, debe definir la capacidad del medio para mantener su productividad biológica, su calidad ambiental, promoviendo además la salud de plantas, animales y hasta del propio ser humano como se observa en la Figura 5 (Doran y Parkin, 1994).

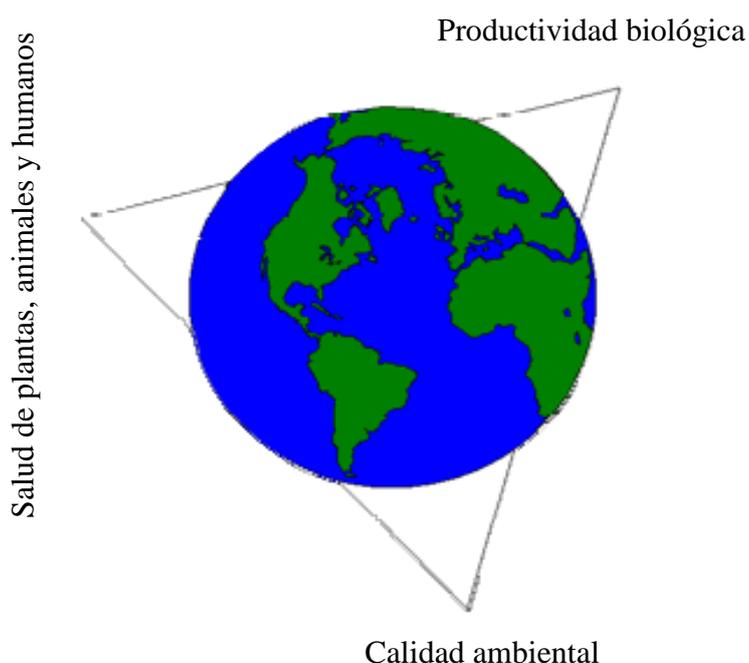


Figura 5. Triple funcionalidad del suelo - base del concepto de calidad del suelo. Doran y Parkin 1994.

El término calidad de suelo se empezó a acotar al reconocer la triple funcionalidad del suelo (Figura 5): 1) promover la productividad del sistema sin alterar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); 2) atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad

ambiental); y 3) favorecer la salud de las plantas, animales y humanos (Doran y Parkin 1994; Karlen *et al.*, 1997).

De la definición anterior se desprende que la calidad del suelo es una propiedad dinámica asociada al uso del suelo y su función, comúnmente, la protección ambiental y su capacidad productiva.

La definición más simple para “calidad del suelo” es de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA, 1994) definiéndola como la capacidad del suelo para funcionar de acuerdo a un uso específico. Sin embargo, según Doran y Zeiss (2000), el término salud del suelo se usa en forma más amplia para indicar la capacidad del suelo para funcionar como un sistema vital y mantener la productividad. Ambos conceptos se usan muchas veces como sinónimos y tienen que ver con la sostenibilidad de la producción.

Este concepto se empezó a utilizar formalmente cuando Alexander (1971) sugirió el desarrollo de criterios de calidad del suelo al referirse al papel de los suelos agrícolas en el mejoramiento ambiental. Posteriormente, Warkentin y Fletcher (1977) introdujeron el concepto de calidad de suelos en un seminario internacional sobre manejo de la fertilidad y ambiente del suelo en agricultura intensiva. El concepto era necesario para una mejor planificación del uso de la tierra, debido a las diversas funciones que el recurso suelo proporciona y que el concepto ayudó a acomodar (Karlen, *et al.*, 2003).

Calidad de suelos es un concepto holístico el cual reconoce el suelo como parte de un sistema de producción complejo, dinámico y diverso compuesto por minerales, sustancias orgánicas, solución del suelo, gases y organismos vivos que interactúan continuamente en respuesta a fuerzas biológicas, físicas y químicas, naturales e impuestas (Swift, 1999; Sánchez *et al.*, 2003).

Es por ello, que los efectos de prácticas agrícolas, así como los producidos por fertilizantes y sistemas de cultivos, pueden ser evaluados a partir de la determinación de la biomasa microbiana, su actividad metabólica y el conteo de las poblaciones microbianas más importantes (Acuña *et al.*, 2006).

En los sistemas agrícolas, un suelo de alta calidad y salud provee un crecimiento productivo y sostenible de los cultivos con el mínimo impacto sobre el ambiente, gracias a su alta disponibilidad de nutrientes y aireación, buena infiltración y retención de humedad, estabilidad estructural y elevado nivel de actividad biológica.

2.4- Evaluación de la calidad del suelo

Es aceptado que la producción agrícola convencional mal llevada provoca un deterioro de la calidad del suelo. Sin embargo, muchas de las funciones e interacciones entre la productividad y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo aun no han sido bien comprendidas por la comunidad científica, especialmente en el sector bananero, que se desarrolla en suelos y climas tropicales en donde todavía hace falta mucha investigación en este sentido.

Para poder evaluar adecuadamente la calidad del suelo se debe contar con indicadores que permitan conocer su condición actual. El diagnóstico y monitoreo de las propiedades de los suelos es una herramienta fundamental para la implementación de sistemas productivos sustentables (Herrick *et al.*, 2002). Por ser el recurso suelo un sistema dinámico de múltiples componentes en interacción, resulta complejo evaluar su condición, ya que ésta esta sujeta a muchos factores.

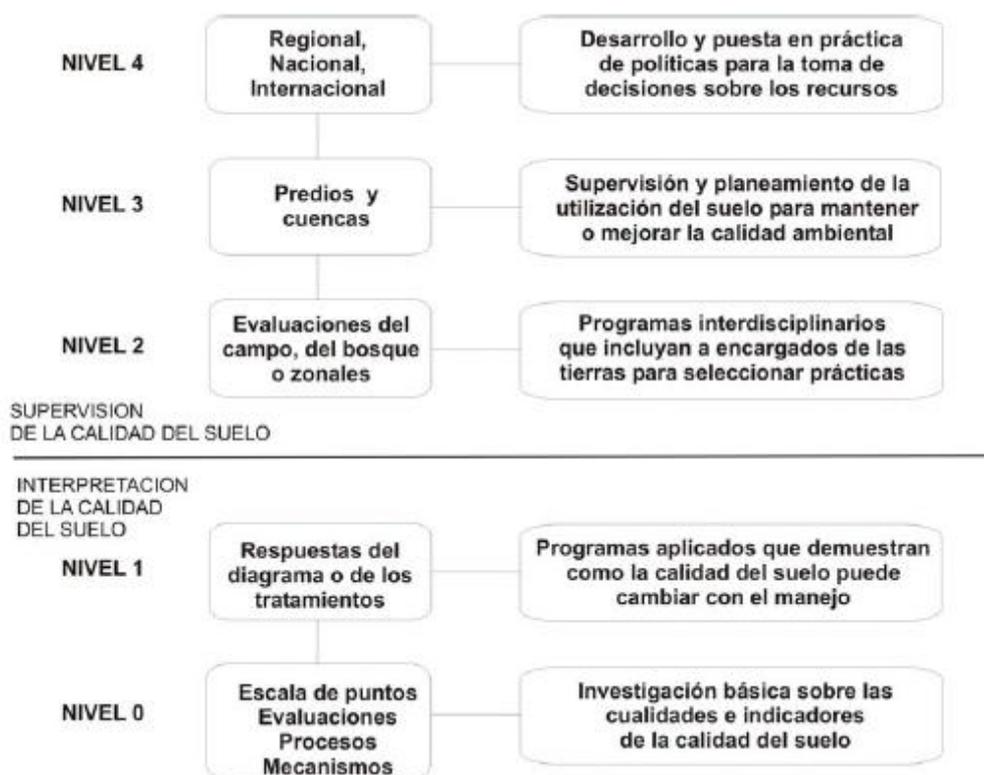


Figura 6. Escala para la evaluación de la calidad del suelo según Karlen *et al.*, (1997). Traducida y adaptada.

Karlen *et al.* (1997), proponen abordar este tema mediante un marco conceptual para la evaluación de la calidad del suelo que se compone de 5 niveles (Figura 6). Este marco ilustra que la calidad del suelo se puede evaluar en diversas escalas y reconoce que dicha calidad se puede interpretar de dos maneras distintas: como una característica inherente del suelo o como la condición de la “salud” del suelo.

2.4.1- Indicadores de calidad del suelo

Interpretar y predecir los efectos del manejo sobre la calidad del suelo a través de indicadores confiables y sensibles constituye una de las principales finalidades de la moderna ciencia del suelo. Hay necesidad de contar con indicadores para interpretar los diferentes datos de calidad de suelo como paso fundamental para definir sistemas de producción sostenibles (Dalurzo *et al.* 2002; Michelena *et al.*, 1989).

Los indicadores son datos estadísticos o medidas de una cierta condición, cambio de calidad o cambio en estado de algo que está siendo evaluado. Proporcionan información y describen el estado del fenómeno objeto de estudio, pero con un significado que va más allá de aquel que está directamente asociado con un parámetro individual (OECD, 1993). A causa de los requerimientos y prioridades regionales, será difícil o innecesario llegar a un único conjunto de indicadores para muchos de los puntos en consideración. Sin embargo, un agregado común de indicadores clave podrá ser usado como base para comparaciones internacionales (Dumanski, 1994; Bakkes *et al.*, 1994).

Al respecto Karlen *et al.* (2001), indicaron que no hay índices perfectos ni absolutos, siempre son relativos puesto que se involucra en su construcción propiedades inherentes y dinámicas como procesos del suelo y del ambiente difícil de valorar. Estos autores agregaron que el desarrollo de índices se debe intentar con el propósito de contar con una herramienta más para valorar la sostenibilidad, que sirva de ayuda a productores e investigadores para tomar decisiones en el manejo del suelo y aceptar que tal tarea no es un fin en si mismo.

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores deben cumplir las siguientes condiciones (Doran y Parkin, 1994):

- Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo
- Reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir
- Ser sensitivas a variaciones de clima y manejo

- Ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo
- No ser redundantes
- Ser reproducibles
- Ser fáciles de entender
- Ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica.

Para seleccionar los indicadores, es muy importante definir cuales son los indicadores mas fiables para cada situación particular. Existen en la actualidad dos posturas acerca de la universalidad de los indicadores: una aboga por que no podrían ser un grupo seleccionado para cada situación particular, sino que deben ser los mismos en todos los casos, con el propósito de facilitar y hacer válidas las comparaciones a nivel nacional e internacional. La otra sostiene que los indicadores que se empleen deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con la función o las funciones principales que se evalúan (Bautista *et al.*, 2004).

De acuerdo con estos conceptos, no habría un enfoque único para generar un conjunto de indicadores para cada propósito. Los enfoques pueden cambiar con el tiempo conforme se incrementa el entendimiento de los problemas ambientales y conforme los valores sociales evolucionen. Los indicadores serían entonces variables a lo largo del tiempo y su selección pasaría a depender de condiciones espacio-temporales.

Mediante el uso de los indicadores, se propone relacionar entonces la condición del suelo actual con las tendencias o cambios que pueden inducirse de dicha condición. Priorizar parámetros, relacionarlos con las funciones del suelo y fijar los valores críticos o “luces de peligro” en el cual se indique qué suelo y qué funciones del ecosistema están siendo afectadas (Morón, 2004). Hay necesidad de contar con indicadores para interpretar los diferentes datos de calidad del suelo como paso fundamental para definir sistemas de producción sustentables (Michelena *et al.*, 1989).

La materia orgánica y la biología del suelo desempeñan un papel importante en la calidad del suelo (SQI, 1996). Quiroga *et al.* (2000), afirman que la materia orgánica es el principal indicador e indudablemente es el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad. Una meta al investigar la calidad del suelo es aprender cómo manejar la dinámica de

la materia orgánica y las poblaciones de organismos asociadas de manera que mejore su función. Los suelos responden diferentemente según la forma en que son manejados, dependiendo de las características inherentes y propias de dicho suelo y del paisaje circundante.

2.4.1.1- Indicadores físicos y químicos

Dentro de las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de calidad, se encuentran aquellas que se refieren a la forma en que el suelo intercepta, retiene y transfiere el agua, a los movimientos que realiza dicho líquido en el perfil, a las limitaciones que se pueden presentar para el desarrollo de raíces y la emergencia de plantas y a la estructura y porosidad de dicho suelo. Se han propuesto entonces como indicadores: la estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada.

Las propiedades químicas de los suelos que pueden utilizarse como indicadores de calidad, son aquellas que se refieren a condiciones químicas que pueden afectar las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad buffer del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos. Los indicadores seleccionados en este caso son la disponibilidad de nutrientes, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio catiónico, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable.

2.4.1.2- Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos propuestos integran una gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Se incluyen en este caso la tasa de respiración microbiana, ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, nitrógeno y carbono de la biomasa microbiana.

La preocupación por desarrollar bioindicadores para monitorear los cambios en la calidad del suelo, provocados por: derrames y disposición de xenobióticos, contaminación por plaguicidas, procesos de erosión o el incremento periódico del uso de fertilizantes para lograr mantener las producciones agrícolas ha traído como consecuencia el desarrollo de nuevas técnicas para realizar monitoreos de

genes en el ambiente, monitoreo de especies transgénicas, relevamiento de microorganismos de interés biotecnológico. Para estos propósitos se han desarrollado cuatro diferentes metodologías: (a) análisis de uso de sustratos in vitro, (b) análisis del uso de sustratos in situ, (c) análisis de patrones de ácidos grasos (PLFA) y (d) análisis de patrones de ADN (Insam, 2001).

2.4.2- Selección del conjunto mínimo de datos

Los indicadores son valores que únicamente tienen algún significado si los datos están respaldados por una base de datos o por alguna referencia para comparación relativa entre diferentes sistemas de manejo. Aunque los valores de la base de datos se refieren a condiciones iniciales, los indicadores de referencia son establecidos para representar una función del suelo en todo su potencial (Karlen *et al.*, 1994).

Resulta poco práctico medir cada atributo del suelo; por ello al menor conjunto de propiedades del suelo o indicadores se le conoce como **conjunto mínimo de datos** (MDS-minimum data set) que debe medirse o caracterizarse para evaluar la calidad del mismo (Doran y Parkin, 1994).

La selección de este MDS frecuentemente se basa en la opinión de expertos (Doran y Parkin, 1994). También pueden utilizarse procedimientos estadísticos como el análisis de componentes principales (Andrews y Carroll, 2001). En un estudio realizado en una granja de producción vegetal en el norte del Estado de California, Estados Unidos de América, ambas metodologías produjeron resultados similares al comparar los indicadores seleccionados (Andrews *et al.*, 2002). Se reconoce, sin embargo, que el empleo de métodos estadísticos objetivos reducen las posibilidades de incurrir en malas decisiones (Walter *et al.*, 1997).

Entre los principales parámetros del suelo que generalmente son propuestos como miembros potenciales de un MDS tenemos: contenido de materia orgánica, estructura del suelo, profundidad del suelo y raíces, velocidad de infiltración y densidad aparente, capacidad de retención de humedad, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno disponible, fósforo, potasio, carbono de la biomasa microbiana y respiración del suelo o actividad microbiana (Doran *et al.*, 1996; Doran y Parkin, 1994). Otros parámetros adicionales se pueden incluir dependiendo de las circunstancias locales, características del suelo y objetivos del estudio.

Las propiedades del suelo por lo general están todas interrelacionadas, por lo tanto, es poco recomendable su determinación en forma aislada para estudiar

como una determinada práctica agrícola ha afectado las mismas y elaborar índices que sirvan como dato de comparación (Dick, 1994; Bucher, 2002).

2.4.3- Significado y uso de los índices de calidad del suelo

La industrialización de la agricultura y el aumento de la concienciación relacionada a la protección del ambiente y calidad de los alimentos en los países desarrollados, la degradación de los suelos y la inseguridad alimentaria en los países en vías de desarrollo, han hecho que hoy sea de primera importancia el estudio del impacto de las prácticas agrícolas sobre la calidad del suelo (Schjonning *et al.*, 2004).

Comprender bien el concepto de calidad del suelo, permitirá mejorar los sistemas de manejo que optimicen las funciones del suelo para las actuales y futuras generaciones.

Karlen *et al.* (2003), opinan que mucha gente alrededor del mundo intuitivamente entiende y usa el concepto de calidad del suelo para mejorar sus prácticas de manejo. Ouedraogo *et al.* (2001), explican la importancia de la calidad del suelo para el África Sub-Sahariana, mientras que Lamarca (1996) enfatiza la necesidad de determinar índices de calidad del suelo para las condiciones de Latinoamérica. Estudios de calidad del suelo son de primera importancia para los 2 billones de personas desnutridas e igual número que viven bajo la línea de pobreza en los países en vías de desarrollo, regiones donde cada vez se extienden más las zonas con suelos degradados (Eswaran *et al.*, 1999). En los países desarrollados el énfasis mayor está dado por la preocupación hacia la protección ambiental.

Los índices de calidad del suelo permiten analizar la situación actual e identificar puntos críticos con respecto a la sostenibilidad del suelo como medio productivo o bien como recurso natural importante para la calidad de la vida y manutención de la biodiversidad, permiten analizar los posibles impactos antes de una intervención, monitorear el impacto de una intervención y ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible. La evolución de la calidad del suelo puede determinarse comparando la evolución de un sistema a través del tiempo (comparación longitudinal) u observar simultáneamente uno o más sistemas de manejo alternativo con una referencia (comparación transversal) (Astier-Calderón *et al.*, 2002).

Mediante esta tesis se busca la obtención de un Índice que pueda servir como una herramienta muy útil no sólo para la gestión agrícola de estos suelos sino también para su gestión ambiental, facilitando la evaluación de los impactos que sobre la conservación de los suelos, puedan tener las técnicas que se apliquen.

CAPÍTULO 3- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1- Caracterización del área de estudio

El estudio se realizó en el área bananera de la vertiente del Pacífico de Panamá, en 5 fincas pertenecientes a productores independientes del corregimiento de Divalá, distrito de Alanje y 6 fincas pertenecientes a la Cooperativa de Servicios Múltiples de Puerto Armuelles (COOSEMUPAR R.L.) en Barú, provincia de Chiriquí, en el occidente de Panamá (Figura 7).

Los suelos de la región son de origen sedimentario, principalmente suelos aluviales pertenecientes a los órdenes Inceptisol (Andic Dystrudepts, Udic Haplustepts y Dystric Haplustepts) y Entisol (Andic Udifluvents), con una altura promedio de unos 40 metros y relieve bastante plano (pendiente 5 – 10 %).

3.1.1- Geología e hidrología

Según el Atlas Nacional de la República de Panamá (IGNTG, 1995) alrededor del distrito de Alanje y del corregimiento de Progreso en Puerto Armuelles encontramos llanuras aluviales y antiguas terrazas.

Son valles y planicies aluviales formadas en el terciario y cuaternario por aluviones, rocas sedimentarias poco consolidadas y areniscas, con gran presencia de cenizas, tobas, lutitas y lavas basalto-andesíticas provenientes de las zonas volcánicas muy próximas a las áreas cultivadas con banano.

Algunas de las cuencas con mayor rendimiento de agua por unidad de área se encuentran en la zona bananera, entre ellas tenemos: la cuenca del río Chiriquí Viejo, río Coto y río Gariché (Figura 8)

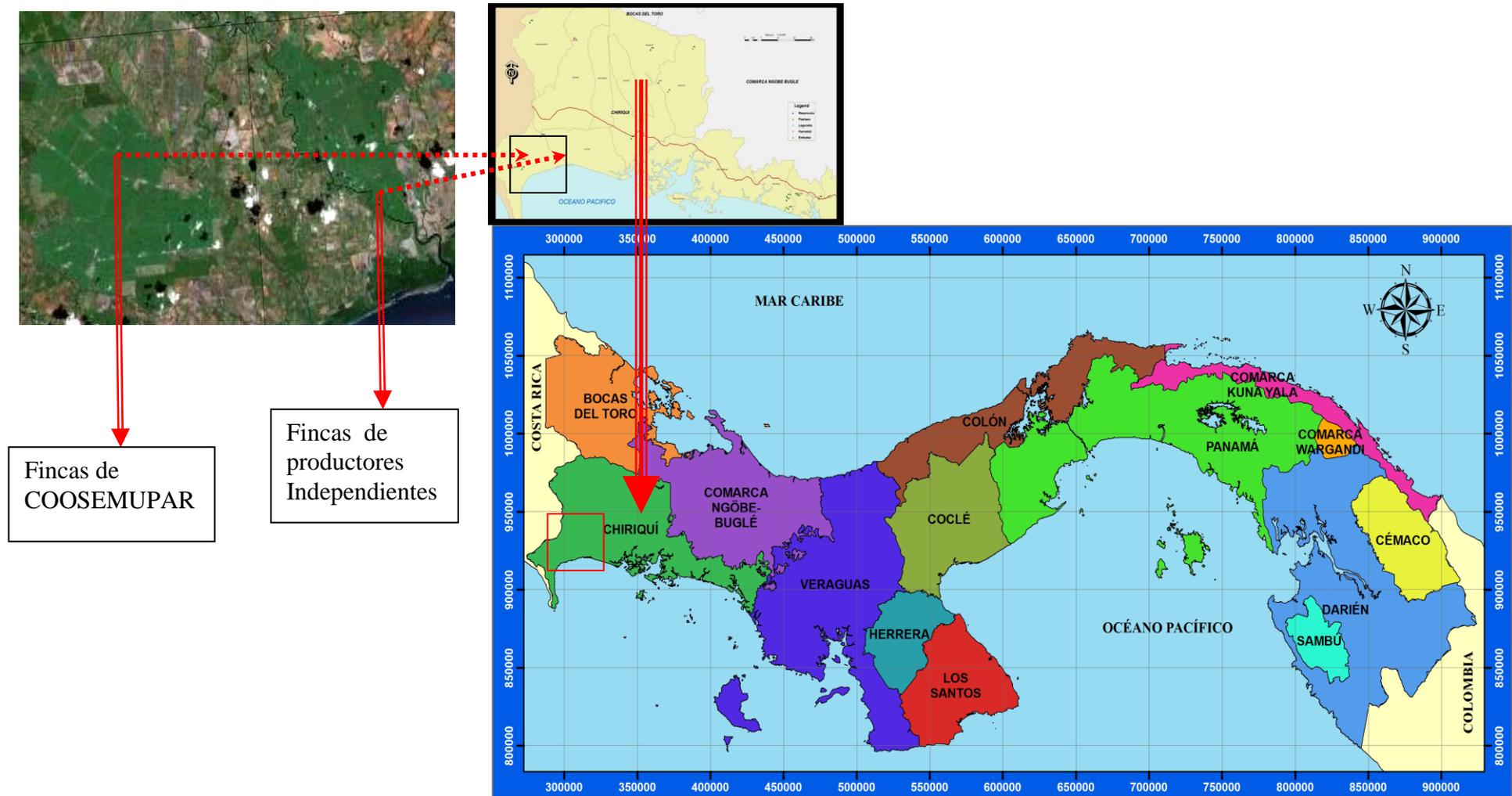
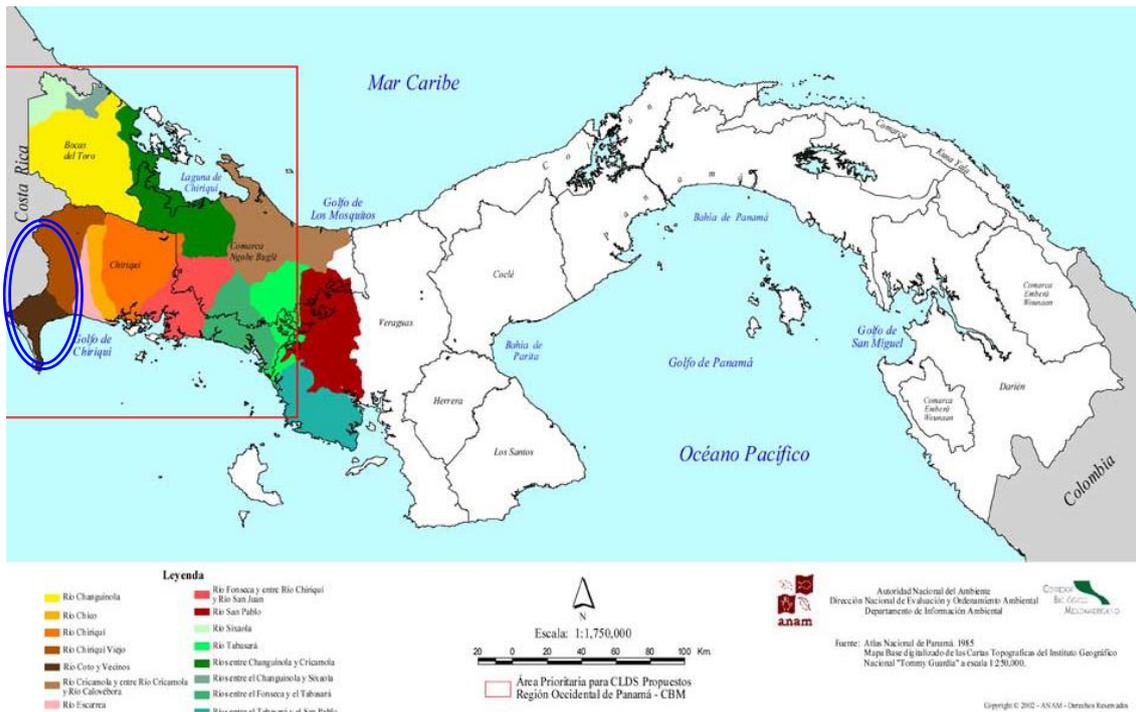


Figura 7. Ubicación de las fincas productoras de banano en la vertiente del Pacifico de Panamá



Fuente: Autoridad Nacional del Ambiente, 2009.

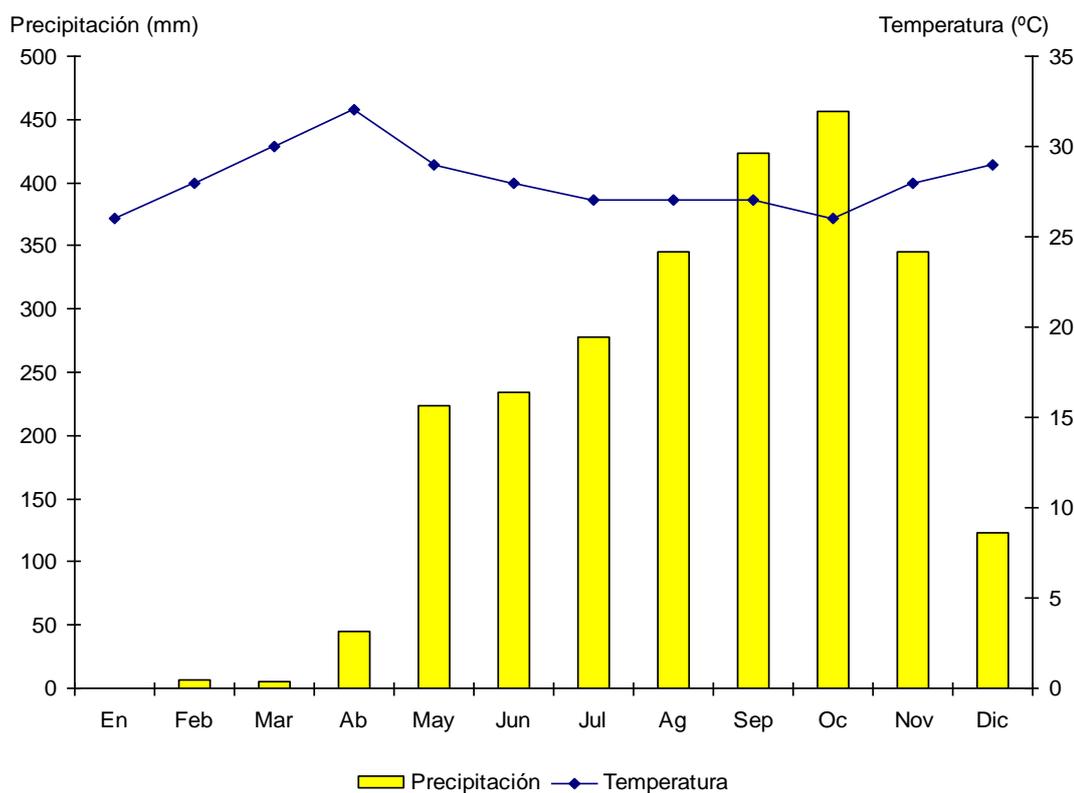
Figura 8. Principales cuencas hidrográficas de la zona bananera del Pacífico

3.1.2- Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen (IGNTG, 1995) en la región predomina un clima tropical húmedo (Ami). Presenta un promedio anual de lluvias de 2.200 mm, con meses secos (déficit hídrico) entre enero y marzo y húmedos (lluviosos) entre abril y diciembre, temperatura promedio de 27°C. Se presenta un régimen de humedad del suelo údico.

En la Figura 9 se observa el comportamiento típico del régimen de lluvias y la temperatura promedio en la cuenca del río Chiriquí Viejo, donde se ubican las plantaciones bananeras del Pacífico de Panamá, durante el año 2007, período en que se realizó la investigación. Se puede observar que el déficit hídrico entre los meses de enero a abril puede oscilar entre un 50 y 100% de la necesidad del cultivo, por lo que se hace necesario que las fincas cuenten con sistemas de riego apropiados. En su mayoría las fincas bananeras en Panamá utilizan sistemas de riego por goteo.

Según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (Holdridge, 1971) la región donde se ubican las fincas bananeras pertenece al bosque húmedo tropical.



Fuente: ETESA (2007)

Figura 9. Precipitación y temperatura promedio mensual en la zona bananera del Pacífico de Panamá. Año 2007.

3.2- Selección de las áreas de estudio en cada finca

Inicialmente se realizó una entrevista con cada administrador de finca con el fin de conocer su versión sobre productividad y los problemas afines de su finca. La selección de las áreas de estudio se realizó en base a los registros de productividad existentes en cada finca. Así, se seleccionaron áreas contrastantes de alta y baja productividad (Anexo 23). Considerando producciones mayores de 30 ton/ha como de alta productividad y menores de esta cantidad como de baja productividad. Sin embargo, en algunas fincas las diferencias de productividad entre las áreas no abarcaban un intervalo tan amplio o tan contrastante. Tomando en cuenta la frondosidad de la plantación se verificó la selección hecha de acuerdo a los registros de cada administrador de finca.

En cada finca se seleccionaron dos áreas de 4 hectáreas con historial de productividad contrastante, una de alta y otra de baja productividad. Dentro de

cada área seleccionada se delimitaron 4 parcelas de 20 x 50 m cada una, correspondiente a 1000 m². Para elegir estos sitios se hizo un muestreo exploratorio de suelos tomando muestras con un barreno para seleccionar los 1000 m² que presentaran la menor variación de suelos posible en cada área del estudio.

En cada uno de los 4 sitios de 1000 m² seleccionados se verificó la densidad de plantas y luego se identificaron 20 plantas paridas que tenían un racimo entre 13 y 16 semanas, próximas a la cosecha, para un total de 80 plantas en las 4 ha y 160 por finca. A cada una se le tomaron datos biométricos de productividad: circunferencia de la madre (tomada a 1 m de altura del nivel del suelo), altura del hijo, número de manos de banano.

Igualmente, en cada una de estas áreas seleccionadas se identificó una planta parida recién florecida (cuatro plantas en total por área de productividad contrastante) frente a la cual se abrió una minicalicata de 60 x 60 x 60 cm (Figura 10) para determinar las características físicas, químicas y biológicas del suelo (30 cm de distancia del hijo, en la zona de fertilización), siguiendo la metodología de Jaramillo y Vásquez, (1990) para estudios de suelos bananeros.

En total se abrieron 8 minicalicatas por finca, 4 en cada área de alta y baja productividad. En el Cuadro 4 se indica la ubicación en unidades UTM de las áreas de alta y baja productividad en cada finca estudiada.

En cada minicalicata se anotó su localización exacta utilizando un GPS y se realizó la determinación de las propiedades que aparecen en el Cuadro 5. Se tomaron muestras de suelo que luego se llevaron al laboratorio de fertilidad de suelos del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) para su respectivo análisis. Además, se identificaron y describieron los horizontes presentes en el suelo al alcanzar los 60 cm de profundidad.

Se midió la velocidad de infiltración básica mediante el método del doble anillo hasta lograr 3 ó 4 mediciones similares. La textura se determinó al tacto en el campo y mediante el método de Bouyoucos en el laboratorio. La densidad aparente se determinó tomando una muestra de suelo no disturbado con un cilindro de volumen conocido. Las manchas o moteos presentes en el perfil se usaron para asignar una calificación para el drenaje. La profundidad efectiva del suelo, se midió introduciendo un barreno hasta 1,50 m de profundidad. La resistencia a la penetración se midió con un penetrómetro de punta, realizando 5 mediciones por horizonte. Además se determinó la capacidad de aireación de los suelos utilizando la metodología descrita por Pla (1983). Para la determinación de la humedad del suelo se utilizó el método gravimétrico en muestras disgregadas (EMBRAPA, 1997).

El contenido de fósforo y los micronutrientes fueron extraídos con la solución extractora de Mehlich 3; K, Ca y Mg intercambiables con solución de acetato de amonio pH 7, Al intercambiable con KCl 1 N. El pH se midió en agua por medio de una relación suelo-agua de 1:2,5.

Se determinó el peso fresco total de las raíces de la planta para lo cual se excavó una planta, se colectaron y pesaron todas sus raíces. El C de la biomasa microbiana se determinó por el método de fumigación-extracción y para determinar la respiración microbiana 5 muestras de suelo, libre de raíces, colectadas de los primeros 20 cm de cada calicata, se incubaron en envases herméticamente cerrados en un lugar oscuro durante 10 días, realizando 2 lecturas, una cada 5 días. Se recogió el CO₂ generado en 10 ml de solución de NaOH 0,2 N y se valoró por medio de una solución de HCl 0,1 N.

Cuadro 4. Ubicación de las áreas seleccionadas en las 11 fincas

Nombre de la Finca	Área*	Distrito	Productor	Coordenadas UTM
Los Angeles-(LA)	Alta	Alanje	Independiente	307761.43 X - 926065.22 Y
	Baja			306493.21 X - 926149.35 Y
San Antonio-(SA)	Alta	Alanje	Independiente	309733.37 X - 926714.12 Y
	Baja			308551.12 X - 924949.32 Y
Santa Cecilia-(SC)	Alta	Alanje	Independiente	308125.43 X - 929520.22 Y
	Baja			308384.24 X - 930153.33 Y
Margarita-(MR)	Alta	Alanje	Independiente	307780.12 X - 927345.24 Y
	Baja			309147.27 X - 927030.45 Y
Balsas-(BL)	Alta	Barú	Independiente	291533.22 X - 930871.11 Y
	Baja			291599.17 X - 931621.33 Y
Higuitos-(HG)	Alta	Barú	COOSEMUPAR	292900.14 X - 922224.13 Y
	Baja			292736.27 X - 922757.36 Y
Mango-(MG)	Alta	Barú	COOSEMUPAR	295527.11 X - 925729.23 Y
	Baja			294833.45 X - 925915.34 Y
Palo Blanco-(PB)	Alta	Barú	COOSEMUPAR	294899.41 X - 921729.32 Y
	Baja			294691.42 X - 923088.37 Y
Jagua-(JG)	Alta	Barú	COOSEMUPAR	297673.37 X - 925613.52 Y
	Baja			297049.65 X - 926181.41 Y
Javillo-(JV)	Alta	Barú	COOSEMUPAR	293327.22 X - 926291.55 Y
	Baja			293817.17 X - 925382.36 Y
Caoba-(CA)	Alta	Barú	COOSEMUPAR	294214.12 X - 928658.39 Y
	Baja			294847.14 X - 927987.27 Y

* Se refiere a áreas de alta y baja productividad.

3.3- Selección de indicadores

Los indicadores fueron seleccionados de acuerdo a las recomendaciones de Doran y Parkin (1994). Los indicadores físicos, químicos y biológicos determinados conformaron el conjunto mínimo de datos (MDS) que se utilizó como base para construir un índice de calidad de los suelos bananeros de Panamá.

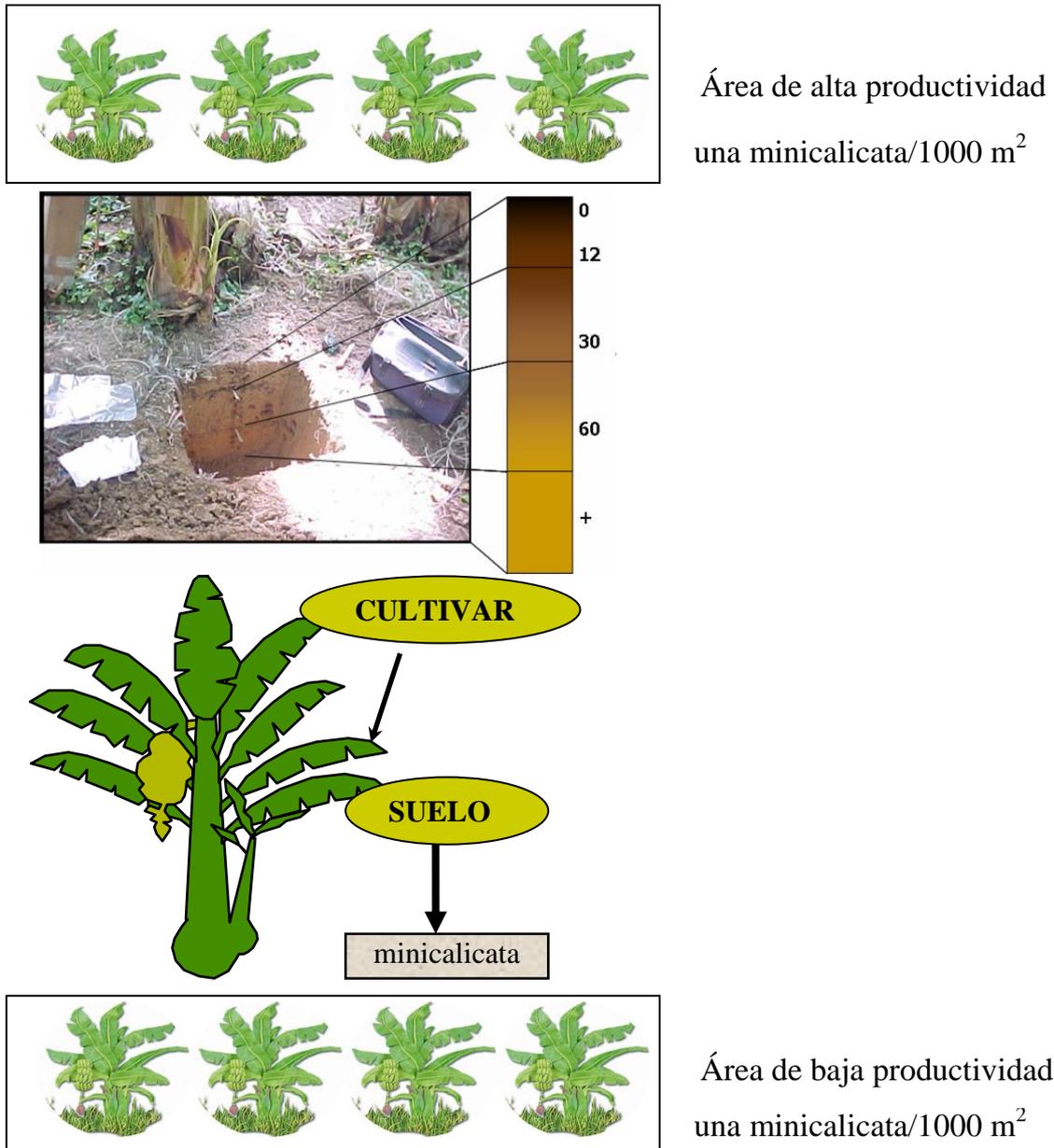


Figura 10. Diseño de las cuatro réplicas o minicalicatas usadas para la determinación de los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo en cada área de alta y baja productividad seleccionada

Cuadro 5. Indicadores determinados en cada minicalicata

Indicador	Método	Referencia
Indicadores de Propiedades Físicas		
Descripción del perfil de la minicalicata	Estudio de los horizontes (zonas diferenciadas) en las minicalicatas	Jaramillo y Vásquez, 1990
Color	Libro de Munsell	Munsell soil color charts, 2000
Textura del suelo	Método de Bouyoucos y textura al tacto en campo	Bouyoucos, 1951
Estructura	Soil USDA- determinada en campo	USDA, 1995
Infiltración básica	Método de los cilindros concéntricos	ILRI, 1977
Resistencia a la penetración	Método del penetrómetro (punta)	Forsythe, 1980
Densidad aparente	Método del cilindro de volumen conocido	Forsythe, 1980
Indicadores Propiedades Químicas		
Disponibilidad de P, Fe, Cu, Mn y Zn	Extraídos con Mehlich 3	Mehlich, 1984
K, Ca y Mg interc.	Acetato de amonio pH 7	USDA, 1995
pH	pH en agua (1 : 2,5)	USDA, 1995
Aluminio intercambiable	Extraído con KCl 1N	USDA, 1995
Carbono orgánico total	Digestión húmeda de Walkley-Black	USDA, 1995
Conductividad eléctrica	Conductímetro	USDA, 1995
Indicadores Propiedades Biológicas		
Biomasa microbiana de carbono	Método de fumigación-extracción con Cloroformo	Tate <i>et al.</i> , 1998
Respiración microbiana	Liberación de CO ₂	Alef y Nannipieri, 1995
Índice de mineralización	Relación del C-CO ₂ producido durante 10 días entre el C orgánico total del suelo (%)	Abril y Bucher, 2001
Peso total de raíces	Extracción total de raíces de la planta (0– 40 cm)	Jaramillo y Vásquez, 1990
Indicadores de Productividad (determinados a las plantas)		
Circunferencia de la madre (seudotallo)	Medición de la circunferencia del seudotallo de 20 plantas a 1 m del suelo	Serrano, 2003
Altura del hijo	Medición del tamaño del hijo de sucesión	Serrano, 2003
Número de manos de banano	Conteo del número de manos producidas	Serrano, 2003

3.3.1- Análisis de los datos y cálculo del índice de calidad

Se emplearon métodos estadísticos como el análisis en componentes principales, el análisis factorial discriminante, la clasificación automática o análisis de conglomerados (clustering), correlaciones y regresión lineal (Castillo *et al*, 2006; Draper y Smith, 1968). Además, se calculó el error estándar, se realizó análisis de varianza a los diferentes indicadores medidos y comparación de medias por medio de la prueba de rangos múltiples de Tukey con una confiabilidad del 95%.

La selección de los indicadores más significativos se hizo, en primer lugar, basado en regresiones lineales paso a paso (“stepwise”), tanto hacia adelante (“forward”) como hacia atrás (“backward”). En el primer caso se escogieron las variables para las cuales se obtuvo mayor regresión lineal múltiple, una a una, con respecto al conjunto de variables ya escogidas y la variable a explicar, basado en la *F* de Fisher. En el caso hacia atrás, se van eliminando variables no significativas.

El modelo matemático utilizado para la regresión lineal múltiple fue el siguiente:

$$y' = a + b_1 X^1 + b_2 X^2 + b_3 X^3 + \dots + b_k X^k$$

donde y' era el valor predicho de la variable criterio, en este caso los indicadores de productividad escogidos, y los valores de a y los coeficientes b fueron determinados a partir de los datos ofrecidos por la muestra. Esta ecuación no representa una línea como en el caso de la regresión simple sino que representa diversos planos de un espacio multi-dimensional.

El valor Beta que aparece en cada regresión múltiple indica la correlación existente entre cada indicador con la variable bajo estudio y la correlación que existe entre todos los indicadores entre sí.

Se aplicó el método de clasificación jerárquica ascendente según el criterio de la agregación del salto promedio (conocido en inglés como *average link*), aplicado sobre la matriz de correlaciones, para obtener las clases de indicadores. Se obtuvo finalmente un dendrograma o árbol de clasificación de los indicadores. Con estos resultados, se considera que un indicador puede representar a los demás elementos de su clase (Villalobos, 2006).

Se obtuvo entonces el índice de calidad para los suelos bananeros de Panamá, que tenía la forma:

$$\text{Índice} = \sum_{i=1}^n \text{peso}_i f_i(x_i)$$

donde:

- peso_i es el peso del indicador i
- f_i es la curva de respuesta que corresponde al indicador i
- x_i es el valor del indicador i del lugar que se quiere evaluar.

Es decir, para cada valor de los indicadores x_1, x_2, \dots, x_n del MDS se tenía un valor entre 0 y 1 del índice, el cual cuanto más cercano a 1 significaba que mejor era la calidad de ese suelo bananero, y cuanto más cercano a 0 peor era ese suelo para la producción (Castillo *et al.*, 2006).

Se elaboraron cuadros y gráficas tipo radar para presentar los resultados. En la Figura 11 se presenta un resumen o diagrama general del procedimiento para la determinación del índice de calidad de los suelos bananeros de Panamá.

3.4- Correlaciones e interrelaciones entre las propiedades físicas y los indicadores de productividad

Se determinó la correlación existente entre todas las propiedades físicas medidas en cada uno de los suelos bajo estudio con relación a los indicadores de productividad. Estas correlaciones eran positivas, si existía correlación directa o negativa si era inversa. Además estudiando estas correlaciones se verificó como influyen los indicadores determinados sobre la productividad del suelo.

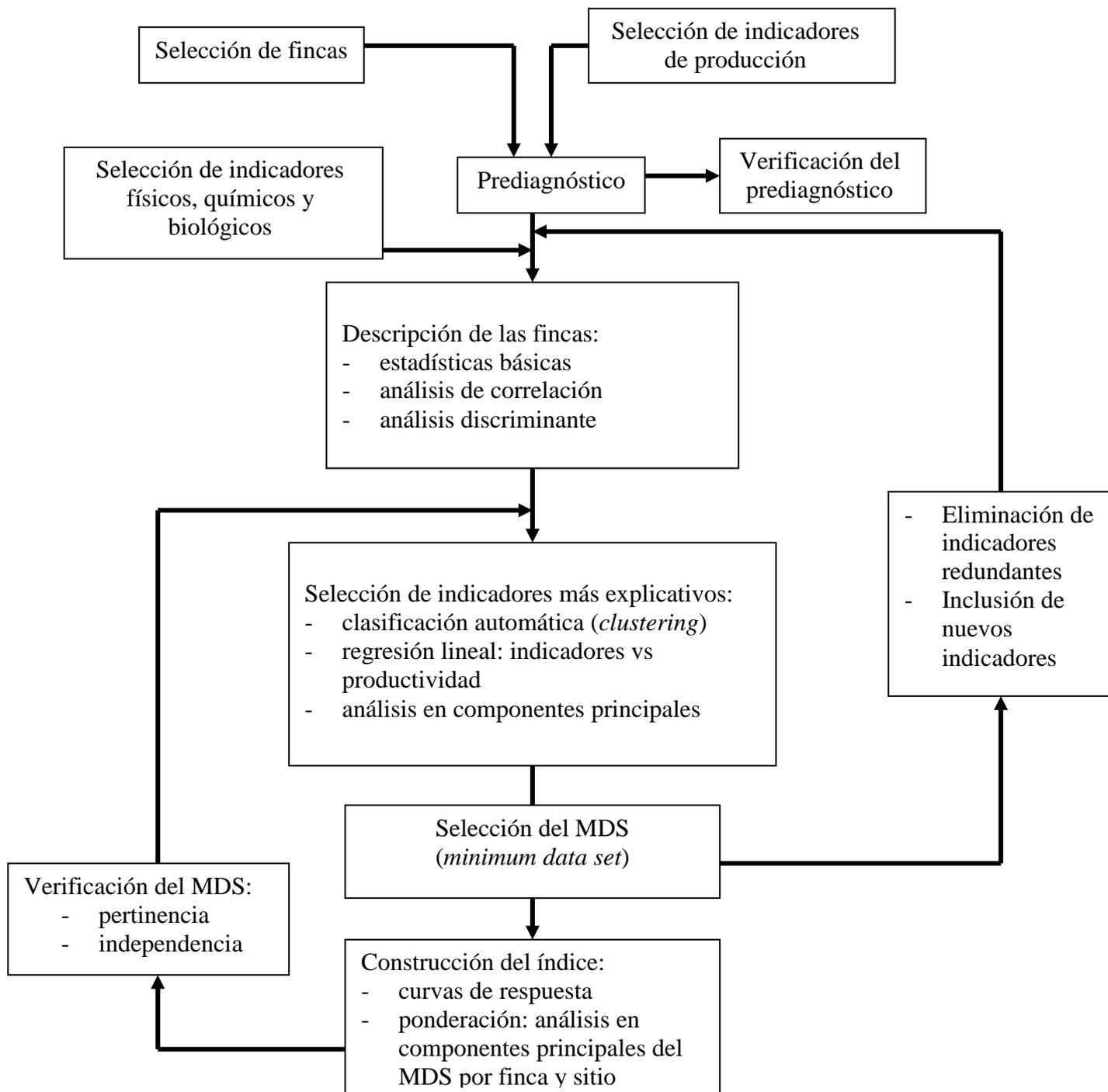


Figura 11. Procedimiento general de determinación del índice de calidad de suelos bananeros

CAPÍTULO 4- RESULTADOS y DISCUSIÓN

4.1 Variables biofísicas en sitios de alta y baja productividad

La circunferencia de la planta madre tiene relación directa con el tipo de clon y con el vigor de la planta producto de su ciclo de crecimiento. Una planta con buen vigor es aquella que presenta un mayor número de hojas bien desarrolladas y consecuentemente, mayor circunferencia del pseudotallo. Estas dos características a su vez le representan a la planta de banano mejor capacidad fotosintética, mayor acumulación de reservas y por consiguiente, mayor peso de racimos y número de manos (Soto, 1992).

En el Cuadro 6 se describen los valores obtenidos al medir las características biométricas del cultivo. El desvío patrón calculado para las 80 réplicas medidas en cada área de alta y baja productividad de las fincas se indica entre paréntesis.

Los resultados obtenidos indican que las fincas San Antonio y Caoba fueron las que presentaron mayor contraste entre áreas de alta y baja productividad. Con relación a la circunferencia de la madre en el área de alta productividad se destacaron las fincas San Antonio, Higuitos, Mango, Palo Blanco, Jagua y Caoba, que aunque no presentaron diferencia estadísticamente significativa del resto si mostraron, en términos absolutos, mayor vigor. En el área de baja productividad se destaca, claramente, la finca Jagua con una mayor circunferencia de la madre comparado con el resto de las fincas. En las áreas de alta productividad se encontró que la circunferencia de la madre tenía en media 6,64 cm más que en las áreas de baja productividad, indicando con este resultado la existencia de plantas con mayor fortaleza y resistencia a vientos, enfermedades, mayor peso de frutas, etc.

Con relación a la altura del hijo y el número de manos los resultados obtenidos no fueron estadísticamente significativos, obteniéndose valores muy similares en casi todas las áreas ya fueran de alta o baja productividad. Sin embargo, en términos absolutos, en las áreas de alta productividad, la media general de todas las fincas con relación a la altura del hijo, denotaba que había una diferencia de 0,23 cm más respecto a la media del área de baja productividad. Igualmente, para la variable número de manos, se determinó que había 0,89 manos más en las áreas de alta que en las de baja productividad, consecuentemente, se obtendrá en esta área mayor rendimiento.

El desvío patrón para cada valor indica que dentro de una misma área de la finca los valores encontrados fueron muy variables, probablemente influenciado por la

gran variabilidad del suelo, el manejo inadecuado de las parcelas, la fertilización deficiente, que se ejecuta en forma rudimentaria y poco sistemática en la mayoría de las fincas. Las aplicaciones de fertilizantes se realizan sin uniformidad de medidas y en muchos casos sin contar con análisis de suelos ni de tejido foliar para verificar las necesidades del suelo y del cultivo.

Cuadro 6. Datos biométricos del cultivo en cada área de alta y baja productividad de las fincas.

Finca	Circunferencia de la madre (cm)		Altura del hijo (m)		Número de manos	
	Alta prod.	Baja prod.	Alta prod. NS	Baja prod. NS	Alta prod. NS	Baja prod. NS
LA	69,05 (11,4) b	61,88 (7,2) bc	2,19 (3,7)	1,92 (2,3)	6,66 (3,2)	5,83 (5,1)
SA	76,26 (11,3) ab	62,63 (6,7) bc	2,18 (3,2)	1,69 (4,4)	7,65 (3,5)	5,90 (4,7)
SC	70,10 (12,3) b	61,14 (8,9) bc	1,78 (3,5)	1,72 (4,2)	6,40 (3,7)	5,38 (5,2)
MR	65,75 (10,3) bc	57,86 (7,9) c	1,81 (1,8)	1,45 (1,3)	5,04 (5,2)	4,46 (6,3)
BL	68,63 (10,7) b	62,70 (5,7) bc	1,60 (1,8)	1,57 (2,2)	6,86 (3,4)	5,96 (3,9)
HG	74,94 (11,6) ab	68,01 (6,3) ab	2,13 (2,7)	1,85 (3,1)	7,86 (4,1)	6,63 (3,1)
MG	75,40 (10,4) ab	71,45 (7,4) ab	1,93 (1,7)	1,70 (4,3)	7,29 (4,2)	7,00 (3,2)
PB	75,99 (10,2) ab	66,51 (4,5) ab	2,15 (1,7)	1,73 (2,6)	7,65 (3,6)	6,06 (4,4)
JG	73,73 (9,3) ab	75,19 (7,7) a	1,80 (1,4)	1,81 (4,3)	6,78 (3,2)	6,76 (4,3)
JV	70,58 (7,5) b	68,06 (8,2) ab	1,77 (2,1)	1,72 (4,2)	7,10 (4,5)	6,20 (4,1)
CA	72,59 (10,1) ab	64,58 (4,3) bc	2,00 (2,3)	1,70 (3,5)	6,91 (3,5)	6,31 (3,9)
Media	72,09	65,45	1,94	1,71	6,93	6,04

Nivel de significación por Tukey, $\alpha = 0,05$. Medias seguidas de la misma letra no muestran diferencia estadísticamente significativa. NS= no significativo es válido para todas las medias de la columna

4.2- Descripción de calicatas (capa superior 0 – 40 cm)

4.2.1- Indicadores Físicos

En el Cuadro 7 se observan las principales características del horizonte superficial de los suelos, descritas al estudiar las minicalicatas en cada una de las áreas de alta y baja productividad de las fincas seleccionadas.

Todas las fincas presentaron estructura en bloques angulares y subangulares en el perfil superior del suelo, considerada como una buena estructura para el tipo de suelo existente en la zona. La consistencia en húmedo se presentó friable en muchos casos, sin embargo, en algunas fincas como: San Antonio, Margarita, Higuitos, Javillo y Caoba, en el área de alta productividad y Santa Cecilia y Palo Blanco en el área de baja productividad, la consistencia era firme lo que podría

estar indicando la posible formación de capas endurecidas trayendo problemas de compactación del suelo en un futuro.

Igualmente, no hubo muchas diferencias en cuanto a tipo de textura ni presencia de moteos o manchas en el suelo. La topografía invariablemente se presentó plana y ondulada en ambas áreas.

En general, en las dos áreas se determinaron bajos valores de resistencia a la penetración y densidad aparente entre los 0 y 40 cm de profundidad del suelo. Los valores encontrados no mostraron diferencia estadísticamente significativa entre las 11 fincas estudiadas. Sin embargo, en estas fincas existen capas más profundas del suelo (> 45 cm) que presentan un desarrollo estructural poco favorable como la presencia de estructuras en láminas con predominio de texturas limosas, consistencia firme, baja conductividad hidráulica saturada, dificultad para la penetración de raíces, elevados valores de densidad aparente, baja porosidad y con poca o nula presencia de raíces en los mismos. Según Amézquita (1994), la carencia de poros en el suelo limita los procesos de interceptación radical, flujo de masas y difusión, por medio de los cuales los nutrientes entran en contacto con las raíces. La mayoría de las raíces del cultivo de banano en estas fincas se concentraron en la capa superior entre los 0 y 40 cm.

Con relación a la velocidad de infiltración básica los valores encontrados fueron sumamente variables, como se observa en el Cuadro 7 el desvío patrón fue muy elevado indicando una gran variabilidad de valores dentro de una misma área de la finca. En parcelas muy cercanas había suelos que presentaban velocidad de infiltración básica muy baja y otros de mediana a alta, esto trajo como consecuencia que las medias encontradas no fueran significativas a pesar de la gran diferencia obtenida entre las diferentes fincas.

Algunas fincas como Santa Cecilia, presentaron velocidad de infiltración básica demasiado baja en ambas áreas de producción, lo que podría indicar que posiblemente exista mal drenaje en algunas áreas de esta finca y consecuentemente exceso de humedad para el cultivo. La infiltración básica es una de las propiedades más completas que se puede determinar en suelos dedicados al cultivo de banano, ya que es afectada por otras propiedades como la textura, la densidad aparente, la porosidad, la estructura y la retención de humedad (Delvaux, 1995).

Al comparar las medias en conjunto del total de todas las fincas entre las áreas de alta y baja productividad, se encontró que había diferencia significativa a nivel de $\alpha = 0,05$ de probabilidad únicamente para la variable resistencia a la penetración.

Cuadro 7. Características físicas del horizonte superficial del suelo en ambas áreas de las fincas

Finca	Textura		Consistencia en húmedo		Moteos		Resistencia a la penetración (kg cm ⁻²)		Velocidad de Infiltración básica (mm h ⁻¹)		Densidad aparente (Mg m ⁻³)	
	Alta prod	Baja prod	Alta prod	Baja prod	Alta prod	Baja prod	Alta prod	Baja prod	Alta prod	Baja prod	Alta prod	Baja prod
LA	FL	F	Friable	Friable	Finos	Finos	1,5 (5,5) _{NS}	0,9 (4,1) _{NS}	67,2 (45,2) _{NS}	6,1 (55,7) _{NS}	1,2 (5,19) _{NS}	1,2 (4,3) _{NS}
SA	FAr	FL	Firme	Friable	Medios	Medios	2,5 (4,7)	1,1 (4,5)	101,4 (34,2)	80,0 (43,1)	1,3 (4,6)	1,2 (3,7)
SC	FAr	F	Muy friable	Firme	Finos	Medios	1,5 (5,8)	2,4 (6,2)	7,2 (41,4)	8,4 (87,1)	1,1 (3,3)	1,2 (3,9)
MR	F	F	Firme	Muy friable	Finos	Finos	2,3 (5,3)	0,4 (5,3)	18,3 (32,6)	69,9 (25,6)	1,3 (2,7)	1,4 (2,7)
BL	FAAr	FA	Friable	Friable	Medios	Medios	1,7 (5,1)	1,3 (5,1)	38,1 (45,5)	91,4 (32,7)	1,1 (2,6)	1,2 (2,2)
HG	FA	F	Firme	Friable	Gruesos	Finos	1,7 (5,6)	1,7 (5,0)	46,1 (47,8)	19,4 (23,4)	1,3 (1,9)	1,2 (1,2)
MG	FAAr	FAL	Friable	Friable	Gruesos	Finos	1,5 (7,7)	1,5 (4,6)	41,6 (37,5)	18,0 (29,7)	1,2 (2,1)	1,1 (1,5)
PB	FA	FL	Friable	Firme	Finos	Finos	1,8 (6,9)	1,9 (5,7)	40,2 (45,1)	20,7 (65,4)	1,2 (2,7)	1,2 (1,9)
JG	FAL	FL	Friable	Friable	Finos	Finos	2,2 (9,2)	1,4 (6,1)	7,6 (23,1)	50,8 (45,6)	1,1 (1,9)	1,1 (2,2)
JV	FAL	FAL	Firme	Friable	Gruesos	Finos	0,9 (4,3)	1,1 (4,6)	45,9 (35,2)	37,8 (34,5)	1,2 (1,7)	1,1 (3,1)
CA	FAL	FAL	Firme	Friable	Gruesos	Medios	1,2 (5,1)	1,7 (5,1)	66,2 (56,7)	44,2 (25,7)	1,3 (2,1)	1,1 (2,7)
Todas las fincas							1,7 (5,9)*a	1,4 (5,1)*b	43,6 (40,4)	40,6 (42,6)	1,2 (2,8)	1,2 (2,7)

NS=No significativo es válido para todas las medias de esa columna. * Nivel de significación por Tukey, alfa = 0,05

El perfil del suelo de la finca Santa Cecilia indica que las capas inferiores del suelo, en las áreas de baja productividad, contienen arena fina lo que posiblemente ha causado una baja penetración de raíces, falta de humedad y compactación del suelo (Cuadro 45).

Jaramillo y Vásquez (1990) en suelos bananeros de Costa Rica, con clima tropical húmedo semejante a la zona bajo estudio, establecieron un rango óptimo de infiltración del agua entre 60 y 150 mm/h. Según Vaquero (2005), de ser menor habría problemas de anoxia radical y de ser mayor un grave problema de retención de agua (déficit hídrico en épocas de menor precipitación y lixiviación de nutrientes en períodos de alta pluviosidad).

La finca San Antonio es una de las que presentó mayores valores de infiltración básica en ambas áreas productivas, lo que podría traer como consecuencia un déficit de humedad en épocas muy secas o rápida lixiviación de nutrientes a través del perfil de no existir un sistema de riego adecuado.

4.2.2- Indicadores Químicos

En el Cuadro 8 se observa que el pH fue un parámetro que presentó enormes variaciones entre ambas áreas. Se nota que en algunas fincas como por ejemplo Palo Blanco, Los Ángeles e Higuitos, el pH del área de alta productividad fue mayor que el del área de baja productividad, sin embargo, en San Antonio, Margarita, Balsas y Jagua el pH de las áreas consideradas de baja productividad, aparece como más alto que en las áreas consideradas de alta productividad.

Los suelos de Javillo y Caoba presentaron los menores valores de pH. Al mismo tiempo la finca Javillo tenía en el horizonte superior del suelo el mayor contenido de Al^{+3} intercambiable. Sin embargo, en la mayoría de las fincas se encontraron elevados niveles de Ca, Mg y K (Anexos 1 al 22) lo que hace que la saturación de aluminio en estos suelos aun se mantenga en niveles bajos.

Los suelos donde se cultiva el banano son intensamente fertilizados con N. En Panamá las dosis comúnmente aplicadas en la mayoría de las fincas están entre los 400 y 550 kg de N/ha/año, utilizando urea y sulfato de amonio como principales fuentes de nitrógeno (Marcelino *et al*, 2008). Estos fertilizantes, en general, producen residuos ácidos en el suelo y por tanto disminuyen el pH, lo que a su vez favorece la liberación del aluminio intercambiable, que puede alcanzar niveles tóxicos para el cultivo. Rufyikiri (2000, 2001), encontró que el

cultivar “Giant Cavendish” era muy afectado por altos contenidos de Al^{3+} intercambiable en el suelo observándose una disminución en la biomasa total, en el número y diámetro de raíces, en el contenido de Ca y Mg en el suelo y en la absorción total de agua y de nutrientes por la planta.

Cuadro 8. pH, relaciones catiónicas, porcentaje de saturación de K y Ca y contenido de P, NO_3 y Al^{3+} en cada área de las fincas bananeras

Finca	Área	pH	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Sat. de K	Sat. de Ca	P	NO_3	Al^{3+}
	Prod	1:2,5				-----%-----		----mg/kg----		cmol ₍₊₎ /kg
LA	Alta	6,1	3,8	15,6	7,9	3,4	70,4	136,0	3,0	0,4
	Baja	5,1	2,3	46,7	30,9	2,0	58,9	76,0	2,0	0,2
SA	Alta	5,7	2,2	9,0	3,5	12,6	59,2	109,0	2,0	0,1
	Baja	5,8	4,4	10,3	2,4	7,7	74,5	107,0	16,0	0,1
SC	Alta	5,6	5,5	33,4	5,9	3,1	81,9	50,0	1,0	0,1
	Baja	5,7	3,8	8,9	2,9	8,0	69,8	53,0	0,4	0,1
MR	Alta	5,4	4,2	20,8	5,0	3,9	77,4	100,0	25,0	0,2
	Baja	6,1	1,8	38,2	21,0	2,1	63,2	26,0	45,0	0,2
BL	Alta	5,3	2,9	19,6	6,7	4,2	71,2	29,0	40,0	0,4
	Baja	5,7	2,6	16,3	6,0	4,9	68,4	38,0	50,0	0,2
HG	Alta	6,5	2,4	13,9	5,7	5,4	67,1	33,0	8,0	0,1
	Baja	5,6	1,9	23,0	12,8	2,8	63,0	33,0	4,0	0,3
MG	Alta	5,7	1,2	46,4	41,9	3,6	51,6	38,0	5,0	0,2
	Baja	5,4	2,3	17,5	10,1	5,5	63,2	87,0	5,0	0,2
PB	Alta	6,3	1,9	7,5	3,9	10,4	58,9	53,0	6,0	0,1
	Baja	5,8	1,9	37,3	20,1	2,0	64,1	72,0	3,0	0,1
JG	Alta	5,5	1,8	31,7	20,0	2,5	60,2	41,0	20,0	0,1
	Baja	6,0	1,1	9,6	11,3	5,7	46,8	55,0	2,0	0,1
JV	Alta	4,4	2,6	23,2	8,7	4,3	69,0	38,0	20,0	2,6
	Baja	5,1	2,9	16,1	6,1	6,6	68,6	37,0	50,0	0,2
CA	Alta	5,1	2,3	12,6	5,4	5,6	65,5	45,0	25,0	0,1
	Baja	4,7	2,3	11,1	5,1	9,1	62,8	27,0	5,0	0,1

En algunas fincas había relaciones Mg/K por encima de los valores considerados adecuados (2,0 – 14,0). La relación Mg/K en algunas fincas fue mayor en las áreas de baja que en las de alta productividad, especialmente en las fincas de

COOSEMUPAR, que presentaron niveles muy altos de Mg, entre estas están: Higuitos y Palo Blanco y en algunas independientes como: Los Ángeles y Margarita.

Vimpany *et al.* (1991), realizando estudios en plantaciones bananeras comerciales en Australia, encontraron desbalances en el suelo entre los contenidos de K, Ca y Mg, concluyendo que las aplicaciones excesivas de K contribuyen con las pérdidas por lixiviación de Ca y Mg, agravando el problema de la acidez. Sin embargo, en los suelos bananeros de Panamá a pesar de los altos niveles de K encontrados, no se observaron problema de acidez ocasionado por pérdida de bases.

Los niveles de K en algunas fincas excedían las necesidades del cultivo, incluso en las áreas de baja productividad. Solamente en Santa Cecilia, Los Ángeles y Margarita, se encontraron niveles algo inferiores de K en el suelo y de Mg y K en Margarita (Anexos 1a hasta 1t). Todas estas son fincas independientes.

El porcentaje de saturación de Ca intercambiable sobrepasaba el 65% en casi todos los suelos, en cambio, el de K no fue mayor de 12% en media. Esto se debe a que en estas fincas se realiza un encalamiento anual en los suelos, aplicando de 1 a 2 toneladas de CaCO_3/ha , razón por la cual existe una elevada acumulación de Ca en el perfil. Esta práctica la realizan más bien por tradición sin tomar en cuenta resultados de análisis del suelo donde se indica el porcentaje de saturación de aluminio que presenta el mismo. El encalado normalmente se realiza para neutralizar el efecto tóxico del aluminio y mejorar el pH del suelo. Sin embargo, no se observó en estas fincas problemas graves ni con el Al^{3+} ni tampoco con el pH.

No se observaron problemas de disponibilidad de fósforo en ninguna de las fincas estudiadas, ni tampoco deficiencias de micronutrientes.

4.2.3- Indicadores Biológicos

La materia orgánica suele considerarse un buen indicador de calidad de suelos ya que está íntimamente ligada a la capacidad de intercambio catiónico y a la actividad microbológica del suelo, que influye directamente sobre su fertilidad y calidad biológica. Los cambios de los parámetros microbológicos a través de su actividad bioquímica son muy apropiados para el estudio de la evolución biológica y el medio ambiente, por lo que se recomiendan como buenos indicadores de la calidad y salud del suelo.

En el Cuadro 9 se verifica que el contenido de materia orgánica presentó niveles bajos en casi la totalidad de las fincas. Los bajos valores de desvío patrón obtenidos en cada finca demuestran que hay homogeneidad en los bajos niveles de los indicadores biológicos en todas las fincas. Solamente Santa Cecilia destaca por su mayor contenido de materia orgánica. Aunque en el resto de las fincas el contenido de materia orgánica no mostró diferencia estadísticamente significativa entre ambas áreas de productividad contrastante, se observa que en valores absolutos en las fincas independientes la mayoría de las áreas de alta productividad presentaron niveles levemente más altos de materia orgánica que en las de baja productividad. Sin embargo, en algunas fincas de COOSEMUPAR, se nota un aumento del contenido de materia orgánica en las áreas de baja productividad.

Las bajas concentraciones de materia orgánica se traducen en una baja respiración microbiológica y en una escasa biomasa microbiana. Por ello, sería necesario incrementar los aportes de enmiendas orgánicas al suelo, para mejorar la actividad biológica, contribuir al mejoramiento de la estructura y la retención de humedad del suelo.

En el Cuadro 9 se observa que las fincas Santa Cecilia, Margarita y Balsas destacan por su alto valor de respiración microbiana. En la finca Margarita a pesar de haber mayor respiración microbiana durante la incubación y una gran biomasa microbiana, hay un bajo contenido de materia orgánica en el suelo. Esto parece indicar que ocurre una rápida mineralización de la materia orgánica; con una mayor actividad microbiana en función al contenido de sustrato orgánico en los suelos. En parte esto explica los bajos contenidos de materia orgánica en algunos suelos.

Caoba es una finca que presentó baja cantidad de materia orgánica, baja respiración y poca biomasa microbiana, lo que indica que en esta finca hay una lenta mineralización de todo el material orgánico disponible producto de la baja población y actividad microbiológica.

En la mayoría de las fincas la biomasa microbiana presentó mayores valores absolutos en las áreas de alta que en las de baja productividad. Para este indicador no fueron encontradas diferencias estadísticas claras entre las medias, sin embargo, destacaron las fincas independientes San Antonio y Margarita. Igualmente, estas dos fincas presentaron el mayor índice de mineralización y tenían bajos niveles de materia orgánica, demostrando que estos son dos factores muy relacionados que son influenciados por el manejo dado al suelo.

En las fincas de COOSEMUPAR el índice de mineralización fue muy bajo en ambas áreas de las fincas producto de que presentaron baja biomasa microbiana y bajos niveles de materia orgánica (Cuadro 9), aunque se observa una leve tendencia al aumento de la respiración microbiana en algunas fincas como Palo Blanco, Jagua y Javillo. Se hace muy necesario el aumento de los aportes orgánicos a los suelos de estas fincas para mejorar estas propiedades.

Cuadro 9. Medias obtenidas para los indicadores biológicos en cada área de las fincas

Finca	Área	Materia Orgánica		Respiración Microbiana	Biomasa Microbiana		Índice de Mineralización
		Prod.	%	mg CO ₂ /kg de suelo· día	mg de C/kg		
LA	Alta	0,9 (2,4)	cd	41,3 (2,6) ab	104 (3,1)	bc	2,2 (3,3) bc
	Baja	0,7 (1,5)	cd	46,2 (2,2) ab	168 (3,2)	ab	3,0 (4,1) b
SA	Alta	0,6 (2,1)	cd	55,1 (3,1) ab	157 (4,1)	ab	4,3 (5,2) a
	Baja	0,7 (1,5)	cd	43,8 (2,4) ab	132 (3,7)	ab	2,9 (5,4) bc
SC	Alta	4,6 (2,2) a		61,6 (2,3) a	114 (4,3)	bc	0,7 (3,2) d
	Baja	2,2 (1,7) bc		43,0 (2,1) ab	90 (3,8)	bc	1,0 (2,2) cd
MR	Alta	0,9 (1,8)	cd	87,8 (2,1) a	205 (4,3)	ab	4,6 (3,1) a
	Baja	0,8 (2,0)	cd	77,3 (2,1) a	127 (3,7)	bc	4,4 (3,2) a
BL	Alta	1,8 (1,8)	c	67,8 (2,6) a	123 (3,4)	bc	1,7 (2,1) c
	Baja	0,8 (1,5)	cd	55,0 (2,4) ab	80 (2,7)	bc	3,2 (2,2) ab
HG	Alta	0,9 (1,2)	cd	30,8 (2,1) bc	123 (3,8)	bc	1,6 (2,1) c
	Baja	0,7 (1,7)	cd	21,5 (1,4) bc	69 (4,1)	c	1,4 (2,3) cd
MG	Alta	1,6 (2,2)	c	21,6 (1,7) bc	91 (3,7)	bc	0,7 (2,5) cd
	Baja	0,7 (1,6)	cd	26,3 (1,4) bc	64 (3,6)	c	1,7 (1,7) c
PB	Alta	1,9 (1,6)	c	53,0 (1,6) ab	115 (4,1)	bc	1,3 (2,3) cd
	Baja	1,7 (1,4)	c	43,4 (1,7) ab	97 (4,1)	bc	1,2 (2,2) cd
JG	Alta	1,3 (1,7)	cd	50,9 (1,9) ab	68 (3,7)	c	1,8 (3,2) c
	Baja	2,1 (2,3) bc		42,3 (2,1) ab	69 (3,4)	c	1,1 (3,3) cd
JV	Alta	1,4 (2,6)	cd	38,1 (2,1) ab	118 (3,3)	bc	1,3 (2,7) cd
	Baja	1,5 (1,7)	cd	47,1 (2,3) ab	84 (2,7)	bc	1,5 (2,3) c
CA	Alta	1,4 (1,2)	cd	20,6 (1,7) bc	67 (3,8)	c	0,7 (2,8) d
	Baja	1,7 (1,4)	c	22,7 (1,8) bc	66 (4,5)	c	0,6 (3,4) d

Nivel de significación por Tukey, $\alpha = 0,05$. Medias seguidas de la misma letra no muestran diferencia estadísticamente significativa.

4.3- Obtención del Conjunto mínimo de datos (MDS)

4.3.1- Regresiones

El total de indicadores químicos, físicos y microbiológicos determinados, se usaron como variables explicativas para hacer regresiones lineales con respecto a dos variables de productividad, escogiéndose el número de manos y circunferencia de la madre como factores que se corresponden con mayor productividad.

En el Cuadro 10 se presenta los resultados de las regresiones lineales paso a paso con relación a la circunferencia de la madre.

Cuadro 10. Regresiones paso a paso respecto a la circunferencia de la madre

Indicador	Valor Beta	
	Regresión hacia adelante	Regresión hacia atrás
Peso total de raíces	0,36	0,37
K	0,42	0,45
Resp. microbiana total	-0,32	-0,35
Índice de mineralización	0,34	0,38
Ca	0,28	0,38
Materia orgánica	0,24	0,18
Mn	-0,21	-0,17
pH	-0,33	-0,29
Ca/Mg	0,03	0,03
N total	0,14	0,15
Densidad aparente	0,04	0,05
Porcentaje de arena	-0,13	-0,15
Mg	0,17	0,17
Infiltración básica	-0,13	-0,14
Desvío patrón	1,21	1,24

Nivel de significación, $\alpha = 0,05$

En la regresión hacia delante y hacia atrás respecto a la circunferencia de la madre los indicadores que mostraron mayor significancia al nivel de 5 % de probabilidad respecto al F de Fisher fueron: peso total de raíces, potasio, respiración microbiana total, índice de mineralización, calcio, materia orgánica, manganeso, pH, relación Ca/Mg, nitrógeno total, densidad aparente, porcentaje de arena, magnesio y la velocidad de infiltración básica. Se observa que se obtuvo un bajo nivel de desvío patrón para estas variables.

Cuadro 11. Regresiones paso a paso respecto al número de manos producidas

Indicador	Valor Beta	
	Regresión hacia adelante	Regresión hacia atrás
K	0,40	0,67
Peso total de raíces	0,25	0,12
Respiración microbiana total	-0,68	-0,77
Porcentaje de arcilla	-0,29	-0,36
Vel. de infiltración básica	-0,10	
Índice de mineralización	0,53	0,62
Ca/K	0,11	
pH	-0,31	-0,41
N total	0,10	
Materia orgánica	0,29	0,48
Ca	0,54	0,60
Porcentaje de saturación de K	0,15	
Porcentaje de arena	-0,13	-0,25
Cu		-0,14
Zn		0,10
Ca/Mg		0,21
Mg/K		0,19
Desvío patrón	0,48	0,47

Nivel de significación, $\alpha = 0,05$

El Cuadro 11 presenta los resultados obtenidos al realizar la prueba de regresión hacia delante y hacia atrás respecto al número de manos producidas.

En la regresión hacia adelante respecto al número de manos producidas se escogieron los siguientes indicadores: peso total de raíces, potasio, respiración microbiana total, porcentaje de arcilla, velocidad de infiltración básica, índice de mineralización, relación Ca/K, calcio, pH, nitrógeno total, porcentaje de saturación de potasio, materia orgánica y el porcentaje de arena. En la regresión hacia atrás se escogieron: pH, calcio, potasio, cobre, cinc, relación Ca/Mg, índice de mineralización, materia orgánica, relación Mg/K, porcentaje de arena, porcentaje de arcilla, respiración microbiana total y peso total de raíces. Igualmente, para las regresiones con relación al número de manos se obtuvo un desvío patrón muy bajo.

4.3.2- Correlaciones

En general se encontraron correlaciones muy bajas entre los diversos indicadores estudiados y las características físicas determinadas lo que indica que hay independencia entre ellas (Cuadro 12). Destacan la correlación negativa entre el peso total de raíces con relación al porcentaje de arena, indicando que suelos con textura demasiado arenosa no son muy favorables para el desarrollo radicular, tal vez, por su baja capacidad de retención de humedad y facilidad para sufrir compactación. Estas variables no fueron determinantes para diferenciar entre las propiedades de las áreas de alta y baja productividad y verificar que influyen directamente sobre la productividad del cultivo ya que en ambas áreas productivas (alta y baja productividad) se encontraron valores altos y bajos y buenas y malas características físicas.

También se observaron correlaciones importantes entre la circunferencia de la madre y el número de manos de banano con el contenido de Ca y K. El P no parece tener una gran influencia sobre los indicadores de productividad en estos suelos, quizás porque en estas fincas los niveles de P disponibles son bastante elevados (Cuadro 13).

Destaca también la alta correlación positiva entre el contenido de Ca y Mg y entre Ca y K, estos tres nutrientes deben guardar una relación de equilibrio para facilitar su asimilación por el cultivo y evitar desbalances en el suelo. Esto se demuestra a través de la elevada correlación negativa que se encontró entre la relación Ca/Mg con respecto al contenido de Ca, Mg y K en el suelo.

Se obtuvo una correlación negativa entre vigor de la planta y saturación de calcio (-0,22) y positiva con la saturación de potasio, aunque muy baja (0,07) atribuyéndose este resultado al hecho de que en casi todas las fincas es muy alto

el nivel de este nutrimento (Cuadro 13). También, y de acuerdo a lo esperado, se obtuvo una correlación negativa entre el contenido de Al^{3+} y el pH del suelo (-0,54) ya que un aumento del contenido de Al^{3+} disminuye el pH de los suelos aumentando el nivel de acidez.

Cuadro 12. Correlaciones entre los indicadores determinados con las variables físicas

Correlaciones	% Arena	% Arcilla	% Limo	Densidad aparente	Infiltrac. básica
pH	-0.03	0.08	-0.04	0.03	-0.05
Al	0.16	-0.08	-0.14	-0.15	0.05
Ca	-0.21	0.28	0.02	-0.30	-0.02
Mg	-0.30	0.19	0.20	-0.23	-0.20
K	-0.05	-0.02	0.07	-0.04	-0.08
P	-0.08	-0.03	0.12	0.19	0.01
Ca/Mg	0.33	-0.19	-0.24	0.18	0.15
Ca/K	-0.28	0.35	0.05	-0.17	-0.08
Mg/K	-0.27	0.31	0.07	-0.12	-0.14
% sat K	0.24	-0.33	-0.02	0.17	0.06
% sat Ca	0.26	-0.09	-0.25	0.09	0.20
MO	0.04	0.17	-0.19	-0.15	-0.16
% arena	1.00	-0.60	-0.73	0.07	0.14
% arcilla	-0.60	1.00	-0.11	-0.11	-0.17
% limo	-0.73	-0.11	1.00	0.00	-0.04
Dens. ap.	0.07	-0.11	0.00	1.00	0.01
Inf. del agua	0.14	-0.17	-0.04	0.01	1.00
RM-Total	0.09	0.07	-0.17	0.31	-0.01
Ind mineraliz.	-0.03	-0.04	0.07	0.31	0.03
Biomasa MO	0.02	-0.10	0.06	0.24	0.06
RT	-0.43	0.28	0.30	-0.16	0.00
Circ. madre	-0.27	0.06	0.28	-0.24	-0.01
Alt del hijo	-0.33	0.10	0.33	-0.21	-0.03
# Manos	-0.27	0.11	0.24	-0.31	0.00

Cuadro 13. Correlaciones entre los indicadores determinados con las variables químicas

Correlaciones	pH	Al	Ca	Mg	K	P	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	%Sat K	%Sat Ca
pH	1.00										
Al	-0.54	1.00									
Ca	0.13	-0.14	1.00								
Mg	0.22	-0.10	0.64	1.00							
K	0.24	-0.06	0.44	0.34	1.00						
P	0.05	-0.18	-0.34	-0.10	0.01	1.00					
Ca/Mg	-0.09	-0.02	-0.45	-0.70	-0.39	0.07	1.00				
Ca/K	0.00	-0.09	0.18	0.13	-0.43	-0.14	0.05	1.00			
Mg/K	0.08	-0.08	0.24	0.58	-0.24	-0.07	-0.38	0.70	1.00		
% sat K	0.01	0.12	-0.30	-0.26	0.54	0.16	0.05	-0.55	-0.42	1.00	
% sat Ca	-0.19	0.01	-0.26	-0.80	-0.41	-0.08	0.87	0.13	-0.46	-0.11	1.00
MO	-0.04	-0.01	-0.04	-0.15	0.03	-0.06	0.30	0.03	-0.16	0.01	0.26
% arena	-0.03	0.16	-0.21	-0.30	-0.05	-0.08	0.33	-0.28	-0.27	0.24	0.26
% arcilla	0.08	-0.08	0.28	0.19	-0.02	-0.03	-0.19	0.35	0.31	-0.33	-0.09
% limo	-0.04	-0.14	0.02	0.20	0.07	0.12	-0.24	0.05	0.07	-0.02	-0.25
Dens. ap.	0.03	-0.15	-0.30	-0.23	-0.04	0.19	0.18	-0.17	-0.12	0.17	0.09
Inf. del agua	-0.05	0.05	-0.02	-0.20	-0.08	0.01	0.15	-0.08	-0.14	0.06	0.20
RM-Total	0.06	-0.14	-0.25	-0.21	-0.19	0.17	0.20	0.04	-0.06	-0.08	0.17
Ind mineraliz.	0.12	-0.14	-0.28	0.02	-0.25	0.23	-0.08	0.04	0.21	-0.12	-0.18
Biomasa MO	0.11	-0.08	-0.35	-0.14	-0.30	0.25	0.02	0.00	0.08	-0.07	-0.01
RT	-0.11	0.09	0.37	0.18	0.25	0.11	-0.18	0.06	-0.03	-0.11	-0.03
Circ. madre	-0.06	0.05	0.44	0.31	0.47	0.00	-0.32	-0.09	-0.03	0.07	-0.22
Alt del hijo	0.01	0.01	0.05	0.07	0.21	0.34	-0.12	-0.05	-0.05	0.08	-0.09
# Manos	-0.10	0.09	0.49	0.27	0.48	-0.01	-0.33	-0.09	-0.03	0.11	-0.20

Se obtuvo una correlación negativa (-0,55) entre el índice de mineralización y el contenido de materia orgánica del suelo y una correlación positiva entre el índice de mineralización con respecto a la respiración microbiana y la biomasa microbiana, demostrando que son parámetros biológicos altamente dependientes entre si (Cuadro 14). También se encontró correlación negativa entre la biomasa microbiana y el contenido de materia orgánica, en estos suelos se obtuvieron bajos niveles de materia orgánica de tal forma que si aumenta rápidamente la biomasa microbiana no habría suficiente sustrato para su manutención.

Un resultado interesante es la correlación negativa encontrada entre la densidad aparente con respecto a los indicadores respiración microbiana e índice de mineralización. Al parecer suelos poco compactados, con drenaje adecuado y

buena aireación favorecerían el desarrollo de una comunidad microbiana muy activa.

Se determinó una correlación positiva entre la circunferencia de la madre con el número de manos y el peso total de raíces, demostrando este resultado que una planta bien nutrida, con buen vigor y mayor desarrollo de raíces, proporcionará un mayor rendimiento de frutas ya que la planta es capaz de soportar mayor peso y tamaño del racimo, vientos y enfermedades y por lo tanto, mayores beneficios al productor.

Correlación positiva entre el número de manos con relación al peso total de raíces, circunferencia de la madre y la altura del hijo, todas estas características que indican la buena nutrición y salud de un cultivo. Igualmente, el número de manos mostró una elevada correlación positiva con el contenido de Ca y Mg.

Cuadro 14. Correlaciones entre los indicadores determinados con las variables biológicas

Correlaciones	MO	RM-Total	Ind Miner	Biom MO	Circ. madre	Alt del hijo	# manos
pH	-0.04	0.06	0.12	0.11	-0.06	0.01	-0.10
Al	-0.01	-0.14	-0.14	-0.08	0.05	0.01	0.09
Ca	-0.04	-0.25	-0.28	-0.35	0.44	0.05	0.49
Mg	-0.15	-0.21	0.02	-0.14	0.31	0.07	0.27
K	0.03	-0.19	-0.25	-0.30	0.47	0.21	0.48
P	-0.06	0.17	0.23	0.25	0.00	0.34	-0.01
Ca/Mg	0.30	0.20	-0.08	0.02	-0.32	-0.12	-0.33
Ca/K	0.03	0.04	0.04	0.00	-0.09	-0.05	-0.09
Mg/K	-0.16	-0.06	0.21	0.08	-0.03	-0.05	-0.03
% sat K	0.01	-0.08	-0.12	-0.07	0.07	0.08	0.11
% sat Ca	0.26	0.17	-0.18	-0.01	-0.22	-0.09	-0.20
MO	1.00	0.02	-0.55	-0.54	0.17	-0.01	0.11
% arena	0.04	0.09	-0.03	0.02	-0.27	-0.33	-0.27
% arcilla	0.17	0.07	-0.04	-0.10	0.06	0.10	0.11
% limo	-0.19	-0.17	0.07	0.06	0.28	0.33	0.24
Dens. ap.	-0.15	-0.31	-0.31	-0.24	-0.24	-0.21	-0.31
Infil del agua	-0.16	-0.01	0.03	0.06	-0.01	-0.03	0.00
RM-Total	0.02	1.00	0.49	0.20	-0.22	-0.19	-0.37
Ind mineraliz.	-0.55	0.49	1.00	0.74	-0.25	-0.11	-0.28
Biomasa MO	-0.54	0.20	0.74	1.00	-0.20	0.05	-0.18
RT	0.17	-0.18	-0.33	-0.27	0.57	0.51	0.62
Circ. madre	0.17	-0.22	-0.25	-0.20	1.00	0.68	0.88
Alt del hijo	-0.01	-0.19	-0.11	0.05	0.68	1.00	0.69
# manos	0.11	-0.37	-0.28	-0.18	0.88	0.69	1.00

4.3.3- Análisis en componentes principales

Basado en las regresiones lineales paso a paso se seleccionaron las variables más significativas, utilizando dos de los indicadores de productividad (número de manos y circunferencia de la madre) como variables a explicar, quedando en este momento la selección integrada por 13 variables.

Mediante un análisis en componentes principales se pudo estudiar la primera selección, mostrándose total coherencia entre las variables utilizadas y las variables de productividad y se filtraron los resultados para dejar los 8 indicadores con la mayor influencia. Esta selección de 8 indicadores forma el Conjunto Mínimo de Datos (MDS).

El círculo sugiere que hay un grupo de indicadores que influyen más, tanto positiva como negativamente, en la circunferencia de la madre y el número de manos (Figura 12). Para establecer esto numéricamente, se calcularon los cosenos de los ángulos a los vectores que definían a cada indicador con relación a las dos primeras componentes principales, que en conjunto explicaron el 30 % de la variabilidad total. Este bajo valor de la varianza total que explicaron las dos primeras componentes principales se atribuyó, al gran número de variables involucradas en el estudio y la elevada variabilidad de los resultados encontrados, tanto dentro de una misma finca como también entre ellas. Se seleccionaron los indicadores con ángulo mayor a 0,8 o menor a -0,8 porque los vectores que se encontraban allí fueron los que obtuvieron el mayor peso factorial, o sea, la suma de sus cosenos elevados al cuadrado (peso factorial) fue mayor que los vectores ubicados en ángulos inferiores. Se eliminaron todas las cargas factoriales menores a 0,25 siguiendo la metodología recomendada por Trejos y Villalobos (2008) para los suelos bananeros de Costa Rica.

El Cuadro 15 muestra un resumen de los resultados encontrados que ayudaron en la selección final de los indicadores. De acuerdo con estos resultados, el Conjunto Mínimo de datos o MDS quedó conformado por aquellas variables que mejor explicaron la variabilidad total con respecto a las dos variables de productividad escogidas, siendo seleccionadas aquellas que aparecieron el mayor número de veces entre las mejores (4 ó 5 veces), tanto en las regresiones paso a paso como también en el análisis en componentes principales (ACP).

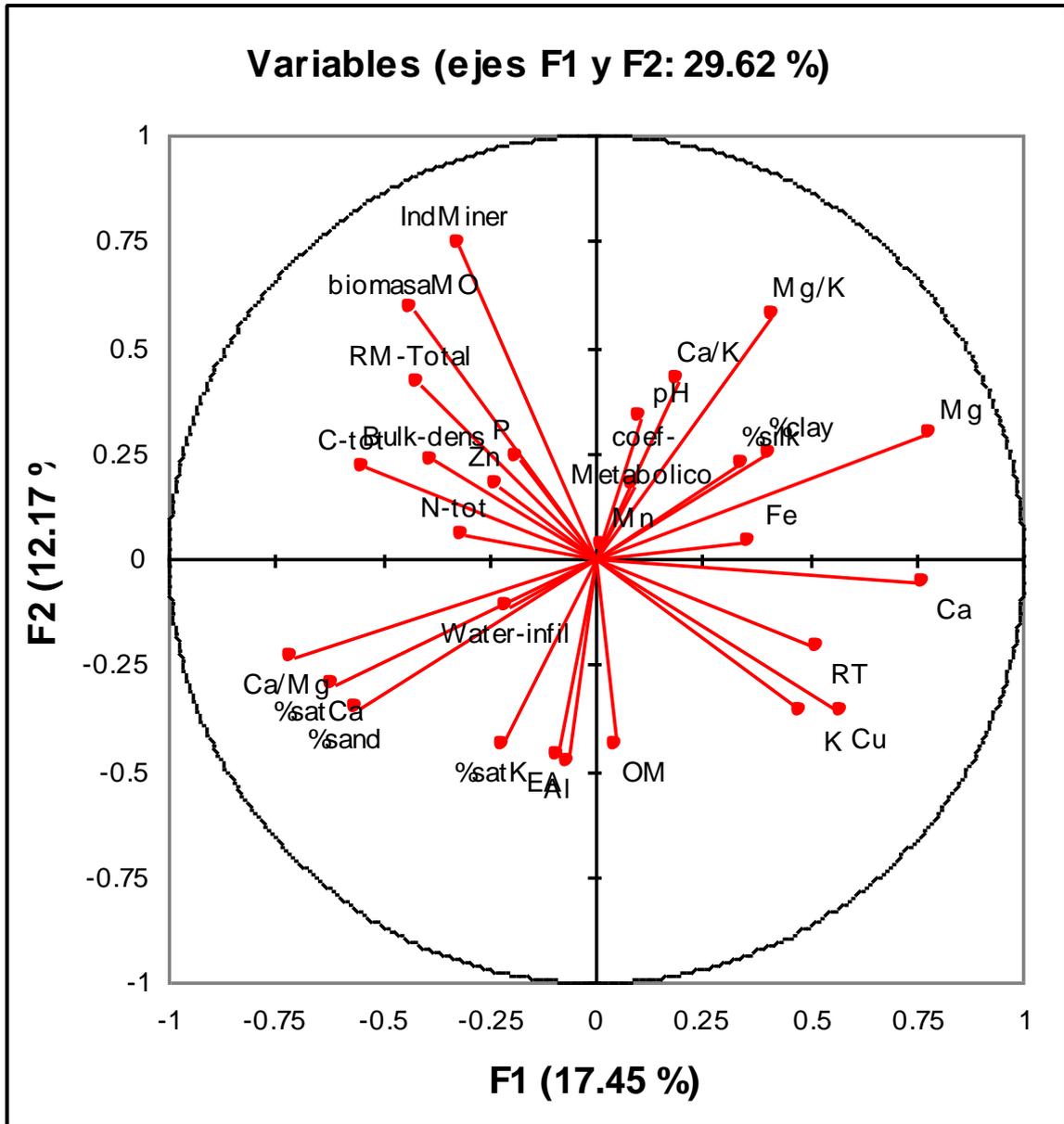


Figura 12. Análisis en componentes principales – círculo de correlaciones

Cuadro 15. Indicadores que obtuvieron los mejores resultados de acuerdo con el método estadístico de análisis utilizado

	Circunferencia de la madre		Número de manos		ACP	Total
	R. Adelante	R. Atrás	R. Adelante	R. Atrás		
pH	pH	pH	pH	pH	pH	5
Al						0
Ca	Ca	Ca	Ca	Ca		4
Mg	Mg	Mg				2
K	K	K	K	K	K	5
P					P	1
Fe						0
Cu				Cu		1
Zn				Zn	Zn	2
Mn	Mn	Mn				2
Ca/Mg	Ca/Mg	Ca/Mg		Ca/Mg		3
Ca/K			Ca/K			1
Mg/K				Mg/K		1
% Sat K			% Sat K			1
%Sat Ca						0
Mat. org	Mat. org	Mat. org	Mat. org	Mat. org		4
% arena	% arena	% arena	% arena	% arena		4
% arcilla			% arcilla	% arcilla		2
D ap.	D ap.				D ap.	2
Inf. Bás.	Inf. Bás.	Inf. Bás.	Inf. Bás.			3
RM Total	RM Total	RM Total	RM Total	RM Total	RM Total	5
N Total	N Total	N Total	N Total			3
C Total						0
Ind. Min.	Ind. Min.	Ind. Min.	Ind. Min.	Ind. Min.		4
Biom. M.					Biom M.	1
R. Total	R. Total	R. Total	R. Total	R. Total		4

4.3.4- Clasificación automática

Se aplicó un método de clasificación automática o análisis de conglomerados (cluster analysis en inglés) de tipo jerárquico ascendente sobre la matriz de correlaciones, obteniéndose un dendrograma o árbol de clasificación que permitió la determinación de 8 clases o grupos diferenciados de indicadores (Figura 13).

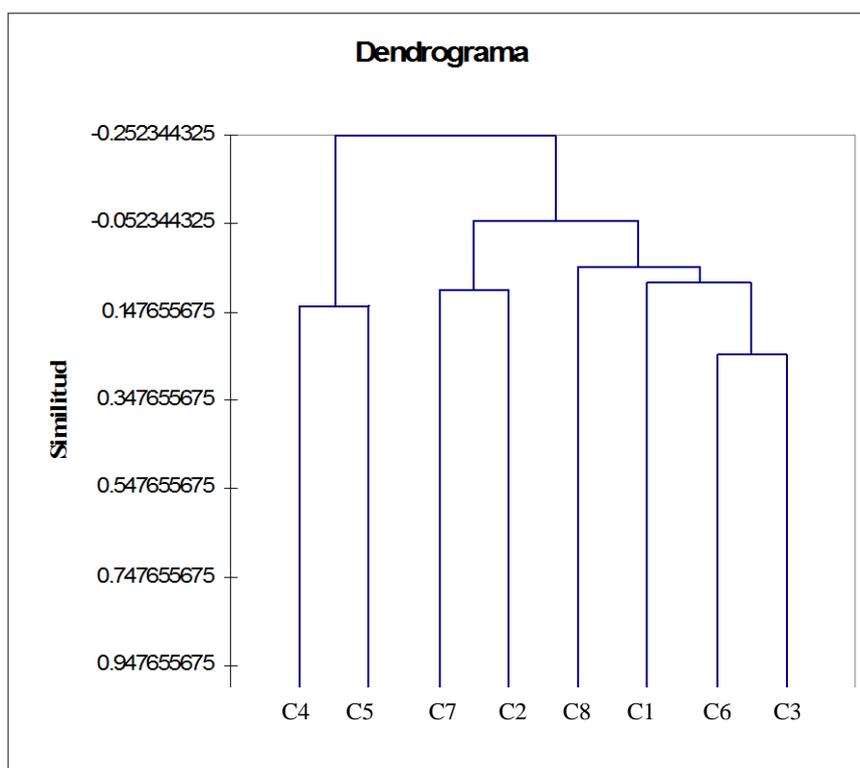


Figura 13. Dendrograma obtenido mediante análisis de clasificación automática. Véase Cuadro 16 para identificar los indicadores que componen las clases C1 a C8

El análisis de clasificación automática sirvió para comprobar la pertinencia e independencia de las variables escogidas.

El Cuadro 16 presenta las 8 clases obtenidas y los indicadores que integraban cada una. Estas 8 clases de la C1 a la C8, quedaron conformadas por aquellas variables que estaban muy relacionadas y que eran muy similares o dependientes entre sí. Supuestamente, un indicador puede representar a los demás elementos de su clase. En este caso se escogieron aquellos indicadores que habían obtenido

los mejores resultados tanto en las regresiones paso a paso como también en el ACP, los cuales aparecen resaltados en negrita dentro de cada clase.

Cuadro 16. Clases diferenciadas obtenidas en el dendrograma

Clase	Indicadores
Clase 1	pH ; Ca/Mg; % sat. de Ca, % sat. de bases
Clase 2	Al; % arcilla; % arena
Clase 3	Ca ; Mg; Fe; Cu; Ca/K; Mg/K
Clase 4	Densidad aparente; MO
Clase 5	% sat. de K; N total; K
Clase 6	Velocidad de Inf. básica; RT
Clase 7	Ind de mineralización ; Biomasa microbiana
Clase 8	RM ; C total; Mn; Zn

El Cuadro 17 presenta la selección final de indicadores. El MDS quedó integrado por un indicador físico (% de arena), cuatro indicadores químicos (pH, Ca, K y MO) y tres indicadores biológicos (RM, Ind Min, RT).

Igualmente, con el fin de demostrar la coherencia y la independencia entre los indicadores del MDS se efectuó un análisis de correlación solamente sobre las variables seleccionadas. El Cuadro 20 muestra las correlaciones obtenidas en el análisis efectuado al MDS.

Cuadro 17. Conjunto mínimo de datos (MDS)

Indicador	Abreviatura	Físico	Químico	Biológico
Arena (%)	Ar	✓		
pH (agua 1:2,5)	pH		✓	
Calcio ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	Ca		✓	
Potasio ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	K		✓	
Materia Orgánica (%)	MO		✓	
Respiración Microbiológica ($\text{mg CO}_2 \text{ 100 g}^{-1} \cdot 10 \text{ días}^{-1}$)	RM			✓
Índice de Mineralización	Ind Min			✓
Peso total de raíces (g)	RT			✓

Cuadro 18. Correlaciones entre las variables del MDS

Indicador	pH	Ca	K	MO	% Arena	RM	Ind. Min	RT
pH	1,00							
Ca	0,13	1,00						
K	0,24	0,44	1,00					
MO	-0,04	-0,04	0,03	1,00				
% Arena	-0,03	-0,21	-0,05	0,04	1,00			
RM	0,06	-0,25	-0,19	0,02	0,09	1,00		
Ind Min	0,12	-0,28	-0,25	-0,55	-0,03	0,49	1,00	
RT	-0,11	0,37	0,25	0,17	-0,43	-0,18	-0,33	1,00

Como se observa en el Cuadro 18, a pesar de que en general, se obtuvieron correlaciones bastante bajas entre las variables del MDS, demostrando que había bastante independencia entre ellas, se destaca la buena correlación positiva entre RM e Ind Min, dos indicadores que mantienen una estrecha relación de dependencia entre sí pues, si la respiración microbiana es muy baja esto debe repercutir en un bajo índice de mineralización de la materia orgánica. Otra correlación importante que se observó fue la que se obtuvo entre RT y % de arena, siendo esta negativa, pues cuando el suelo presenta alto porcentaje de este componente granulométrico, generalmente se observa una tendencia a sufrir compactación dificultando el desarrollo radical de la planta.

4.4- Obtención del índice de calidad del suelo

Una vez establecido el MDS que quedó conformado por 8 indicadores se procedió al cálculo del índice de calidad de suelos bananeros de Panamá.

4.4.1- Obtención de los pesos de los indicadores del MDS

Con el fin de definir la importancia relativa que tiene cada indicador, se efectuó un análisis en Componentes Principales solamente sobre los 8 indicadores del MDS. De esta manera, el análisis arrojó 5 componentes principales con varianza

mayor que uno que acumularon el 85% de inercia total (Cuadro 19). Existen diversos criterios para determinar el número de factores a conservar. Uno de los más utilizados es la regla de Kaiser que indica conservar aquellos factores cuyos valores propios (eigenvalues) son mayores a la unidad. Estas primeras 5 componentes principales fueron utilizadas para calcular la comunalidad de cada indicador.

En un análisis de componentes principales, la comunalidad de un indicador representa la suma de los cosenos al cuadrado con las componentes principales y en este caso muestra la importancia relativa de cada indicador con respecto al conjunto de las 5 primeras componentes principales o cuanto de la variabilidad total es explicado por ese indicador determinado. Estas comunalidades sirvieron entonces para definir los pesos de cada indicador del MDS en la construcción del índice de calidad de suelos bananeros.

Cuadro 19. Valores propios del análisis de componentes principales del MDS

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valor propio	2,377	1,477	1,217	1,013	1,002	0,520	0,431	0,222
Variabilidad (%)	29,708	18,459	15,212	12,666	9,288	6,506	5,383	2,778
Inercia acumulada (%)	29,708	48,168	63,379	76,045	85,334	91,839	97,222	100,00

El Cuadro 20 muestra la comunalidad de cada indicador hasta la 5^{ta} componente principal y su importancia relativa o porcentaje de variabilidad total que explica esa variable.

Para la obtención del peso total de cada indicador del MDS se sumaron cada uno de las comunalidades o pesos factoriales al cuadrado obtenidos con cada componente principal seleccionado y este valor se transformó a un valor porcentual.

Como se observa en el Cuadro 20 los indicadores que mostraron el mayor peso fueron: índice de mineralización, porcentaje de materia orgánica y el porcentaje de arena. Los indicadores físicos tuvieron un peso total de 13,6 %; los químicos 48,6% y los biológicos 37,4%. Sin embargo, todos los factores están íntimamente relacionados, por tanto pudiera haber una gran influencia de los factores físicos del suelo sobre las otras propiedades.

Cuadro 20. Comunalidad y contribución de cada indicador para la construcción del índice de calidad de suelos bananeros según el análisis de componentes principales

	F1	F2	F3	F4	F5	Comunalidad	Peso total
% arena	0,172	0,291	0,427	0,221	0,244	1,355	13,6%
pH	0,446	0,187	0,215	0,168	0,272	1,288	12,9%
Ca	0,331	0,276	0,198	0,202	0,100	1,107	11,1%
K	0,126	0,447	0,053	0,333	0,105	1,064	10,6%
MO	0,234	0,269	0,340	0,290	0,260	1,393	14,0%
RM-Total	0,327	0,213	0,106	0,404	0,184	1,234	12,3%
Ind Miner	0,530	0,291	0,225	0,201	0,188	1,435	14,4%
RT	0,474	0,181	0,223	0,132	0,064	1,074	10,7%
						9,950	100,0 %

Trejos y Villalobos (2008) trabajando en áreas productoras de banano del Atlántico de Costa Rica encontraron 13 indicadores que tenían influencia sobre la productividad de la fruta. Al calcular la contribución de cada indicador del MDS al índice de calidad encontraron que los factores físicos eran responsables por el 10,3%; los químicos 39,9% y los biológicos 49,7%. Estos resultados coinciden con los encontrados en el experimento realizado en suelos bananeros de Panamá donde los factores físicos tuvieron la menor contribución para el cálculo del índice.

Rey *et al.* (2006), trabajando con suelos bananeros de Venezuela encontraron que la mayoría de los problemas relacionados con la calidad del suelo y la baja productividad de las plantaciones estaban relacionados con el deterioro de las propiedades físicas del suelo. En este sentido, Villarreal *et al.* (2008), en experimentos realizados con anterioridad a este proyecto indican que algunos suelos bananeros de Panamá presentan compactación y una estructura poco favorable para el desarrollo de las raíces en los horizontes más profundos.

Cantú *et al.* (2007), realizaron un estudio de calidad de suelos en zonas productoras de Argentina encontrando que la materia orgánica tenía gran influencia sobre los demás indicadores. Según estos investigadores, la disminución del contenido de C orgánico sería la causa principal del deterioro de la calidad de algunos indicadores como: estabilidad de agregados, infiltración del agua y densidad aparente. Coincidentemente, en los suelos bananeros de Panamá, también se encontró que la materia orgánica fue uno de los indicadores más sensibles al manejo que ha recibido el suelo a través del sistema tradicional de producción, influenciando directamente otras propiedades.

Brejda *et al.* (2000), indican que uno de los mejores atributos para determinar la calidad del suelo sería conocer el contenido de carbono total del suelo, sin embargo, el conjunto mínimo de indicadores (MDS) no puede ser preseleccionado o basado en otros estudios, si no, este debe ser el resultado de tomar en consideración las características y particularidades de cada territorio.

4.4.2- Curvas de respuesta de cada indicador

Cada indicador tiene un comportamiento diferente sobre los puntos de medición y dependiendo de ello se define una curva que muestra su influencia en la descripción de una finca o de un sector de una finca.

Para elaborar las curvas se utilizaron los niveles críticos teóricos desarrollados por el Laboratorio de Suelos del IDIAP para cada parámetro determinado y contrastado con los niveles observados en los datos. Estos niveles ayudaron a definir los sectores en que las curvas mostraban un buen comportamiento, un comportamiento regular o un comportamiento malo.

Todas las curvas se normalizaron para obtener valores entre 0 y 1. Así, se obtuvieron dos tipos de curvas que podían ser:

- Curvas logística crecientes, entre 0 y 1
- Curvas tipo campana, con máximo valor 1

Es decir, para cada valor de los indicadores x_1, x_2, \dots, x_8 del MDS se encontró un valor del índice entre 0 y 1, cuanto más cercano a 1 significaba que mejor era la calidad de ese suelo bananero, y cuanto más cercano a 0 peor era la calidad. Así, se obtuvo un índice que describía la calidad del suelo a partir de 8 indicadores.

Para el cálculo de las curvas se utilizaron parámetros como los valores X determinados para cada indicador, la media denotada (\bar{x}) de cada variable, que sirve para posicionar la curva respecto al eje X de las abscisas y los parámetros m y b que son constantes que controlan el crecimiento y concavidad de la curva de acuerdo al intervalo establecido para cada variable.

Los valores de estos parámetros para cada una de las curvas de respuesta están dados en el Cuadro 21, en este se presenta el tipo de curva y los valores

encontrados para la media (\bar{x}), la concavidad (b) y la extensión o crecimiento de la curva (m).

Cuadro 21. Curvas de respuesta obtenidas para cada indicador del MDS

Indicador	Media	m	b	Tipo de curva
Arena (%)	45,0	0,00	1,46	Campana
pH (1:2,5)	6,0	0,09	1,46	Campana
Ca (cmol/kg)	15,0	0,80	-6,55	Logística creciente
K (cmol/kg)	0,8	122,37	-3,46	Logística creciente
MO (%)	2,0	3,03	-6,07	Logística creciente
RM (mg CO ₂ / 100 g · 10 Dias)	350,0	0,01	-3,54	Logística creciente
Ind Min	0,6	298,75	1,46	Campana
RT (g)	105,0	0,10	-10,62	Logística creciente

Tipo de curva	media	m	b
Campana	6,0	0,09	1,46

Bueno	6,0
Máx.	13,0
min	0,0

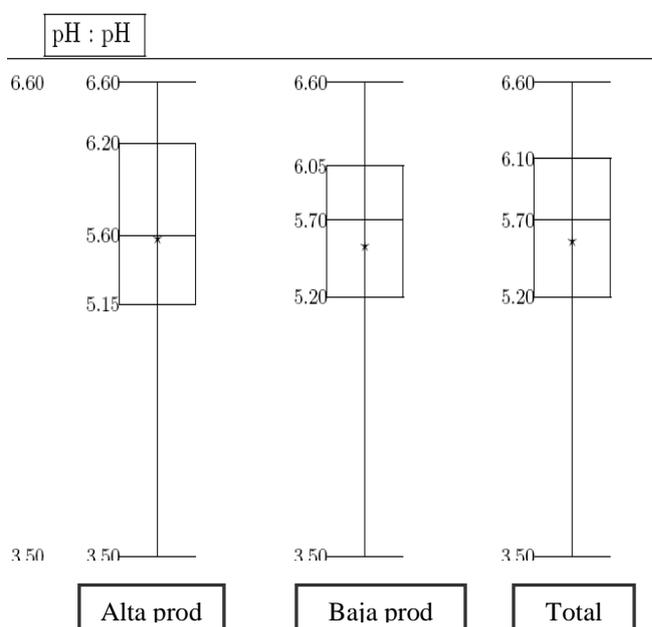
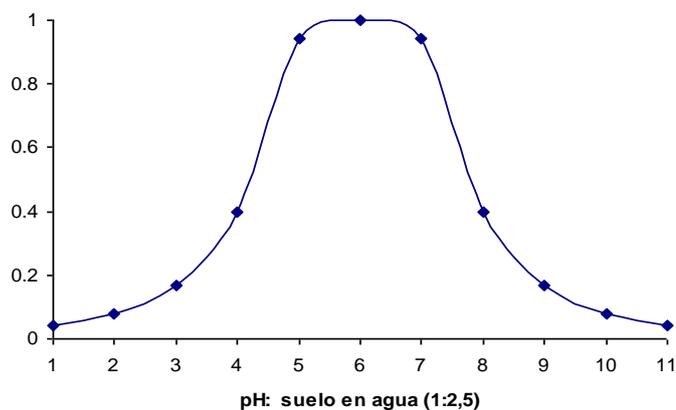


Figura 14. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador pH

En la Figura 14 se observa la curva obtenida para el indicador pH del suelo. Para su elaboración se consideró como bueno un nivel de pH de 6, resultando en un tipo de curva de campana, siendo que valores próximos a 6 tenían índice cercano a 1 y valores alejados de 6 índices menores que 1. También, se muestran las cajas de dispersión que indican los rangos reales observados, para los sitios buenos y malos y para el total de sitios. Para el sitio de alta productividad se obtuvo un promedio de 5,60 mientras que para el de baja productividad y el total de las muestras el pH medio fue de 5,70 en ambos casos.

Igualmente, la Figura 15 muestra la curva obtenida para el porcentaje de arena del suelo.

	min	Máx.
Bueno	35,0	55,0

Tipo curva	media	m	b
Campana	45,0	0,00	1,46

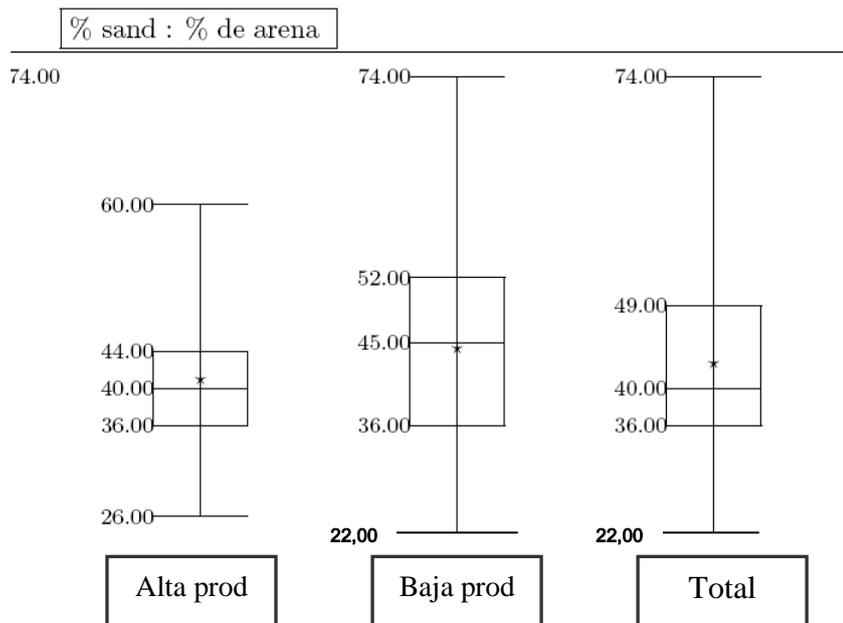
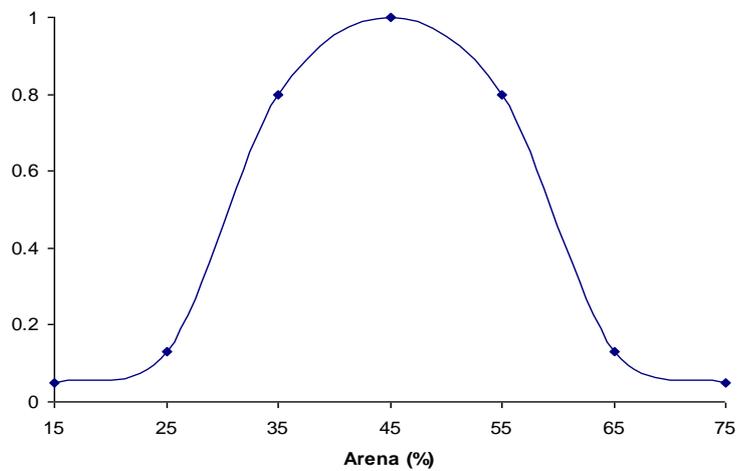


Figura 15. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador % de arena

Igual que para el caso de la curva de pH, se obtuvo una curva tipo campana. Se consideró como bueno un intervalo entre 35 y 55 % de arena, siendo el promedio 45. Valores cercanos a 45 % de arena en el suelo obtuvieron un promedio cercano a 1 y mientras más alejado era el porcentaje del valor promedio peor resultado obtenía ese suelo para este indicador.

Las cajas de dispersión indican que para el área de alta productividad la media fue de 40 % de arena y para el área de baja productividad se encontró una valor medio de 45 %, sin embargo, en las zonas de baja productividad las diferencias observadas en el contenido de arena de los suelos fueron mayores, encontrándose datos entre 52 y 36 %. Igualmente para el total de las fincas el valor medio fue de 40 %.

En la Figura 16 se observa que para el Ca se obtuvo una curva logística creciente. Se tomó como valor medio 15 cmol_c/kg de suelo. En casi todas las fincas se encontraron valores elevados de este nutriente.

En el área de alta productividad de las fincas se encontraron valores medios de 16,75 cmol_c/kg mientras que en el área de baja productividad el valor medio fue de 14,85 cmol_c/kg , muy próximo al valor recomendado. El valor medio general encontrado en ambas zonas fue de 16,05 cmol_c/Kg .

La dispersión fue bastante amplia en ambas áreas de las fincas indicativo que hay gran acumulación de Ca en el perfil tanto en el área de alta como de baja productividad, esto producto del encalamiento continuo que realizan los productores en las parcelas de cultivo de banano en la región.

En la Figura 17 se tiene que el promedio considerado bueno para el K estaba entre 0,8 y 1,4 cmol_c de K/kg de suelo. Valores cercanos a 1,1 cmol_c de k/kg tendrían el índice muy cercano a 1. En las áreas de alta productividad se encontró un promedio de 1,12 y en las de baja 0,95; sin embargo, en ambas zonas de las fincas fueron determinados valores máximos muy por arriba de la media como se muestra en las cajas dispersantes de la Figura 17.

La planta de banano es altamente demandante de este nutriente por lo que aun a niveles de contenido muy superiores a las necesidades reales del cultivo, se le atribuyó un índice de 1 pues en las condiciones del trópico húmedo, donde se localizan estos suelos, es muy común que ocurra lixiviación y pérdida de este nutriente.

	min	Máx.
Bueno	20,0	35,0
Medio	10,0	20,0
Malo	<10,0	

Tipo curva	media	m	b
Logística decreciente	15,0	0,80	-6,55

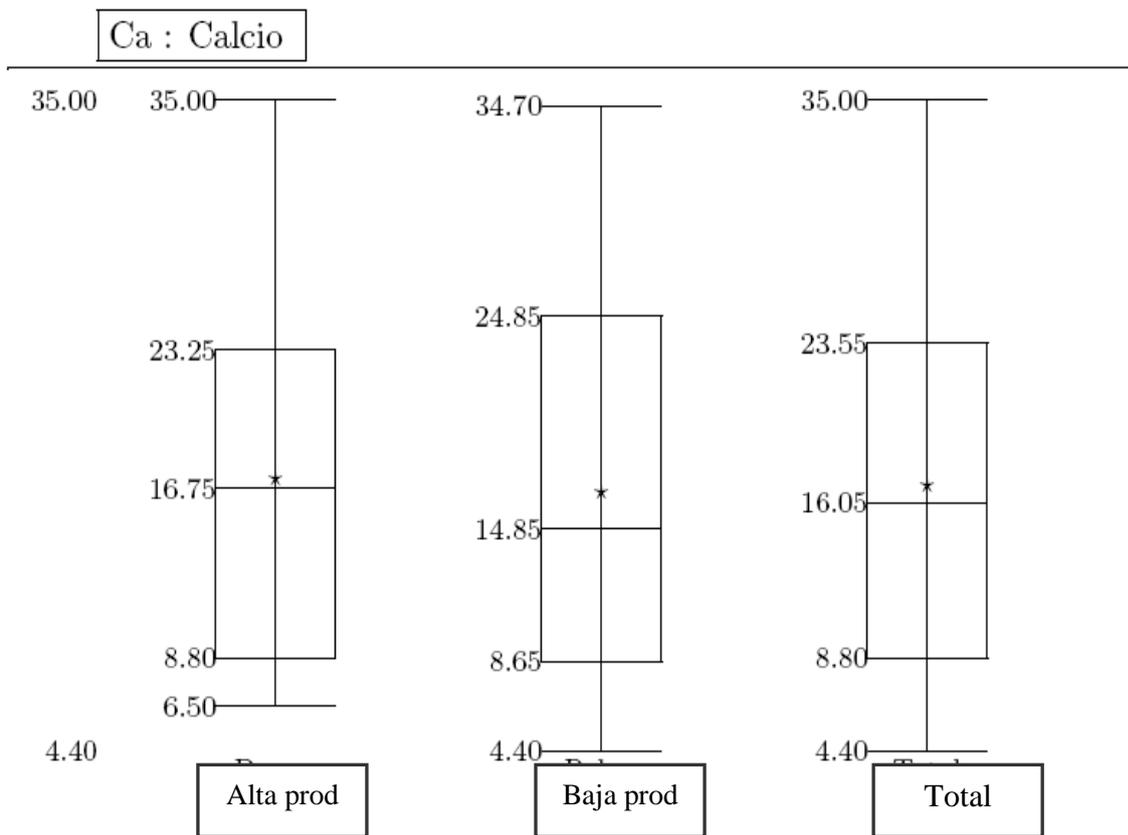
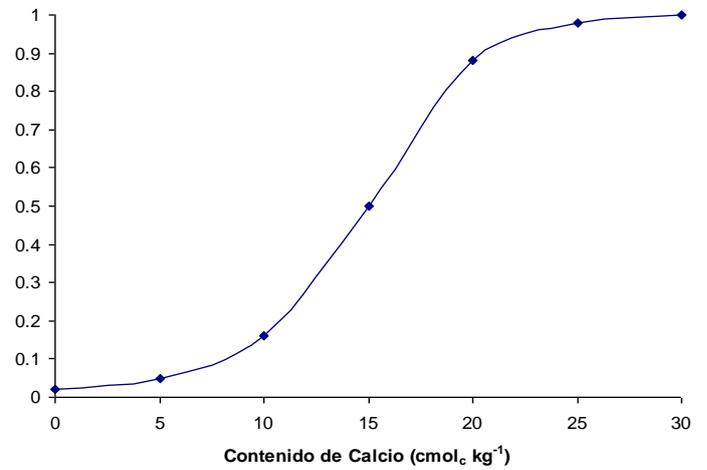


Figura 16. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador calcio

	min	máx.
Bueno	0,8	1,4

Tipo curva	media	m	b
Logística creciente	1,1	122,37	-3,46

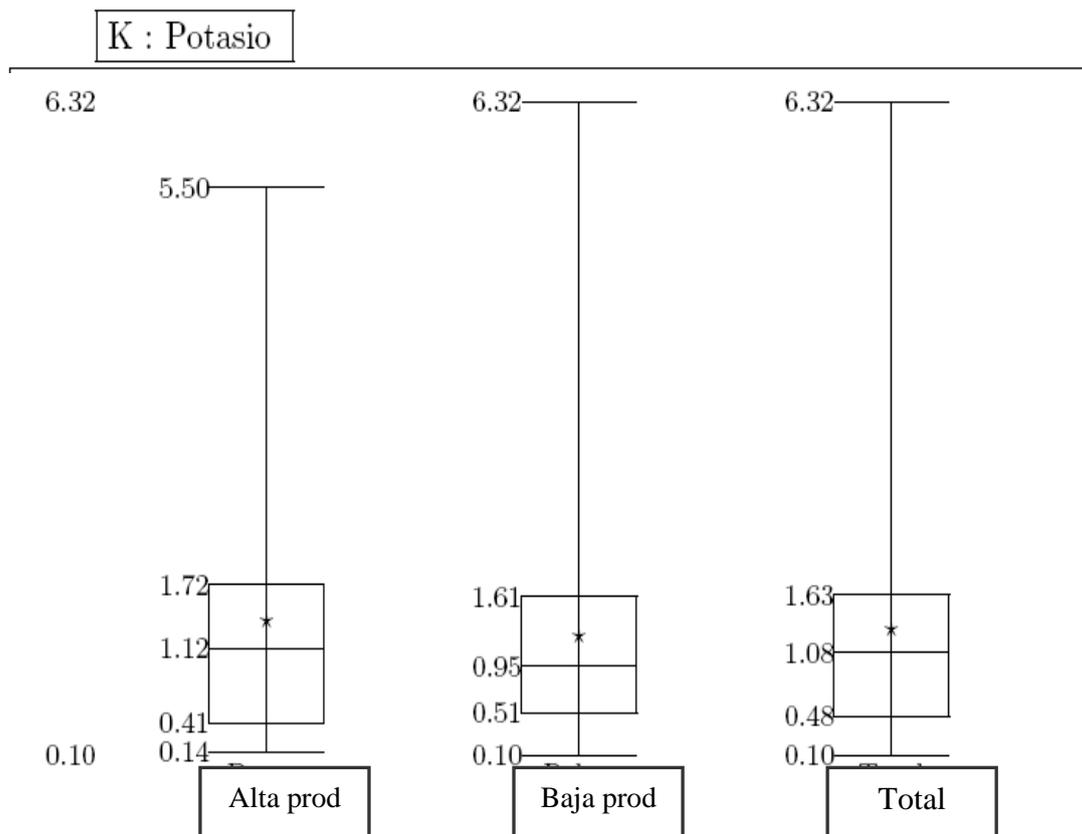
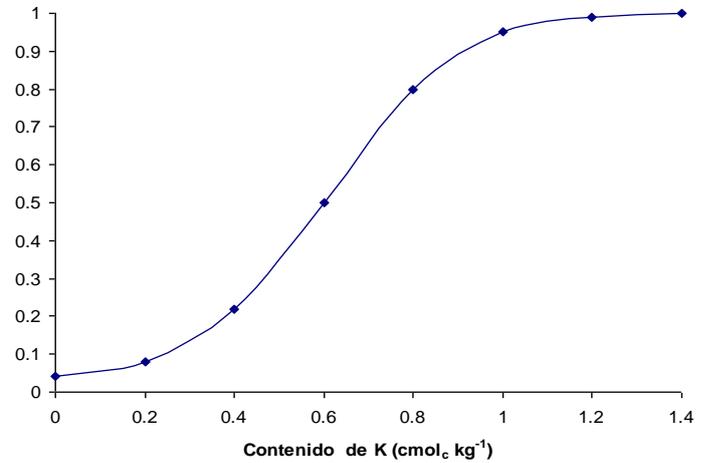


Figura 17. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador potasio

Bueno	>2,5	
regular	1,5	2,5
Malo	0,0	1,5

Tipo curva	media	m	b
Logística creciente	2,0	3,03	-6,07

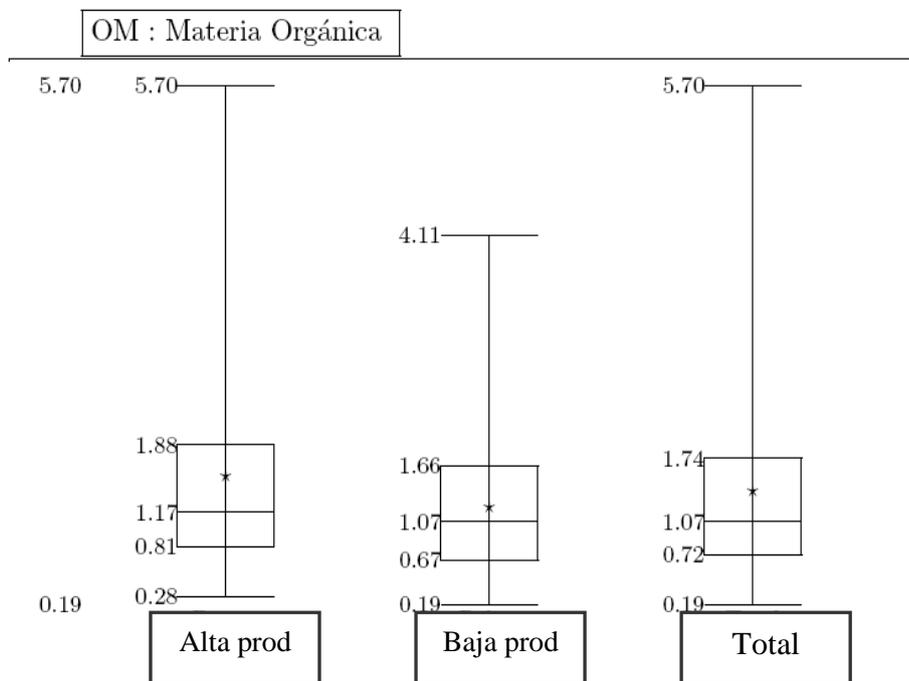
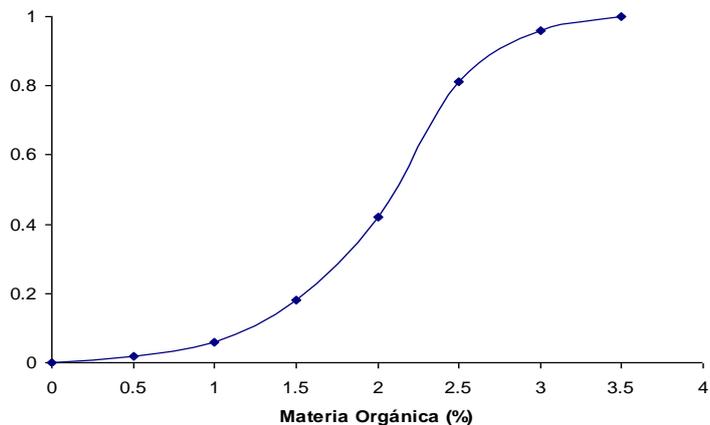


Figura 18. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador materia orgánica

La Figura 18 indica que para la materia orgánica el tipo de curva encontrada fue logística creciente, considerando como promedios buenos contenidos por arriba de 2,5 % de materia orgánica en las fincas. Las cajas dispersantes se observa que en ambas áreas de las fincas los promedios fueron bajos, obteniendo bajos índices con respecto a este indicador.

	min	máx.
Bueno	500	700
Medio	200	500
Malo	200	

Tipo curva	media	m	b
Logística creciente	350,0	0,01	-3,54

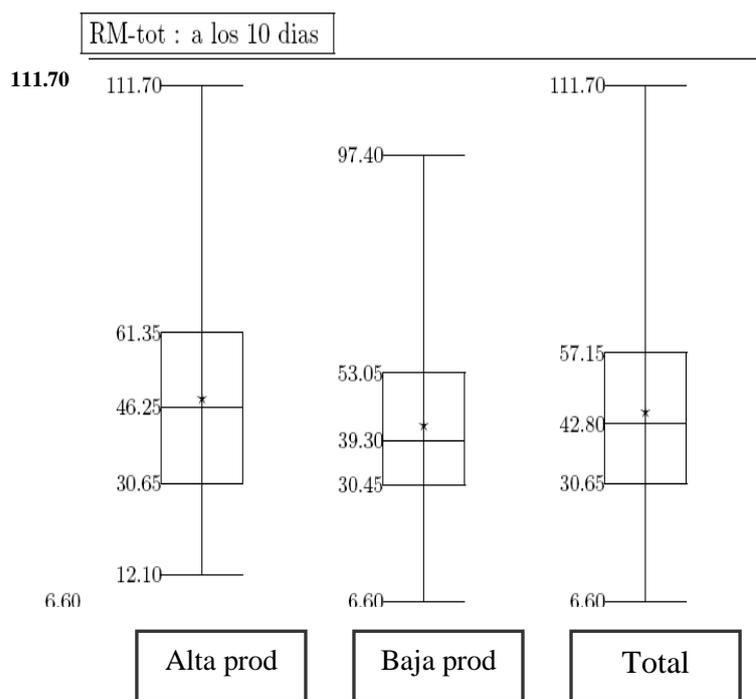
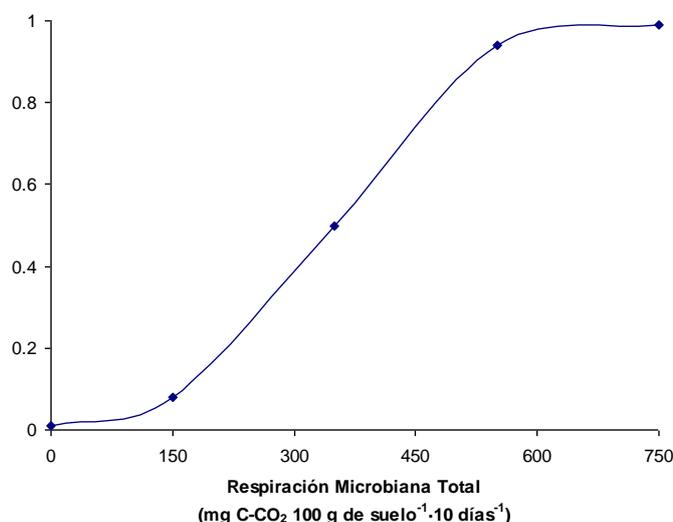


Figura 19. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador respiración microbiana total

Para la respiración microbiana total se encontró una curva tipo logística creciente. El promedio utilizado fue de 500 a 700 mg de CO₂/100 g de suelo. Se observa en la Figura 19 en ambas zonas de las fincas, de alta y baja productividad, el promedio de respiración microbiana fue muy bajo, por lo tanto, los índices para este indicador fueron muy cercanos a 0.

Tipo curva	media	m	b
Campana	0,6	298,75	1,46

	min	máx.
Bueno	0,4	0,8

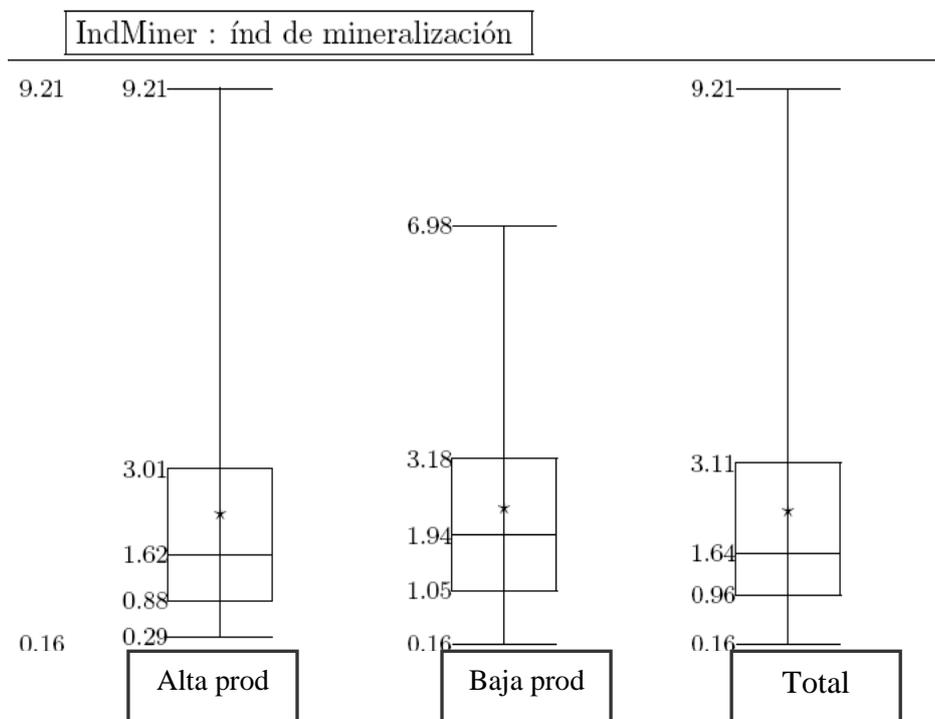
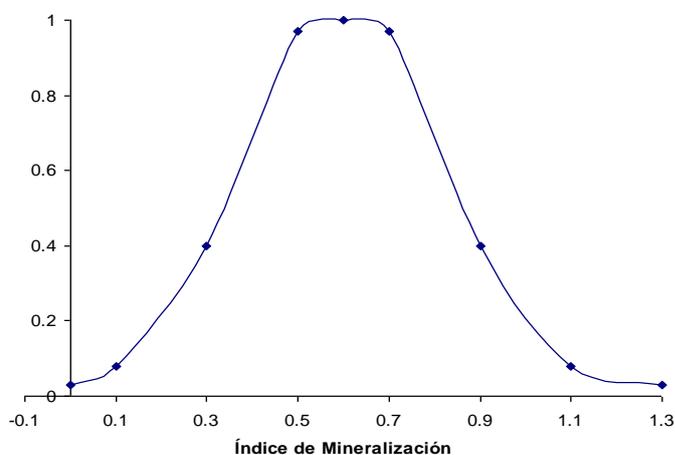


Figura 20. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador índice de mineralización

Para el indicador índice de mineralización se utilizó un intervalo comprendido entre 0,4 y 0,8. Como se observa en la Figura 20 la curva obtenida fue tipo campana considerando una media de 0,6 como muy bueno. En las cajas dispersantes se verifica que en ambas áreas de las fincas los promedios fueron

mayores que la media considerada buena, esto indica que hay una rápida mineralización de la materia orgánica en estos suelos, poco sustrato para la población microbiana presente, dificultando su sustento.

	min	máx.
regular	90	120

Tipo curva	media	m	b
Logística creciente	105,0	0,10	-10,62

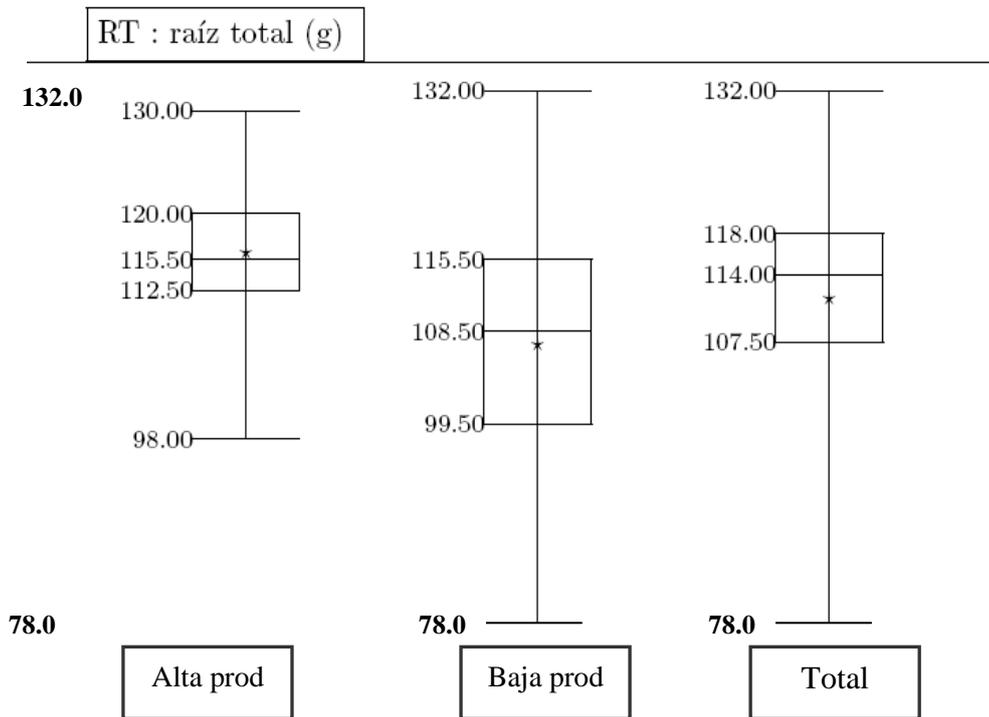
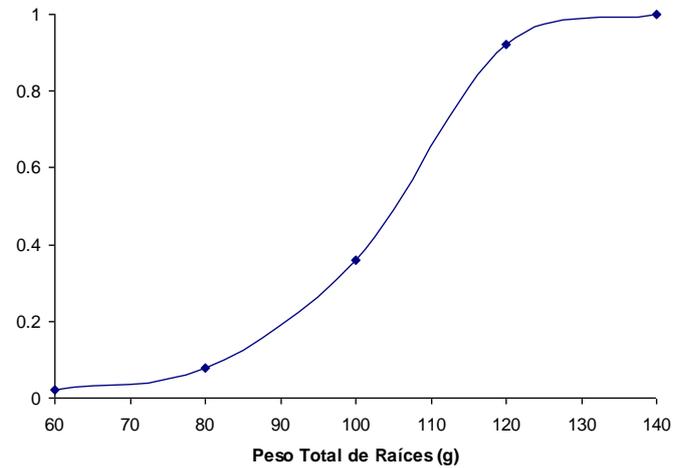


Figura 21. Curva obtenida y análisis discriminante para el indicador peso total de raíces

En la Figura 21 se muestra la curva tipo logística creciente obtenida para el indicador peso total de raíces. Este es un indicador muy relacionado con el vigor y la sanidad del cultivo. Un promedio entre 90 y 120g fue considerado bueno. Los promedios del área de alta productividad fueron superiores a los del área de baja productividad de las fincas, aunque se observó una menor dispersión, como se muestra en las cajas dispersantes. Consecuentemente, para este indicador los mejores índices cercanos a 1 se obtuvieron en el área de alta productividad.

4.4.3- Aplicación del índice de calidad

La ecuación para el cálculo del índice de calidad de suelos bananeros de Panamá quedó de la siguiente forma:

$$\text{Índice} = \sum_{i=1}^8 \text{peso}_i f_i(x_i)$$

donde:

- peso_i es el peso del indicador i
- f_i es la curva de respuesta que corresponde al indicador i
- x_i es el valor del indicador i del lugar que se quiere evaluar.

Para aplicar la ecuación propuesta para el cálculo de los índices, se utilizaron los valores de los 8 indicadores del MDS, con los pesos respectivos o contribución relativa de cada uno y con las curvas de respuesta. Se calculó la respuesta para cada indicador, se multiplicó por el peso y se hizo la suma del total. Se obtuvo un valor entre 0 y 1, que indica un mejor comportamiento cuanto más cercano a 1 sea este índice.

En el Cuadro 22 se puede ver un resumen de los promedios encontrados para el área de alta y baja productividad de cada finca involucrada en el estudio. Se observó una gran variabilidad entre los resultados y no se notó una tendencia clara de cual área presentó mejores medias que la otra, sin embargo, luego de aplicada la ecuación del índice de calidad para suelos bananeros de Panamá a estas medias y al ser ponderadas de acuerdo al peso que representaba cada indicador en el desarrollo del índice, se realizó la sumatoria final de las

respuestas de los 8 indicadores calculados en cada área de estas fincas, obteniéndose el índice global de cada una de estas (Cuadro 23).

El cálculo de las curvas de respuesta se realizó basado en los intervalos de nutrientes recomendados por el Laboratorio de Suelos del IDIAP para los suelos de Panamá (Name y Cordero, 1987). Por ejemplo, según estos niveles, los valores recomendados de potasio intercambiable en el suelo estarían entre 0,8 y 1,4 cmol/kg de suelo. Se tomó como media la cantidad de 1,1 cmol/kg para los suelos bananeros.

Como se observa en el Cuadro 23, en general, se obtuvieron mejores índices de calidad en las áreas de alta que en las de baja productividad, en la mayoría de las fincas, sin embargo, hubo excepciones, en algunas fincas como Jagua y Javillo, donde las áreas de baja productividad resultaron con índices generales de calidad del suelo más altos que en las de alta productividad. Las áreas de baja productividad de estas fincas presentaron mejor índice del contenido de potasio, esto es, muy cercano a 1 y lo contrario, las áreas de alta productividad tenían un índice más bajo ya que presentaban un nivel menor de potasio en el suelo. Igualmente, las áreas de baja productividad de estas fincas mostraron mejores respuestas de pH, Ca, y MO que las de alta productividad. Esto contribuyó de manera efectiva a que las áreas malas presentaran mayor índice general de calidad que las áreas buenas en estas fincas.

En el área de alta productividad, entre las fincas independientes fue Santa Cecilia la que obtuvo el mejor índice y Mango y Palo Blanco entre las pertenecientes a COOSEMUPAR. Las fincas con el peor índice en esta área fueron Los Ángeles, San Antonio, Margarita y Javillo. En cuanto al área de baja productividad, Jagua destacó con el mejor índice. También obtuvieron elevada respuesta Balsas entre las fincas independientes y Palo Blanco y Caoba entre las de COOSEMUPAR, mientras que Los Ángeles, San Antonio y Margarita fueron las que obtuvieron los índices más bajos (Cuadro 23)

El contenido de potasio, calcio, materia orgánica, la respiración microbiana y el índice de mineralización, fueron los indicadores que más problemas presentaron en estas fincas. Estos mismos índices se pueden representar gráficamente mediante gráficas tipo radar. A continuación se presenta una serie de cuadros y gráficas representando los índices encontrados para cada indicador del MDS en cada área de alta y baja productividad de cada finca.

Cuadro 22. Promedios obtenidos para los indicadores en cada área de alta y baja productividad de las fincas bananeras

Finca	Área	Medias							
		Arena (%)	pH (1:2,5)	Ca (cmol _c /kg)	K (cmol _c /kg)	MO (%)	RM (mg CO ₂ /100g · 10 días)	Ind Min	RT (g)
LA	Alta	38,0 (3,4) ab	6,05(6,7) a	11,10(4,4) c	0,62(2,7) cd	0,92(1,2) cd	41,30(6,7) bc	2,2 (3,3) c	124,30(8,9) a
	Baja	31,0 (5,2) b	5,13(4,7) c	9,15(6,7) cd	0,32(3,3) d	0,73(0,9) cd	46,20(7,7) bc	3,0 (4,1) b	101,00(9,9) ab
SA	Alta	39,50 (5,3) ab	5,65(6,8) ab	7,20(8,2) cd	1,69(2,1) bc	0,55(0,7) d	55,08(6,3) bc	4,3 (5,2) a	112,8(8,9) ab
	Baja	57,50 (3,4) a	5,83(6,7) ab	6,23(7,7) cd	0,62(1,7) cd	0,66(0,9) d	43,75(7,8) bc	2,9 (5,4) bc	100,3(8,6) ab
SC	Alta	37,50 (6,1) ab	5,60(8,3) b	8,23(6,4) cd	0,30(1,3) d	4,62(2,0) a	61,58(8,4) ab	0,7 (3,2) d	117,50(9,2) ab
	Baja	50,50 (3,7) a	5,70(7,7) ab	7,40(5,7) cd	0,86(1,6) cd	2,18(1,7) bc	43,03(6,7) bc	1,0 (2,2) d	100,8(9,7) ab
MR	Alta	43,50(5,6) ab	5,33(5,6) ab	8,88(5,5) cd	0,45(1,1) d	0,92(1,1) cd	87,83(7,7) a	4,6 (3,1) a	115,8(6,7) ab
	Baja	47,50 (4,3) ab	6,10(4,7) a	9,63(5,6) cd	0,30(0,8) d	0,76(1,0) cd	77,28(9,7) ab	4,4 (3,2) a	94,50(7,8) ab
BL	Alta	50,00 (2,5) a	5,30(6,8) ab	28,73(7,8) a	1,63(1,4) cd	1,78(1,2) c	67,75(8,7) ab	1,7 (2,1) cd	110,8(9,1) ab
	Baja	47,50(3,2) ab	5,70(7,4) ab	23,25(5,8) b	1,55(1,3) c	0,77(0,5) cd	55,03(7,7) bc	3,2 (2,2) b	98,5(9,3) ab
HG	Alta	41,00 (2,7)ab	6,45(4,8) a	22,78(3,7) b	1,82(1,7) bc	0,85(0,9) cd	30,75(5,6) c	1,6 (2,1) cd	117,3(9,3) ab
	Baja	34,50 (3,3) b	5,60(4,3) b	21,68(6,9) b	0,98(1,0) cd	0,72(0,5) cd	21,45(4,4) cd	1,4 (2,3) cd	122,3(8,6) a
MG	Alta	45,00 (2,8)ab	5,70(4,6) ab	31,10(4,7) a	2,10(2,1) b	1,55(1,3) c	21,55(3,7) cd	0,7 (2,5) d	117,80(9,5) ab
	Baja	43,00 (4,2)ab	5,35(5,7) ab	32,23(5,8) a	2,84(2,1) ab	0,74(1,0) cd	26,25(4,5) cd	1,7 (1,7) cd	118,50(8,9) ab
PB	Alta	38,00 (5,7)ab	6,28(6,3) a	20,90(7,4) b	3,70(2,6) a	1,89(1,1) c	52,98(6,7) bc	1,3 (2,3) cd	115,80(9,4) ab
	Baja	42,50 (4,8)ab	5,80(4,4) ab	21,85(5,7) b	0,69(0,7) cd	1,70(1,1) c	43,38(5,3) bc	1,2 (2,2) cd	108,30(8,6) ab
JG	Alta	37,50 (3,5)ab	5,48(5,7) b	21,70(5,8) b	0,85(0,8) cd	1,34(1,7) c	50,88(4,5) bc	1,8 (3,2) cd	115,00(8,8) ab
	Baja	39,00 (3,7)ab	5,95(7,5) ab	23,48(4,4) b	2,71(1,6) ab	2,08(1,3) bc	42,33(4,8) bc	1,1 (3,3) d	112,3(9,5) ab
JV	Alta	43,50(3,39)ab	4,43(4,9) d	13,31(5,7) c	0,71(0,6) cd	1,37(0,9) c	38,10(5,7) c	1,3 (2,7) cd	116,00(9,9) ab
	Baja	46,00 (5,1)ab	5,05(5,7) c	15,70(5,9) c	1,23(1,8) c	1,53(1,2) c	47,08(6,9) cd	1,5 (2,3) cd	111,80(7,7) ab
CA	Alta	38,00 (3,6)ab	5,13(4,7) c	15,98(5,8) c	1,35(1,5) c	1,43(1,1) c	20,55(5,6) d	0,7 (2,8) d	115,00(7,9) ab
	Baja	48,50 (3,7)ab	4,68(5,2) c	11,58(4,3) c	1,55(1,2) c	1,66(1,4) c	22,65(4,7) cd	0,6 (3,4) d	111,30(7,4) ab

Nivel de significación por Tukey, $\alpha = 0,05$. Medias seguidas de la misma letra no muestran diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro 23. Índices de calidad de suelos determinados para cada área de alta y baja productividad en las fincas bananeras

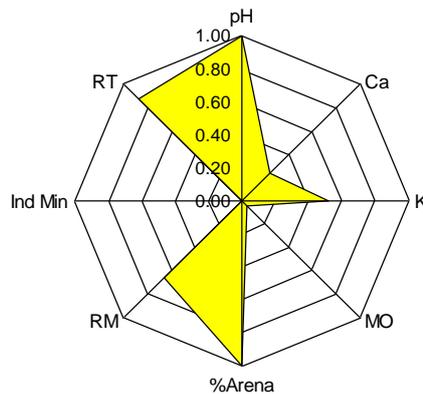
Finca	Índice	
	Área Alta Prod.	Área Baja Prod.
LA	0,541 c	0,445 d
SA	0,581 c	0,472 cd
SC	0,757 a	0,603 b
MR	0,528 c	0,465 cd
BL	0,702 ab	0,652 ab
HG	0,638 b	0,609 b
MG	0,784 a	0,637 b
PB	0,734 a	0,645 ab
JG	0,680 ab	0,723 a
JV	0,525 c	0,635 b
CA	0,691 ab	0,667 ab

Nivel de significación por Tukey, alfa = 0,05. Medias seguidas de la misma letra no muestran diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro 24. Promedios, respuestas e índices encontrados en la finca Los Ángeles

Indicador	Medias		Respuestas	
	Alta Prod.	Baja Prod.	Alta Prod.	Baja Prod.
pH (agua 1:2,5)	6,05	5,13	1,00	0,96
Ca (cmol _c /kg)	11,10	9,15	0,23	0,14
K (cmol _c /kg)	0,62	0,32	0,52	0,16
MO (%)	0,92	0,73	0,04	0,02
Arena (%)	38,00	31,00	1,00	1,00
RM (mg C-CO ₂ /100g · 10 días)	41,30	46,20	0,65	0,76
Ind Min	2,22	3,00	0,00	0,00
RT (g)	124,3	101,0	0,87	0,40
Circ.madre (cm)	75,99	66,51		
Alt Hijo (m)	2,15	1,73		
# manos	7,65	6,06		
		Índice	0,541	0,445

Alta Productividad



Baja Productividad

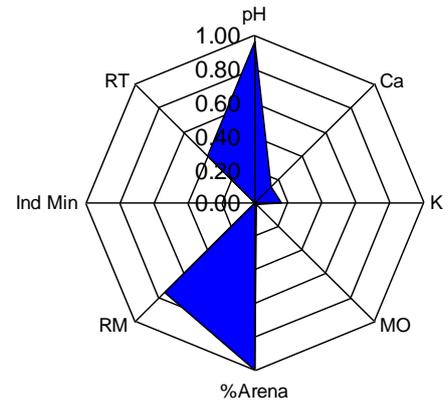


Figura 22. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Los Ángeles

El área de alta productividad tuvo un índice superior al área de baja productividad en la finca Los Ángeles. Las mejores respuestas fueron obtenidas para los indicadores pH; % arena y RT. Se obtuvieron bajos índices para Ca; K; MO; RM e Ind Min (Cuadro 24, Figura 22).

Las bajas respuestas para algunos indicadores están muy relacionadas con el bajo contenido de materia orgánica y por el bajo índice de mineralización que obviamente se refleja en una baja respiración microbiana. Los bajos niveles de Ca y K podrían estar relacionados con el alto porcentaje de arena encontrado en los diferentes horizontes de los perfiles de los suelos estudiados en esta finca (Cuadros 35 y 36) y con prácticas de fertilización inadecuadas.

Las buenas respuestas en indicadores como pH; RT y % arena están muy relacionados con el con características físicas favorables presentes en el perfil de este suelo, lo que facilita la penetración de las raíces y ha ayudado a que esta finca mantenga excelentes niveles de productividad (Anexo 2).

En finca San Antonio también se encontró un mejor índice general en el área de alta que en la de baja productividad de la finca. Esto está muy relacionado con el elevado contenido de potasio en el área de alta productividad (Cuadro 25), consecuentemente, esta área de la finca obtuvo un alto índice para este indicador.

Contrariamente, se encontraron muy bajos índices para los indicadores Ca; MO; Ind Min y RT, en ambas áreas de producción.

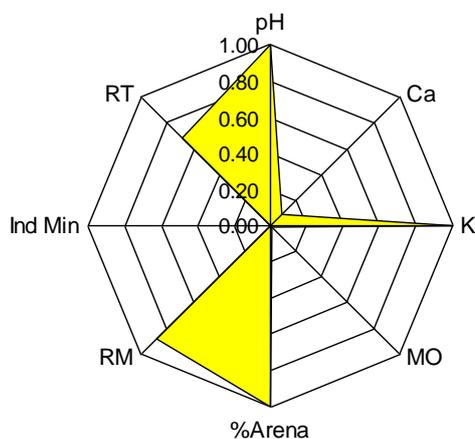
En la Figura 23 se observa que el pH no representó ningún problema y está dentro de los promedios recomendados como de buena calidad para este suelo. Se nota, sin embargo, que la respuesta para Ind Min es 0,0; pues la media estaba muy por arriba de lo recomendado, y esto se relaciona directamente con la RM que presentó elevado índice en esta finca, consecuentemente, todo el poco material orgánico presente en el suelo era rápidamente mineralizado por los microorganismos ocasionando bajos índices para MO.

El nivel de Ca aparece muy bajo en el perfil debido en parte a que predomina en la finca un suelo bastante arenoso lo que aunado con el alto volumen de lluvias en la región provoca su rápida lixiviación.

Cuadro 25. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca San Antonio

Indicador	Medias		Respuestas	
	Alta Prod.	Baja Prod.	Alta Prod.	Baja Prod.
pH (agua 1:2,5)	5,65	5,83	1,00	1,00
Ca (cmol _c /kg)	7,20	6,23	0,09	0,07
K (cmol _c /kg)	1,69	0,62	1,00	0,51
MO (%)	0,55	0,66	0,01	0,02
Arena (%)	39,50	57,50	1,00	1,00
RM (mg C-CO ₂ /100g · 10 días)	55,08	43,75	0,88	0,71
Ind Min	4,32	2,90	0,00	0,00
RT (g)	112,8	100,3	0,68	0,38
Circ.madre (cm)	76,26	62,63		
Alt Hijo (m)	2,18	1,69		
# manos	7,65	5,90		
		Índice	0,581	0,472

Alta Productividad



Baja Productividad

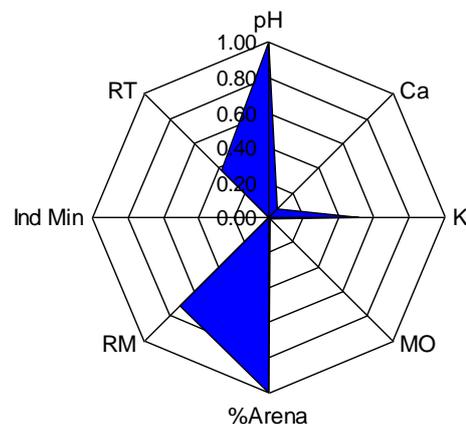


Figura 23. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca San Antonio

Cuadro 26. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Santa Cecilia

Indicador	Medias		Respuestas	
	Alta Prod.	Baja Prod.	Alta Prod.	Baja Prod.
pH (agua 1:2,5)	5,60	5,70	1,00	1,00
Ca (cmol _c /kg)	8,23	7,40	0,11	0,09
K (cmol _c /kg)	0,30	0,86	0,16	0,84
MO (%)	4,62	2,18	1,00	0,63
Arena (%)	37,50	50,50	1,00	1,00
RM (mg C-CO ₂ /100g · 10 días)	61,58	43,03	0,94	0,69
Ind Min	0,70	1,00	1,00	0,20
RT (g)	117,5	100,8	0,78	0,39
Circ.madre (cm)	70,10	61,14		
Alt Hijo (m)	1,78	1,72		
# manos	6,40	5,38		
		Índice	0,757	0,603

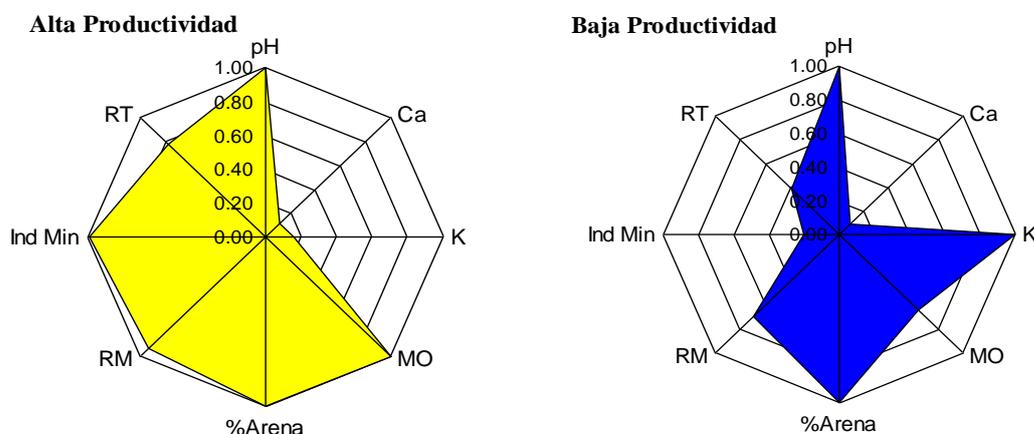


Figura 24. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Santa Cecilia

Santa Cecilia fue la finca independiente que obtuvo los mejores índices en el área de alta productividad de la finca (Cuadro 26). Este buen resultado se debe en gran parte a su alto contenido de materia orgánica y elevada respiración microbiana. Sin embargo, también se obtuvieron malos resultados en esta finca para algunos indicadores, entre estos tenemos: muy bajo contenido de Ca y K en el área de alta productividad y contenido de Ca; MO; Ind Min y RT en el área de baja productividad de la finca (Figura 24).

Cuadro 27. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Margarita

Indicador	Medias		Respuestas	
	Alta Prod.	Baja Prod.	Alta Prod.	Baja Prod.
pH (agua 1:2,5)	5,33	6,10	0,99	1,00
Ca (cmol _c /kg)	8,88	9,63	0,13	0,16
K (cmol _c /kg)	0,45	0,30	0,27	0,16
MO (%)	0,92	0,76	0,04	0,02
Arena (%)	43,50	47,50	1,00	1,00
RM (mg C-CO ₂ /100g · 10 días)	87,83	77,28	1,00	0,99
Ind Min	4,62	4,41	0,00	0,00
RT (g)	115,8	94,5	0,74	0,25
Circ.madre (cm)	65,75	57,86		
Alt Hijo (m)	1,81	1,45		
# manos	5,04	4,46		
		Índice	0,528	0,465

Se observa en el Cuadro 27 que en la finca Margarita se obtuvieron muy bajos índices en ambas áreas de producción. Esta finca se caracteriza por tener suelos muy arenosos que junto con la poca fertilización que realiza han llevado a que el suelo contenga bajos niveles de Ca y K.

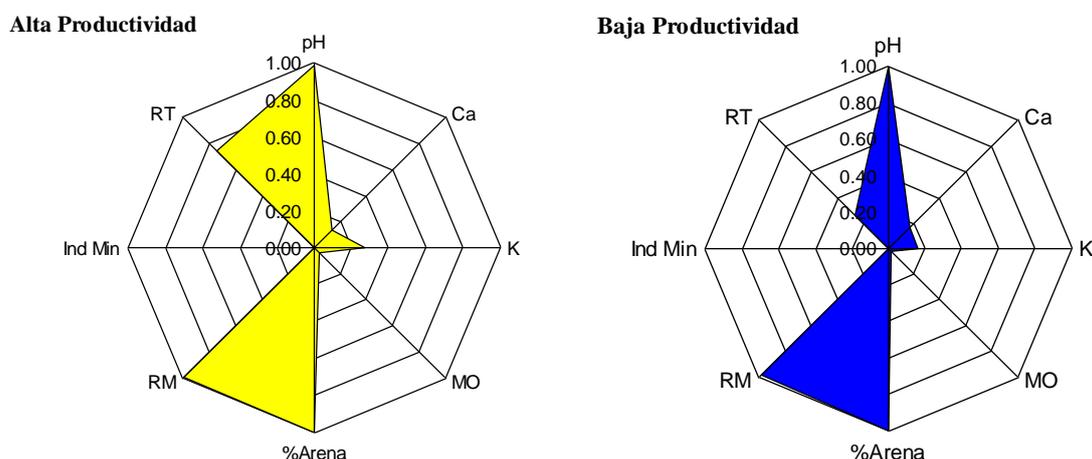


Figura 25. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Margarita

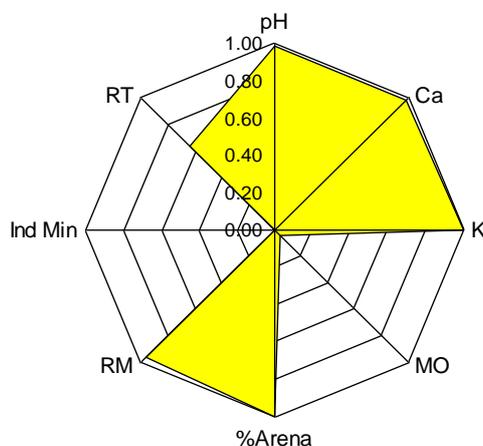
Igualmente, se observa en la Figura 25 que la finca tiene un Ind Min demasiado elevado ocasionando que haya una rápida mineralización de la materia orgánica. Aunque esta finca recicla parte de los desechos orgánicos de la producción del banano y los aplica al suelo en forma compostada, esto simplemente ha contribuido al desarrollo de una mayor actividad microbiana, no así, al aumento en el contenido de materia orgánica del suelo, una posible causa sería la baja relación C/N de la fuente.

En el Cuadro 28 se observa que la finca Balsas obtuvo mejor índice general en el área de alta que en el de baja productividad. Sin embargo, algunos indicadores como contenido de Ind Min, MO y RT obtuvieron baja puntuación. En el caso del K su nivel se considera adecuado según los promedios recomendados, por esta razón en la curva correspondiente obtiene índices de 1. El Ind Min encontrado fue muy alto lo que conlleva un rápido consumo del poco material orgánico disponible. Igualmente, se observa también la presencia de capas arenosas en el perfil de este suelo.

Cuadro 28. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Balsas

Indicador	Medias		Respuestas	
	Alta Prod.	Baja Prod.	Alta Prod.	Baja Prod.
pH (agua 1:2,5)	5,30	5,70	0,98	1,00
Ca (cmol _c /kg)	28,73	23,25	0,98	0,92
K (cmol _c /kg)	1,63	1,55	1,00	1,00
MO (%)	1,78	0,77	0,04	0,02
Arena (%)	50,00	47,50	1,00	1,00
RM (mg C-CO ₂ /100g · 10 días)	67,75	55,03	0,96	0,88
Ind Min	1,74	3,24	0,00	0,00
RT (g)	110,8	98,5	0,64	0,34
Circ.madre (cm)	68,63	62,70		
Alt Hijo (m)	1,60	1,57		
# manos	6,86	5,96		
		Índice	0,702	0,652

Alta Productividad



Baja Productividad

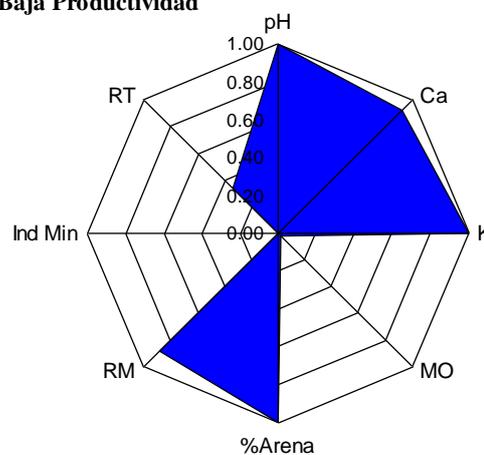


Figura 26. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Balsas

En la Figura 26 se muestra que el nivel de Ca encontrado en finca Balsas estaba de acuerdo con los niveles promedio recomendados. Esta finca realiza encalamientos anuales, aplicando una tonelada de CaCO₃, lo que ha ayudado a elevar el nivel de Ca presente, sin embargo, el suelo de Balsas no presentó graves problemas de acidez ni tampoco elevada saturación de Al. Se debe tener cuidado

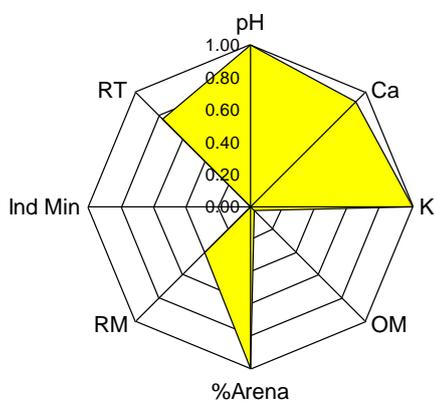
con la aplicación continua de CaCO_3 pues podría ocasionar desbalances en las relaciones catiónicas del suelo, afectando la absorción de Ca, Mg y K por las raíces de las plantas.

El bajo índice obtenido por el indicador RT puede estar indicando problemas de compactación del suelo en los horizontes internos de esta finca, dificultando el desarrollo radicular y la penetración de las raíces en el perfil. Al igual que en finca Margarita, Balsas presentó elevados niveles de RM indicando que existe una buena actividad microbiana en los suelos pero bajo nivel de sustrato para su sostenibilidad.

Cuadro 29. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Higuitos

Indicador	Medias		Respuestas	
	Alta Prod.	Baja Prod.	Alta Prod.	Baja Prod.
pH (agua 1:2,5)	6,45	5,60	1,00	1,00
Ca (cmol _c /kg)	22,78	21,68	0,91	0,88
K (cmol _c /kg)	1,82	0,98	1,00	0,92
MO (%)	0,85	0,72	0,03	0,02
Arena (%)	41,00	34,50	1,00	1,00
RM (mg C-CO ₂ /100g · 10 días)	30,75	21,45	0,39	0,20
Ind Min	1,62	1,41	0,00	0,00
RT (g)	117,3	122,3	0,77	0,85
Circ.madre (cm)	74,94	68,01		
Alt Hijo (m)	2,13	1,85		
# manos	7,86	6,63		
		Índice	0,638	0,609

Alta Productividad



Baja Productividad

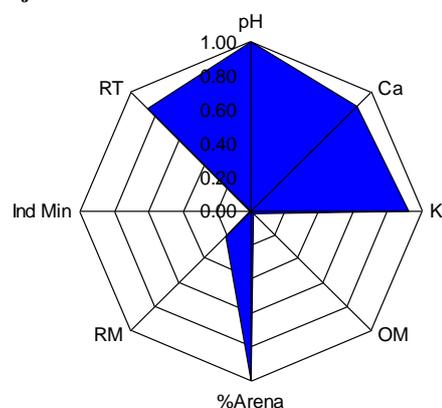


Figura 27. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Higuitos

La finca Higuitos obtuvo un índice general ligeramente superior en el área de alta comparada con la de baja productividad (Cuadro 29). Destacan los elevados niveles de Ca y Mg intercambiables en este suelo, reflejo de buenas prácticas de fertilización. Sin embargo, los niveles de MO son muy deficientes al igual que la RM.

En ambas áreas esta finca presentó muy malos índices para MO, Ind Min y RM. Por el contrario, obtuvo muy buenos índices cercanos a 1 para pH, Ca, K y RT, indicando con estos resultados la existencia de una buena estructura y pocos problemas de compactación del suelo (Figura 27).

Cuadro 30. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Mango

Indicador	Medias		Respuestas	
	Alta Prod.	Baja Prod.	Alta Prod.	Baja Prod.
pH (agua 1:2,5)	5,70	5,35	1,00	0,99
Ca (cmol _c /kg)	31,10	32,23	1,00	1,00
K (cmol _c /kg)	2,10	2,84	1,00	1,00
MO (%)	1,55	0,74	0,20	0,02
Arena (%)	45,00	43,00	1,00	1,00
RM (mg C-CO ₂ /100g · 10 días)	21,55	26,25	0,20	0,29
Ind Min	0,72	1,73	0,96	0,00
RT (g)	117,8	118,5	0,78	0,79
Circ.madre (cm)	75,40	71,45		
Alt Hijo (m)	1,93	1,70		
# manos	7,29	7,00		
		Índice	0,784	0,637

La finca Mango obtuvo un alto índice general en el área de buena productividad (Cuadro 30). Tenía excelentes niveles de pH, Ca y K en ambas áreas estudiadas, reflejando un buen manejo de la fertilización.

Esta finca tuvo un buen índice para el indicador RT, indicando que había un mayor desarrollo radicular, favorecido muy probablemente, por una buena estructura y un drenaje adecuado.

Se observa en la Figura 28 que en el área de alta productividad la finca Mango obtuvo un alto índice para el indicador Ind Min, que en esta área de la finca fue mucho más moderado y se presentó dentro de la media recomendada, a pesar de que el contenido de MO no fue muy elevado y que la RM aun no estaba dentro de los niveles recomendados, sugiriendo esto la necesidad de aumentar las aplicaciones de residuos orgánicos que sirvan como sustrato para el desarrollo de la vida microbiana en este suelo.

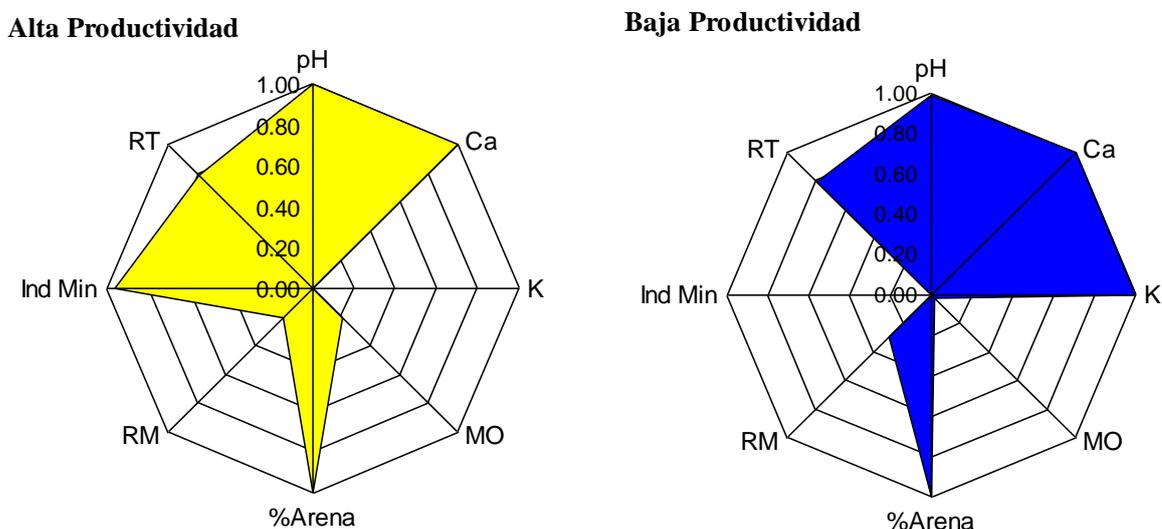


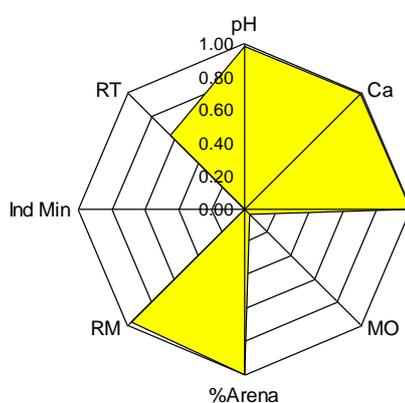
Figura 28. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Mango

En el Cuadro 31 se muestra que en la finca Palo Blanco se obtuvo mejor índice general en el área de alta que en la de baja productividad, especialmente, debido al indicador K que presentó niveles muy altos en el área buena, mientras que en el área de baja productividad el nivel se encontraba más alejado del valor medio recomendado. Esto tiene relación directa con las prácticas de fertilización empleadas y con las características del suelo predominantes (Cuadros).

Cuadro 31. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Palo Blanco

Indicador	Medias		Respuestas	
	Alta Prod.	Baja Prod.	Alta Prod.	Baja Prod.
pH (agua 1:2,5)	6,28	5,80	1,00	1,00
Ca (cmol _c /kg)	20,90	21,85	0,91	0,92
K (cmol _c /kg)	3,70	0,69	1,00	0,63
MO (%)	1,89	1,70	0,41	0,29
Arena (%)	38,00	42,50	1,00	1,00
RM (mg C-CO ₂ /100g · 10 días)	52,98	43,38	0,86	0,70
Ind Min	1,32	1,19	0,01	0,01
RT (g)	115,8	108,3	0,74	0,58
Circ.madre (cm)	75,99	66,51		
Alt Hijo (m)	2,15	1,73		
# manos	7,65	6,06		
		Índice	0,734	0,645

Alta Productividad



Baja Productividad

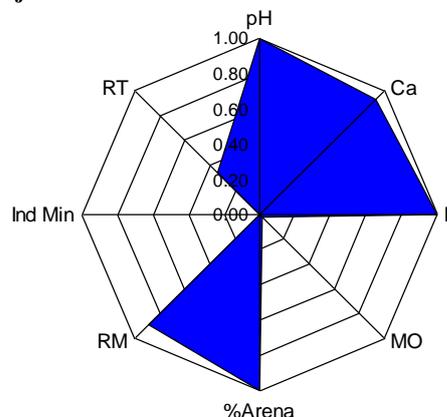


Figura 29. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Palo Blanco

En la Figura 29 se observa que en el área de alta productividad los indicadores biológicos tuvieron mejores índices que en el área de baja productividad. Había mayor contenido de MO y mejor RM. Sin embargo, el Ind Min obtuvo malos índices en ambas áreas, indicando que ocurre una mineralización muy rápida en este suelo.

El indicador RT fue mejor en el área de alta que en el de baja productividad, este es un indicador sumamente afectado por las prácticas de manejo y por las propiedades físicas del suelo. Igualmente, se puede apreciar en el Cuadro 31 que los indicadores de productividad (Circ. madre, alt. Hijo y # manos) también fueron muy superiores en el área de alta que en el de mala productividad, suponiendo que el mejor desarrollo del cultivo estaba muy relacionado con el desarrollo radicular de la planta.

La finca Jagua presentó buen contenido de Ca en ambas áreas. Con relación al indicador K se aprecia en el Cuadro 32 y en la Figura 30 que esta finca tuvo un índice menor en el área de alta productividad por tener niveles bajos que lo alejaban del valor medio recomendado para este nutriente en el suelo, sin embargo, en el área de baja productividad de la finca se encontraron cantidades consideradas elevadas para los suelos bananeros de Panamá.

El contenido de MO encontrado fue mayor en el área de baja que en el lado de alta productividad, pero el indicador RM obtuvo mejor índice en el área de alta productividad, posiblemente favorecida por una MO más joven y fácilmente digerible. Igualmente, el Ind Min fue muy bajo en ambas zonas, indicando tal vez, que hay un ritmo rápido de mineralización de la escasa materia orgánica que contiene el suelo.

Cuadro 32. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Jagua

Indicador	Medias		Respuestas	
	Alta Prod.	Baja Prod.	Alta Prod.	Baja Prod.
pH (agua 1:2,5)	5,48	5,95	1,00	1,00
Ca (cmol _c /kg)	21,70	23,48	0,91	0,93
K (cmol _c /kg)	0,85	2,71	0,84	1,00
MO (%)	1,34	2,08	0,12	0,56
Arena (%)	37,50	39,00	1,00	1,00
RM (mg C-CO ₂ /100g · 10 días)	50,88	42,33	0,83	0,68
Ind Min	1,83	1,14	0,00	0,01
RT (g)	115,0	112,3	0,73	0,67
Circ.madre (cm)	73,73	75,19		
Alt Hijo (m)	1,80	1,81		
# manos	6,78	6,76		
		Índice	0,680	0,723

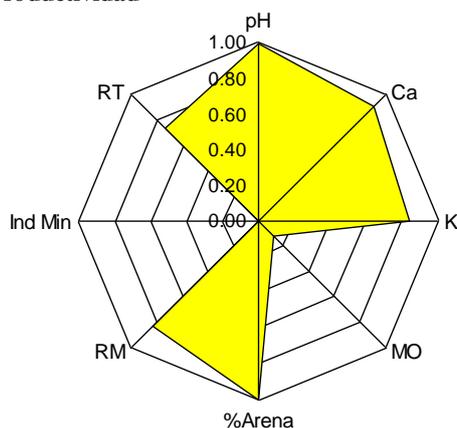
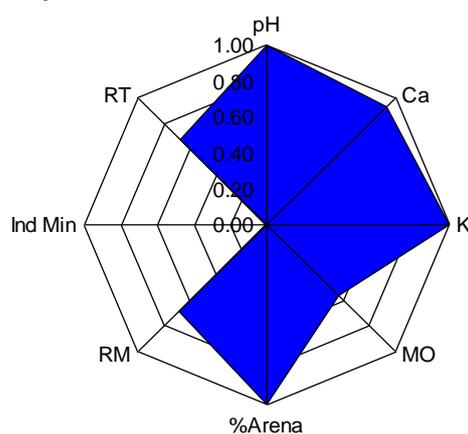
Alta Productividad**Baja Productividad**

Figura 30. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Jagua

Cuadro 33. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Javillo

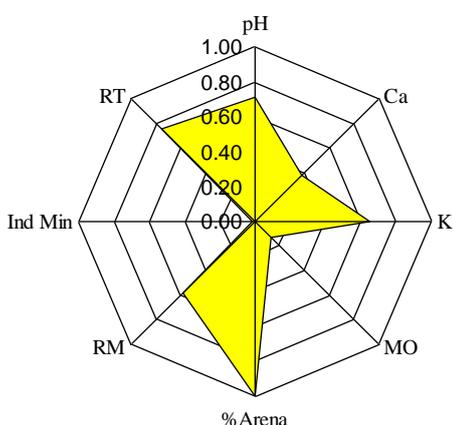
Indicador	Medias		Respuestas	
	Alta Prod.	Baja Prod.	Alta Prod.	Baja Prod.
pH (agua 1:2,5)	4,43	5,05	0,72	0,95
Ca (cmol _c /kg)	13,31	15,70	0,37	0,55
K (cmol _c /kg)	0,71	1,23	0,65	0,99
MO (%)	1,37	1,53	0,13	0,19
Arena (%)	43,50	46,00	1,00	1,00
RM (mg C-CO ₂ /100g · 10 días)	38,10	47,08	0,58	0,77
Ind Min	1,30	1,52	0,01	0,01
RT (g)	116,0	111,8	0,75	0,66
Circ.madre (cm)	70,58	68,06		
Alt Hijo (m)	1,77	1,72		
# manos	7,10	6,20		
		Índice	0,525	0,635

En el Cuadro 33 se nota claramente que en la finca Javillo se encontró el suelo con el pH más ácido de todas las áreas estudiadas, sin embargo aun así, con excepción de algunas áreas, no se encontraron problemas severos de saturación de aluminio (Anexos 19 y 20).

Los niveles de Ca encontrados estaban por debajo de la media recomendada indicando que en esta finca se podría mejorar el pH y neutralizar los efectos tóxicos del Al intercambiable en aquellas áreas de la finca que lo requieran realizando mayores aplicaciones de CaCO_3 .

En esta finca se encontraron bajos niveles de MO y del Ind Min. También se puede apreciar en el Cuadro 33 que los indicadores de productividad obtuvieron medias poco diferenciadas, solo el # manos fue más alto en el área de alta que en la de baja productividad. Estos resultados indican que prácticamente los productores no introducen practicas de manejo diferenciadas entre ambas áreas de producción.

Alta Productividad



Baja Productividad

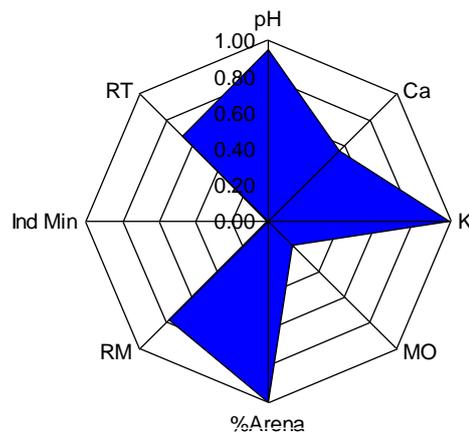


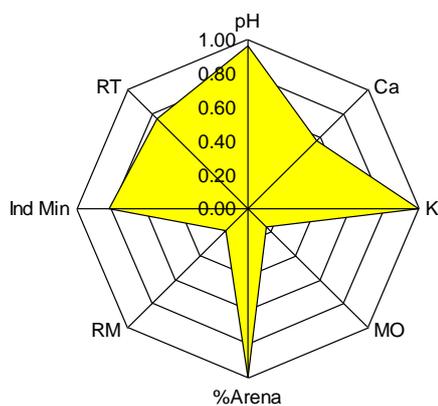
Figura 31. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Javillo

En la Figura 31 se muestra que en el área de baja productividad se encontró una buena respuesta de los niveles de K y esta fue menor en el área de alta productividad puesto que había un menor nivel de este nutriente en el suelo. En ambas áreas hubo un índice regular para RT.

Cuadro 34. Medias, respuestas e índices encontrados en la finca Caoba

Indicador	Medias		Respuestas	
	Alta Prod.	Baja Prod.	Alta Prod.	Baja Prod.
pH (agua 1:2,5)	5,13	4,68	0,96	0,83
Ca (cmol _c /kg)	15,98	11,58	0,57	0,26
K (cmol _c /kg)	1,35	1,55	1,00	1,00
MO (%)	1,43	1,66	0,15	0,26
Arena (%)	38,00	48,50	1,00	1,00
RM (mg C-CO ₂ /100g · 10 días)	20,55	22,65	0,19	0,22
Ind Min	0,72	0,63	0,81	1,00
RT (g)	116,0	111,8	0,75	0,66
Circ.madre (cm)	72,59	64,58		
Alt Hijo (m)	2,00	1,70		
# manos	6,91	6,31		
		Índice	0,691	0,667

Alta Productividad



Baja Productividad

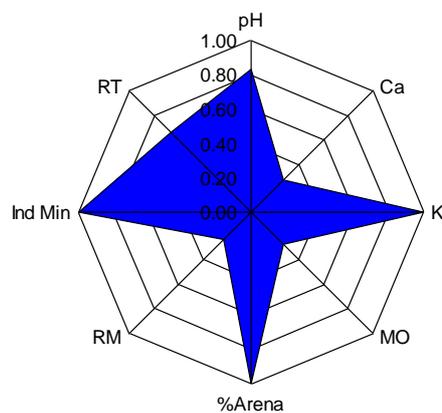


Figura 32. Representación gráfica de los índices obtenidos en finca Caoba

La finca Caoba también obtuvo promedios de pH más ácidos que el resto de las fincas bananeras. Según se observa en el Cuadro 34 los niveles de Ca fueron bajos pero los niveles de K encontrados fueron elevados muy próximos de los valores recomendados, obteniendo por ello alta respuesta para este indicador.

El índice general fue bastante similar en ambas áreas de la finca, sin embargo, los indicadores de productividad fueron mejores en el área de alta que en la de baja productividad.

Con relación a los indicadores biológicos, se puede apreciar en la Figura 32 que esta finca obtuvo muy buena respuesta para el indicador Ind Min, en cambio se encontró una baja respuesta para MO y RM. Este resultado podría ser debido a la influencia de otros factores como velocidad de infiltración, estructura del suelo, textura, densidad aparente que no forman parte del MDS pero que es muy probable que sí tengan mucha influencia sobre los factores químicos y biológicos de este suelo y también sobre la productividad del banano.

4.5- Influencia de las propiedades físicas del suelo sobre la productividad del banano

Por medio de correlaciones de Pearson se determinó la influencia que pudieran mostrar las principales propiedades físicas medidas sobre los indicadores de productividad seleccionados en esta investigación.

4.5.1- Análisis por finca

Para el cálculo de los índices de calidad se utilizó solamente el horizonte superficial del suelo ya que en casi todos los perfiles la mayoría de las raíces se encontraron entre los 0 y 40 cm, sin embargo, es necesario conocer el estado o la condición que presentan algunas propiedades del subsuelo para verificar su posible influencia sobre el crecimiento de las raíces y la productividad del banano. Por estudios realizados a lo largo de los años, se sabe que hay una estrecha relación entre las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, que aún no han sido bien comprendidas en su totalidad.

En el perfil de finca Los Ángeles se encontró que a pesar de que el suelo presenta una buena estructura de bloques sub angulares, hay una escasa presencia de raíces y una consistencia ligeramente dura en los horizontes interiores (Anexos 1a y 2a)

En el Cuadro 35 se muestran las propiedades físicas del perfil del suelo en ambas áreas productivas de la finca Los Ángeles. En el área de baja productividad la velocidad de infiltración (Vel Inf) se presentó sumamente lenta producto de una composición textural muy fina que trae como consecuencia una baja capacidad de aireación (Cap. de aireación) para este suelo. A pesar de estos datos desfavorables, no se encontró una alta densidad aparente (Dap) en ninguno de los horizontes, ni tampoco elevada resistencia a la penetración (RP) que limite en exceso el crecimiento de las raíces.

Cuadro 35. Propiedades físicas del suelo de la finca Los Ángeles

Alta Productividad					
Prof.	Resistencia a penetración	Textura	Infilt. Básica	Densidad Aparente	Cap. de Aireación
cm	Kg/cm ²		mm/h	Mg/m ³	%
0-18	0,94	Franco	67,2	1,20	43,0
18-41	1,01	Franco		1,12	
41-60	0,92	Franco		1,25	
60-90		Franco Arenoso			
90-120		Franco Arcillo Arenoso			
120-150		Franco Arcilloso			
Baja Productividad					
0-23	1,68	Franco Limoso	6,1	1,29	18,0
23-38	1,75	Franco Limoso		1,27	
38-60	1,55	Franco		1,17	
60-90		Franco Arcillo Arenoso			
90-120		Franco Arcillo Arenoso			
120-150		Franco Arenoso			

Por otra parte se ve que en el área de alta productividad las condiciones son un poco distintas predominando los suelos del tipo franco con una consistencia blanda y baja densidad aparente. Igualmente, se notó un mayor crecimiento radical lo que equivale a una mejor productividad del cultivo. En este perfil también se encontró menor cantidad de moteos indicando que hay mejor drenaje en estos suelos (Anexo 1a)

En el Cuadro 36 se presenta el resultado de las correlaciones obtenidas entre las principales propiedades físicas medidas y los índices de productividad determinados. Destacan la alta dependencia mostrada entre RT con RP; Alt hij

con RP; RT con Dap; Vel inf con Circ mad; RT con Alt hij.; Alt hij con Dap. Todas estas elevadas correlaciones muestran la gran influencia del drenaje, la estructura del suelo y el manejo, sobre los índices de productividad y la calidad del cultivo.

Las correlaciones más altas fueron Cap de aireación con RT, Vel inf con Circ mad y negativa entre Dap y Alt hij. Importante destacar que mientras mejor sea la capacidad de aireación del suelo mayor desarrollo tendrá la raíz como lo indica el Cuadro 36.

Cuadro 36. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Los Ángeles

Alta Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.784	1						
Cap de aireación	-0.381	0.212	1					
Vel Inf	0.588	-0.722	0.524	1				
RT	-0.344	0.172	0.999	0.557	1			
Circ mad	0.370	-0.529	0.717	0.969	0.745	1		
Alt hij	-0.939	0.863	0.676	0.274	0.646	0.029	1	
# man	0.034	-0.210	0.911	0.828	0.927	0.941	0.312	1
Baja Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.874	1						
Cap de aireación	-0.984	0.774	1					
Vel Inf	-0.074	0.421	0.249	1				
RT	0.845	0.998	0.737	0.471	1			
Circ mad	-0.008	0.479	0.185	0.998	0.528	1		
Alt hij	-0.922	0.994	0.839	0.319	0.986	0.380	1	
# man	0.359	0.768	0.189	0.904	0.803	0.930	0.693	1

Los valores en negrita representan las mejores correlaciones. Nivel de significación alfa= 0,05

Se encontró que hay presencia de estructuras poco favorables en los horizontes internos del área de baja productividad de la finca San Antonio, lo que está muy relacionado con la poca abundancia de raíces entre los 22 y 60 cm de profundidad (Anexo 3a). Esta estructura desfavorable, es consecuencia de la existencia de suelos compactados, lo que se puede comprobar a través de los

elevados valores encontrados para la resistencia a la penetración del suelo y la densidad aparente (Cuadro 37)

Cuadro 37. Propiedades físicas del suelo de la finca San Antonio

Alta Productividad					
Prof.	Resistencia a penetración	Textura	Infilt. Básica	Densidad Aparente	Cap. de Aireación
cm	Kg/cm ²		mm/h	Mg/m ³	%
0-22	2,21	Franco Arenoso	101,4	1,43	54,0
22-45	2,52	Arena Francosa		1,58	
45-60	2,48	Arena Francosa		1,56	
60-90		Arenoso			
90-120		Arenoso			
120-150		Arenoso			
Baja Productividad					
0-22	2,21	Franco Arenoso	80,0	1,43	34,0
22-45	2,52	Arena Francosa		1,58	
45-60	2,48	Arena Francosa		1,56	
60-90		Arenoso			
90-120		Arenoso			
120-150		Arenoso			

Las principales correlaciones entre las propiedades estudiadas aparecen en el Cuadro 38. Se puede ver que la Dap mostró una relación positiva muy alta con la RP e inversa con respecto a la cap de aireación y la Vel inf en el área de alta productividad. Se destacan también entre los resultados la relación entre Cap de aireación y la Vel inf. La RT presentó una importante correlación negativa con la Vel inf, esta última tiene mucha importancia pues en el área de baja productividad, donde se obtuvo, hubo una menor velocidad de infiltración básica para este suelo como reflejo de la menor capacidad de aireación del suelo y la densidad aparente en aumento que se observó.

Los suelos del área de alta productividad de la finca Santa Cecilia tenían una estructura favorable, favoreciendo el desarrollo de las raíces del cultivo (Anexo 5a). Existía un drenaje muy lento y a pesar de que la densidad aparente fue baja en todos los horizontes, la resistencia a la penetración se mostró relativamente alta pudiendo convertirse en una condición limitante para este suelo y el desarrollo radicular en un futuro (Cuadro 39).

Fidalski *et al.* (2006), trabajando en un latosol rojo eutroférico bajo sistema de siembra directa encontraron que la Dap era una variable aleatoria en el espacio y que no estaba directamente relacionada con la RP. Determinaron una elevada dependencia entre RP y el contenido de carbono del suelo y estos a su vez con la textura del suelo. Sin embargo, en Santa Cecilia, se obtuvo una elevada correlación entre RP y Dap.

Rubio y Llorens (2003) utilizando una base de datos de 4 perfiles de suelo de la parte central de la cuenca de Can Vila (0,56 km²) en la zona de cabecera del río Llobregat, con la finalidad de validar las funciones de edafotransferencia del modelo Rosetta, para estimar parámetros hidrodinámicos de los suelos del área, determinaron que el contenido volumétrico de agua es muy superior en el perfil con mayor nivel de materia orgánica y fracción fina, sin embargo, a potenciales mátricos cercanos a la saturación, la acción de las propiedades texturales no es tan activa como la del contenido de materia orgánica del suelo.

Cuadro 38. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca San Antonio

Alta Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.993	1						
Cap de aireación	-0.997	0.999	1					
Vel Inf	-0.971	-0.993	0.986	1				
RT	-0.005	-0.126	0.081	0.243	1			
Circ mad	0.179	0.059	0.104	0.061	0.983	1		
Alt hij	-0.728	-0.806	0.778	0.871	0.689	0.544	1	
# man	0.821	0.746	0.775	0.661	0.567	0.709	-0.206	1
Baja Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap. de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	-0.278	1						
Cap de aireación	-0.157	0.992	1					
Vel Inf	-0.934	-0.603	0.500	1				
RT	-0.833	0.763	0.677	-0.976	1			
Circ mad	-0.025	0.967	0.991	0.381	0.573	1		
Alt hij	0.194	0.888	0.938	0.170	0.381	0.976	1	
# man	-0.614	0.929	0.876	0.856	0.948	0.804	0.655	1

Los valores en negrita representan las mejores correlaciones. Nivel de significación alfa= 0,05

En el área de baja productividad de la finca Santa Cecilia se observa (Cuadro 39) que a pesar de que el suelo presentó una textura gruesa, la velocidad de infiltración fue muy baja e igualmente la capacidad de aireación, convirtiéndose en un factor muy limitante para el desarrollo de las raíces. La arena fina es un tipo de textura que fácilmente puede verse compactada por el manejo deficiente del suelo.

Cuadro 39. Propiedades físicas del suelo de la finca Santa Cecilia

Alta Productividad					
Prof.	Resistencia a penetración	Textura	Infilt. Básica	Densidad Aparente	Cap. de Aireación
cm	Kg/cm ²		mm/h	Mg/m ³	%
0-20	2,44	Franco	7,2	1,20	26,0
20-36	2,76	Franco		1,27	
36-60	1,98	Arcilloso		1,17	
60-90		Franco			
90-120		Arcilloso			
120-150		Franco			
		Arenoso			
		Franco			
		Arenoso			
Baja Productividad					
0-26	1,80	Franco	8,4	1,32	16,0
		Arenosa			
26-45	1,95	Arenosa		1,47	
45-60	2,15	Arenosa		1,62	
60-90		Arenosa			
90-120		Arenosa			
120-150		Arenosa			

Respecto a los indicadores de productividad (Cuadro 40) se encontró una correlación muy importante entre la Circ mad con la RT y con la Cap de aireación en el área de alta productividad, en el área de baja productividad la Circ mad mostró una alta correlación respecto a la RP, Dap, Velo Inf y RT, esto puede ser debido a que como este suelo presentó condiciones limitantes de drenaje, resistencia a la penetración y la densidad aparente aumentando, entonces el buen vigor de las planta se muestra dependiente del volumen radical que pueda desarrollar el cultivo bajo estas condiciones.

Los suelos de Santa Cecilia son los que mostraron tener mayor contenido de materia orgánica en el área de alta productividad (Anexos 5a y 6a), esto favoreció en parte que los suelos de esta finca aun presentaran baja Dap en esta área.

Cuadro 40. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Santa Cecilia

Alta Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.946	1						
Cap de aireación	-0.292	-0.587	1					
Vel Inf	-0.544	0.242	0.644	1				
RT	-0.276	-0.573	0.997	0.656	1			
Circ mad	0.450	0.715	0.986	0.505	0.983	1		
Alt hij	0.682	0.883	0.899	0.243	0.891	0.960	1	
# man	-0.974	-0.995	0.500	0.341	0.486	-0.639	-0.829	1
Baja Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap. de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.997	1						
Cap de aireación	-0.240	-0.319	1					
Vel Inf	-0.993	-0.999	0.350	1				
RT	-0.984	-0.995	0.411	0.998	1			
Circ mad	-0.977	-0.956	0.026	0.946	0.922	1		
Alt hij	-0.596	-0.528	0.636	0.500	0.442	0.754	1	
# man	-0.444	-0.516	0.977	0.543	0.598	0.241	-0.455	1

Los valores en negrita representan las mejores correlaciones. Nivel de significación alfa= 0,05

Cuadro 41. Propiedades físicas del suelo de la finca Margarita

Alta Productividad					
Prof.	Resistencia a penetración	Textura	Infilt. Básica	Densidad Aparente	Cap. de Aireación
cm	Kg/cm ²		mm/h	Mg/m ³	%
0-25	0,48	Franco	18,3	1,30	21,0
25-45	0,88	Franco Arenoso		1,37	
45-60	1,21	Franco Arenoso		1,47	
60-90		Franco Arcillo Arenoso			
90-120		Franco Arcillo Limoso			
120-150		Franco Arcillo Limoso			
Baja Productividad					
0-25	2,25	Franco Arenoso	69,9	1,34	41,0
25-38	1,87	Franco Arenoso		1,32	
38-60	2,61	Franco Arcillo Arenoso		1,55	
60-90		Franco Arcilloso			
90-120		Franco Arcillo Arenoso			
120-150		Franco Arcillo Arenoso			

El perfil del suelo del área de baja productividad de la finca Margarita muestra la existencia de horizontes con estructura laminar poco favorable para el buen desarrollo del cultivo (Anexos 7 y 8). Además, se encontró RP elevada en algunos horizontes y también Dap en aumento. Sin embargo, este suelo aun tenía una Cap. de aireación bastante aceptable para su condición física (Cuadro 41).

Por el contrario, el área de alta productividad de la finca Margarita tenía suelos con propiedades mucho más favorables para el desarrollo de un cultivo de buena calidad. Baja RP y Dap, propiedades texturales más apropiadas, aunque, la velocidad de infiltración básica obtenida fue muy baja e igualmente su cap de aireación, aspectos estos que tal vez se encuentran muy relacionados con el escaso nivel de materia orgánica que presentó este suelo.

Cuadro 42. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Margarita

Alta Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.988	1						
Cap de aireación	-0.977	-0.998	1					
Vel Inf	-0.999	-0.980	0.966	1				
RT	-0.980	-0.938	0.915	0.988	1			
Circ mad	-0.954	-0.989	0.996	0.940	0.877	1		
Alt hij	-0.995	-0.998	0.993	0.989	0.955	0.980	1	
# man	-0.990	-0.986	0.974	0.999	0.983	0.950	0.993	1
Baja Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap. de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.996	1						
Cap de aireación	-0.946	-0.972	1					
Vel Inf	-0.932	-0.894	0.764	1				
RT	-0.873	-0.825	0.669	0.991	1			
Circ mad	-0.750	-0.686	0.496	0.939	0.977	1		
Alt hij	-0.930	-0.892	0.761	0.994	0.991	0.940	1	
# man	-0.807	-0.748	0.571	0.966	0.992	0.996	0.967	1

Los valores en negrita representan las mejores correlaciones. Nivel de significación alfa= 0,05

Con relación a las correlaciones (Cuadro 42), los indicadores de productividad mostraron una alta dependencia con la Vel Inf en el área de baja productividad. Esto tendría bastante relación con el deterioro de las propiedades físicas que viene sufriendo este lado de la finca y la afectación que podría presentar la vel Inf dentro de poco como consecuencia de este deterioro.

En cuanto a las correlaciones en el área de alta productividad, casi todos los indicadores se mostraron altamente dependientes logrando elevadas correlaciones entre ellos. Esto indica que en este suelo las propiedades físicas deben tener elevada influencia sobre la productividad del banano, convirtiéndose estas y el manejo del suelo en un factor crítico para la producción.

Cuadro 43. Propiedades físicas del suelo de la finca Balsas

Alta Productividad					
Prof.	Resistencia a penetración	Textura	Infilt. Básica	Densidad Aparente	Cap. de Aireación
cm	Kg/cm ²		mm/h	Mg/m ³	%
0-25	1,20	Franco Arcillo	38,1	1,39	33,0
		Arenoso			
25-40	1,20	Franco Arenoso		1,33	
40-60	0,80	Franco		1,12	
		Arenoso			
60-90		Franco			
90-120		Franco Limoso			
120-150		Franco Limoso			
Baja Productividad					
0-21	1,68	Franco Arcillo	91,4	1,29	56,0
		Arenoso			
21-43	1,86	Franco Arcillo		1,49	
		Arenoso			
43-60	1,43	Franco		1,31	
60-90		Franco			
		Arenoso			
90-120		Franco Arenoso			
120-150		Franco Arenoso			

El área de alta productividad de la finca Balsas presentó buena estructura y propiedades con características favorables para el cultivo del banano (Anexos 9). Aún así, a pesar de que a este suelo se le encontró una velocidad de infiltración bastante rápida y una baja Dap y RP (Cuadro 43), la cantidad de raíces presentes en el perfil era baja. Se asume que en este suelo hay una gran dependencia entre RT con la Vel Inf y con la Cap de aireación, como lo demuestran las altas correlaciones positivas obtenidas y mostradas en el Cuadro 44.

En el área de baja productividad de la finca Balsas (Cuadro 43) se encontró un perfil del suelo con características físicas favorables para el desarrollo del cultivo (Anexo 10). Igualmente, fue un suelo que obtuvo excelentes resultados en RP, Dap y Velo Inf, todo esto favoreció que esta finca mantenga niveles altos de productividad (Anexo 23).

Cuadro 44. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Balsas

Alta Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.977	1						
Cap de aireación	-0.933	-0.988	1					
Vel Inf	-0.885	-0.963	0.993	1				
RT	-0.754	-0.876	0.940	0.973	1			
Circ mad	-0.763	-0.882	0.945	0.976	0.998	1		
Alt hij	-0.775	-0.891	0.951	0.980	0.999	0.997	1	
# man	-0.763	-0.882	0.945	0.976	0.987	0.988	0.978	1
Baja Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap. de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.760	1						
Cap de aireación	-0.693	-0.995	1					
Vel Inf	-0.930	-0.945	0.910	1				
RT	-0.770	-0.998	0.994	0.950	1			
Circ mad	-0.791	-0.999	0.989	0.960	0.999	1		
Alt hij	-0.940	-0.936	0.897	0.978	0.941	0.952	1	
# man	-0.975	-0.885	0.836	0.988	0.892	0.907	0.992	1

Los valores en negrita representan las mejores correlaciones. Nivel de significación alfa= 0,05

Igualmente, en el Cuadro 44 se observa que las correlaciones fueron, particularmente altamente dependientes, entre la mayoría de los indicadores con la RP, Cap de aireación y con la Vel Inf.

En el área de baja productividad de la finca Higuitos (Cuadro 45) se determinó que la textura fina era dominante en este suelo, el paso constante de personas y máquinas podía haber provocado cierto grado de compactación en el horizonte superficial del perfil como los demuestran los altos valores de Dap y RP de 0-20 cm de profundidad.

Cuadro 45. Propiedades físicas del suelo de la finca Higuitos

Alta Productividad					
Prof.	Resistencia a penetración	Textura	Infilt. Básica	Densidad Aparente	Cap. de Aireación
cm	Kg/cm ²		mm/h	Mg/m ³	%
0-19	1,65	Franco	46,1	1,24	27,0
19-40	1,52	Franc.o Limoso		1,18	
40-60	1,34	Franco Arenoso		1,25	
60-90		Franco Arenoso			
90-120		Franco Arcillo Limoso			
120-150		Franco Arcillo Limoso			
Baja Productividad					
0-20	2,35	Franco Arcilloso	19,4	1,53	19,0
20-40	1,87	Franco Arcilloso		1,37	
40-60	1,80	Franco		1,25	
60-90		Franco			
90-120		Franco Arcilloso			
120-150		Franco Arcilloso			

En el Cuadro 46 se verifica la importancia clave que tiene el drenaje para el desarrollo radicular del cultivo en este suelo al obtenerse la mejor correlación entre RT con la Cap. de aireación en el área de baja productividad. Se observa además, que los factores que mostraron mayor influencia sobre los indicadores de productividad en el área de alta productividad fueron: RP, Cap de aireación y Vel Inf., lo que indica lo vulnerable que podría ser la producción de banano en este suelo si las propiedades físicas se deterioran.

Cuadro 46. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Higuitos

Alta Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.523	1						
Cap de aireación	-0.023	-0.980	1					
Vel Inf	-0.218	-0.903	0.971	1				
RT	-0.011	-0.972	0.999	0.978	1			
Circ mad	0.661	-0.879	0.765	0.588	0.743	1		
Alt hij	-0.046	-0.963	0.998	0.985	0.999	0.719	1	
# man	0.420	-0.978	0.917	0.794	0.903	0.959	0.887	1
Baja Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap. de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.834	1						
Cap de aireación	-0.327	-0.794	1					
Vel Inf	-0.982	-0.923	0.500	1				
RT	-0.424	-0.853	0.995	0.588	1			
Circ mad	-0.748	-0.258	0.382	0.609	0.284	1		
Alt hij	-0.500	0.060	0.655	0.327	0.572	0.949	1	
# man	-0.582	-0.037	0.578	0.418	0.490	0.975	0.995	1

Los valores en negrita representan las mejores correlaciones. Nivel de significación alfa= 0,05

En la finca Mango se encontró en el área de baja productividad (Cuadro 47) un suelo con buena estructura, sin embargo su perfil superior se encontró con una consistencia ligeramente dura en seco y con posibilidades de empeorar su RP y Dap.

Vaquero (2003) considera que cuando el suelo está a capacidad de campo valores de la RP por el orden de 2,0 kg/cm² o menores, se asocian con una consistencia friable o muy friable, la cual es adecuada para el crecimiento de las raíces. Valores mayores cercanos a 3,0 kg/cm² se asocian con una consistencia firme e indican una alta compactación y cierto grado de limitación para el crecimiento radicular. Valores cercanos o superiores a 3,5 kg/cm² indican suelos de consistencia firmes o muy firmes que limitan severamente el crecimiento de las raíces del cultivo.

Cuadro 47. Propiedades físicas del suelo de la finca Mango

Alta Productividad					
Prof.	Resistencia a penetración	Textura	Infilt. Básica	Densidad Aparente	Cap. de Aireación
cm	Kg/cm ²		mm/h	Mg/m ³	%
0-20	1,67	Franco Arcillo limoso	41,6	1,32	39,0
20-40	1,43	Franco Arcillo limoso		1,30	
40-60	1,42	Franco Arcillo limoso		1,24	
60-90		Franco limoso			
90-120		Franco limoso			
120-150		Franco limoso			
Baja Productividad					
0-25	1,74	Franco Arcillo Arenoso	18,0	1,36	22,0
25-50	1,36	Franco Arenoso		1,22	
50-60	1,00	Franco		1,25	
60-90		Franco Limoso			
90-120		Franco Limoso			
120-150		Franco Limoso			

El Cuadro 48 muestra las principales correlaciones obtenidas entre los indicadores de productividad y los indicadores físicos en ambas área de productividad contrastante de la finca Mango. En este caso se puede notar que en el área de baja productividad la Dap mostró las menores correlaciones con el resto de los indicadores demostrando menor influencia directa que las demás variables físicas sobre los indicadores de productividad.

Las propiedades físicas del área de alta productividad de la finca Mango no parecen ser tan determinantes a la hora de considerar su efecto directo sobre los indicadores de productividad (Cuadro 48) pues a no ser por la Vel Inf y la Cap. de aireación que fueron bastante bajos, sus principales características físicas se encuentran dentro de los niveles considerados adecuados. La Dap obtuvo elevadas correlaciones negativas con la Circ. madre y Alt hijo.

En ambas áreas de productividad contratante de la finca se observó que la Vel Inf fue el factor que mostró ser el principal indicador limitante directo con respecto a las variables de productividad. Todas sus correlaciones fueron muy altas y positivas.

Cuadro 48. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Mango

Alta Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.718	1						
Cap de aireación	-0.583	-0.984	1					
Vel Inf	-0.854	-0.976	0.921	1				
RT	-0.891	-0.956	0.888	0.997	1			
Circ mad	-0.986	-0.824	0.710	0.928	0.954	1		
Alt hij	-0.961	-0.883	0.786	0.965	0.982	0.993	1	
# man	-0.895	-0.953	0.884	0.996	0.967	0.957	0.984	1
Baja Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap. de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.255	1						
Cap de aireación	-0.319	-0.998	1					
Vel Inf	-0.090	-0.986	0.973	1				
RT	-0.160	-0.995	0.986	0.998	1			
Circ mad	-0.224	-0.999	0.995	0.991	0.998	1		
Alt hij	-0.240	-0.995	0.997	0.988	0.997	1.000	1	
# man	-0.302	-0.999	0.993	0.977	0.989	0.997	0.998	1

Los valores en negrita representan las mejores correlaciones. Nivel de significación alfa= 0,05

En el área de alta productividad de la finca Palo Blanco la textura limosa no favoreció en nada las condiciones físicas del suelo, mostrando una consistencia firme y ligeramente dura (Anexo 15a), así mismo, se encontraron abundantes moteos en el perfil señal de deficiencias en el drenaje. Además, una RP bastante alta en el horizonte superior (cuadro 49).

En el área de baja productividad de la finca Palo Blanco (Anexo 16a) se encontraron suelos con una consistencia friable y ligeramente dura, igualmente, a medida que se profundizaba en el perfil se obtuvieron valores altos de RP y lenta Vel Inf y Cap. de aireación, encontrándose también texturas bien finas (Cuadro 49).

Igualmente, en el Cuadro 49 se muestra que en ambas áreas de la finca Jagua se determinaron propiedades con características no muy adecuadas para permitir un

buen desarrollo del cultivo ya que se nota como van aumentando los valores para RP y Dap del suelo que podrían convertirse en un factor limitante en esta finca. La Vel Inf mostró valores muy bajos indicando posibles problemas de drenaje en estos suelos.

Gauggel *et al.* (2003), encontraron que entre los principales factores que contribuyen al rápido deterioro del sistema radical del banano están: poca profundidad del suelo, texturas extremas (arenosa, arcillosa), niveles elevados de sodio intercambiable y sales solubles, baja concentración de nutrientes, irrigación y drenaje deficientes, baja población de organismos benéficos para el suelo, alto número de nemátodos, malas prácticas agrícolas y enfermedades. Aunque gran parte de estos mismos problemas también se encontraron en las fincas bananeras de Panamá, no se detectó en ninguna de ellas suelos de poca profundidad ni tampoco niveles elevados de sodio intercambiable y sales solubles., esto último favorecido por las intensas lluvias en la zona.

Cuadro 49. Propiedades físicas del suelo de la finca Palo Blanco

Alta Productividad					
Prof.	Resistencia a penetración	Textura	Infilt. Básica	Densidad Aparente	Cap. de Aireación
cm	Kg/cm ²		mm/h	Mg/m ³	%
0-25	2,20	Franco Limoso	18,4	1,39	17,0
25-36	1,95	Franco Arcillo Limoso		1,37	
36-60	1,55	Franco Arcillo Limoso		1,22	
60-90		Franco Arcilloso			
90-120		Arcilloso			
120-150		Arcilloso			
Baja Productividad					
0-15	1,95	Franco	24,5	1,25	29,0
15-43	2,40	Franco Arcilloso		1,31	
43-60	2,15	Franco Arcillo Arenoso		1,28	
60-90		Franco Arcillo Arenoso			
90-120		Arcilloso			
120-150		Arcilloso			

Cuadro 50. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Palo Blanco

Alta Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.960	1						
Cap de aireación	-0.955	-0.998	1					
Vel Inf	-0.987	-0.992	0.990	1				
RT	0.994	0.923	0.916	0.963	1			
Circ mad	-0.999	-0.973	0.968	0.994	0.987	1		
Alt hij	-0.915	-0.991	0.993	0.967	0.864	0.933	1	
# man	-0.949	-0.999	1.000	0.987	0.908	0.963	0.995	1
Baja Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap. de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.998	1						
Cap de aireación	-0.997	-0.998	1					
Vel Inf	-0.866	-0.896	0.900	1				
RT	-0.789	-0.827	0.831	0.991	1			
Circ mad	-0.989	-0.996	0.997	0.931	0.872	1		
Alt hij	-0.721	-0.763	0.769	0.971	0.995	0.816	1	
# man	-0.672	-0.718	0.723	0.952	0.985	0.775	0.998	1

Los valores en negrita representan las mejores correlaciones. Nivel de significación alfa= 0,05

En el Cuadro 50 se observa que en el área de alta productividad casi todos los indicadores mostraron alta dependencia entre sí pues se obtuvieron elevadas correlaciones entre todos ellos.

Serrano *et al.* (2006), en suelos bananeros de Costa Rica determinaron que había gran influencia de factores físicos como la infiltración básica y el porcentaje de porosidad sobre el vigor y la productividad del cultivo, considerando que esto ocurrió principalmente debido al deterioro de las propiedades de los suelos seleccionados para el estudio por el paso constante de maquinaria y pisoteo de obreros durante largo período de tiempo.

Igualmente, Streck *et al.* (2004), encontraron que el paso constante de maquinaria y personas sobre un suelo arcilloso-rojo-amarillo distrófico cultivado intensivamente, provocó el aumento de la densidad aparente y la resistencia a la

penetración. Según estos investigadores, este último parámetro físico fue el que mejor evidenció el efecto del número de pasadas de la máquina sobre el suelo.

En el área de alta productividad de la finca Jagua se encontró una buena estructura de bloques subangulares, una consistencia ligeramente dura en seco (Anexo 17a), sin embargo, presentó baja resistencia a la penetración al igual que también baja densidad aparente y una lenta velocidad de infiltración media (Cuadro 51).

Los suelos del área de baja productividad de la finca Jagua (Cuadro 51) mostraron características similares a los de la finca Palo Blanco, suelos pesados, muy baja velocidad de infiltración y propensos a sufrir un aumento de la Dap, consistencia friable y firme y ligeramente dura en seco (Anexo 18a).

Cuadro 51. Propiedades físicas del suelo de la finca Jagua

Alta Productividad					
Prof.	Resistencia a penetración	Textura	Infilt. Básica	Densidad Aparente	Cap. de Aireación
cm	Kg/cm ²		mm/h	Mg/m ³	%
0-35	1,56	Franco Limoso	27,7	1,33	31,0
35-45	1,75	Franco Arcillo		1,45	
45-60	1,33	Arenoso Franco Arcillo		1,23	
60-90		Limoso Franco Arcillo			
90-120		Limoso Franco Arcillo			
120-150		Limoso Franco Arcillo			
Baja Productividad					
0-20	1,80	Franco Arcillo	17,4	1,32	16,5
20-35	1,95	Limoso Franco Arcillo		1,47	
35-60	1,55	Limoso Franco Arenoso		1,22	
60-90		Franco Arenoso			
90-120		fino Franco Arenoso			
120-150		fino Franco Arenoso			

Las correlaciones que se muestran en el Cuadro 52 indican que en el área de alta productividad fueron obtenidas elevadas correlaciones positivas y negativas entre casi todos los indicadores, solo la Circ mad mostró tener cierta menor dependencia directa con respecto a la RT.

También se observa en el Cuadro 52 que la propiedad del suelo que provocó la mayor dependencia en el área de baja productividad de esta finca fue la Dap. Se destaca también, que en este lado de la finca Jagua las correlaciones entre RT y los indicadores de productividad fueron positivas pero más bajas si comparadas con la alta dependencia que mostraron respecto a los otros indicadores físicos.

Este resultado podría atribuirse a que en esta finca independientemente de la ubicación, área de alta o baja productividad, la circunferencia de la madre, número de manos y altura del hijo fueron bastante similares, así mismo, el peso total de las raíces fue bastante similar en ambas áreas, mostrando poca influencia directa sobre estos indicadores.

Cuadro 52. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Jagua

Alta Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.994	1						
Cap de aireación	-0.986	-0.998	1					
Vel Inf	-0.998	-0.984	0.972	1				
RT	-0.967	-0.934	0.911	0.982	1			
Circ mad	-0.935	-0.968	0.981	0.908	0.813	1		
Alt hij	-0.986	-0.998	0.986	0.972	0.911	0.981	1	
# man	-0.993	-0.975	0.960	0.999	0.990	0.888	0.960	1
Baja Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap. de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.967	1						
Cap de aireación	-0.932	-0.994	1					
Vel Inf	-0.159	-0.406	0.507	1				
RT	-0.496	-0.701	0.777	0.936	1			
Circ mad	-0.940	-0.996	0.978	0.486	0.762	1		
Alt hij	-0.911	-0.986	0.999	0.552	0.810	0.997	1	
# man	-0.945	-0.830	0.762	0.173	0.184	0.777	0.726	1

Los valores en negrita representan las mejores correlaciones. Nivel de significación alfa= 0,05

En el área de alta productividad de la finca Javillo (Cuadro 53) se aprecia que este lado de la finca presenta propiedades con características razonablemente aceptables para el buen desarrollo y productividad del banano.

Las características del suelo del área de baja productividad de la finca Javillo (Anexo 20a) tenían buena estructura y consistencia, había escasa presencia de moteos por lo que se consideró que los problemas relacionados con el drenaje en esta finca no son tan severos como en otras. Esto se puede comprobar en el Cuadro 54 donde aparecen las correlaciones entre los principales indicadores en este lado de la finca. Se destaca la alta dependencia con respecto a la Dap y en menor grado con la RP. La Vel Inf, Cap. de aireación y RT mostraron tener menor influencia directa sobre la calidad del cultivo en esta finca.

Cuadro 53. Propiedades físicas del suelo de la finca Javillo

Alta Productividad					
Prof.	Resistencia a penetración	Textura	Infil. Básica	Densidad Aparente	Cap. de Aireación
cm	Kg/cm ²		mm/h	Mg/m ³	%
0-22	1,51	Franco Arcillo Limoso	50,1	1,34	35,0
22-41	1,47	Franco Arcillo Limoso		1,29	
41-60	1,45	Franco Arcillo Arenoso		1,23	
60-90		Franco Arcillo Limoso			
90-120		Franco Arenoso fino			
120-150		Arenoso			
Baja Productividad					
0-28	1,26	Franco Arcillo Limoso	28,8	1,23	24,0
28-43	1,25	Franco Arcillo Limoso		1,22	
43-60	1,38	Franco Arcillo Arenoso		1,39	
60-90		Franco Arcillo Arenoso			
90-120		Franco Arenoso fino			
120-150		Franco Arenoso fino			

En las correlaciones correspondientes al área de alta productividad que se muestran en el Cuadro 54 se encontró que no había un indicador que presentara

mayor influencia que otros sobre la productividad y que prácticamente existía una relación de dependencia directa entre todos ellos.

Cuadro 54. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Javillo

Alta Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.971	1						
Cap de aireación	-0.992	-0.993	1					
Vel Inf	-0.990	-0.995	0.976	1				
RT	-0.966	-0.995	0.991	0.993	1			
Circ mad	-0.993	-0.992	0.993	0.997	0.989	1		
Alt hij	-0.999	-0.982	0.997	0.996	0.978	0.998	1	
# man	-0.999	-0.982	0.997	0.996	0.978	0.998	0.999	1
Baja Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap. de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.956	1						
Cap de aireación	-0.915	-0.922	1					
Vel Inf	-0.977	-0.973	0.808	1				
RT	0.193	0.176	0.219	0.398	1			
Circ mad	0.999	0.998	0.893	0.987	0.244	1		
Alt hij	-0.891	-0.899	0.998	0.774	0.274	0.866	1	
# man	-0.896	-0.888	0.640	0.970	0.609	0.918	0.596	1

Los valores en negrita representan las mejores correlaciones. Nivel de significación alfa= 0,05

En el área de baja productividad de la finca Caoba se determinó una estructura de bloques subangulares, consistencia friable aunque ligeramente dura, pocos moteos pero bien definidos (Anexo 20a), una Dap que a pesar de que aun se mantiene dentro de los márgenes apropiados, por la textura de arena fina que presenta este suelo, fácilmente podría aumentar hasta niveles considerados para suelos compactados (Cuadro 55).

Con relación a las correlaciones del área de alta productividad que aparecen en el Cuadro 56 se verifica que hay una gran dependencia entre todas las variables, mostrando que en este suelo es muy importante priorizar las buenas prácticas agrícolas.

En cuanto a las correlaciones en el área de baja productividad se puede apreciar que la Vel Inf, la Cap de aireación y RP fueron los indicadores físicos que obtuvieron las mejores correlaciones con los indicadores de productividad. Esto deja entrever la importancia relativa que adquiere el buen drenaje y evitar la compactación de este suelo.

Cuadro 55. Propiedades físicas del suelo de la finca Caoba

Alta Productividad					
Prof.	Resistencia a penetración	Textura	Infilt. Básica	Densidad Aparente	Cap. de Aireación
cm	Kg/cm ²		mm/h	Mg/m ³	%
0-20	1,67	Franco Arcillo Limoso	21,5	1,38	23,0
20-35	1,28	Franco Arcillo Arenoso		1,18	
35-60	1,45	Franco Arcillo Arenoso		1,32	
60-90		Franco Arcillo Arenoso			
90-120		Franco Arcillo Limoso			
120-150		Franco Limoso			
Baja Productividad					
0-10	1,44	Franco Arcillo Arenoso	19,4	1,39	18,8
10-40	1,46	Franco Arcillo Arenoso		1,49	
40-60	1,65	Franco Arenoso Fino		1,53	
60-90		Franco Arenoso Fino			
90-120		Franco Arcillo Limoso			
120-150		Franco Arcillo Limoso			

Cuadro 56. Correlaciones entre propiedades físicas e indicadores de productividad en los suelos de la finca Caoba

Alta Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.955	1						
Cap de aireación	-0.989	-0.900	1					
Vel Inf	-0.967	-0.960	0.986	1				
RT	-0.990	-0.904	0.977	0.988	1			
Circ mad	-0.998	-0.936	0.996	0.997	0.997	1		
Alt hij	-0.997	-0.927	0.998	0.995	0.998	0.989	1	
# man	-0.914	-0.993	0.843	0.921	0.849	0.889	0.877	1
Baja Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap. de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.778	1						
Cap de aireación	-0.889	-0.979	1					
Vel Inf	-0.937	-0.949	0.993	1				
RT	-0.992	-0.693	0.825	0.886	1			
Circ mad	-0.758	-0.989	0.973	0.938	0.671	1		
Alt hij	-0.866	-0.988	0.999	0.986	0.797	0.983	1	
# man	-0.945	-0.941	0.990	0.994	0.897	0.930	0.982	1

Los valores en negrita representan las mejores correlaciones. Nivel de significación alfa= 0,05

4.5.2- Análisis global para el conjunto de todas las fincas

Considerando los indicadores de todas las fincas en su conjunto se puede confirmar en el Cuadro 57 que solamente se encontró una alta relación de dependencia directa entre la Cap. de aireación y la Vel Inf. Las demás correlaciones no mostraron una influencia directa sobre la productividad. Esto sirvió para reforzar los resultados encontrados en las fincas individualmente donde se advierte sobre la importancia del manejo adecuado del drenaje en estos suelos.

Rey *et al.* (2006), trabajando en suelos bananeros de Venezuela encontraron que las propiedades físicas representaron el factor que tenía la mayor influencia sobre

la productividad del banano en la región. La velocidad de infiltración básica representaba un elemento crítico para esos suelos pues había presencia de estructuras degradadas y compactadas, disminuyendo la porosidad del suelo.

En el caso de los suelos bananeros de Panamá, en algunas fincas no se detectaron perfiles de suelos compactados ni la presencia de estructuras poco favorables que indicaran elevado grado de degradación, sin embargo, en otras como fue el caso de Margarita, la mala estructura del suelo en sus capas internas era resultado de procesos de compactación y degradación que no fueron detectados a tiempo. Esta finca y casi todas requieren de un mejor manejo del suelo en lo que respecta a fertilización, aplicaciones de abonos orgánicos, mantenimiento de drenajes, etc., para recuperar la estructura, mejorar la biomasa y actividad microbiana y consecuentemente la retención de humedad y el drenaje. En general, las fincas bananeras panameñas presentaron gran limitación relacionada con el drenaje como los indican las bajas velocidades de infiltración encontradas.

Cuadro 57. Correlaciones del promedio general de los indicadores de ambas áreas de las fincas

Alta Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.216	1						
Cap de aireación	-0.087	-0.612	1					
Vel Inf	-0.048	-0.584	0.963	1				
RT	-0.163	0.069	0.297	0.393	1			
Circ mad	-0.494	-0.127	0.326	0.382	0.341	1		
Alt hij	-0.480	-0.262	0.290	0.327	0.430	0.797	1	
# man	-0.650	-0.153	0.152	0.138	0.194	0.876	0.631	1
Baja Productividad								
Variables	Dap	RP	Cap. de aireación	Vel Inf	RT	Circ mad	Alt hij	# man
Dap	1							
RP	0.373	1						
Cap de aireación	-0.343	-0.224	1					
Vel Inf	-0.197	-0.295	0.962	1				
RT	-0.299	-0.571	0.123	0.168	1			
Circ mad	-0.271	-0.498	0.083	0.153	0.753	1		
Alt hij	0.003	-0.363	0.178	0.270	0.731	0.719	1	
# man	-0.112	-0.617	0.101	0.033	0.829	0.881	0.754	1

Los valores en negrita representan las mejores correlaciones. Nivel de significación alfa= 0,05

4.6- Utilidad y validez del índice encontrado

Uno de los retos más importantes que enfrenta la Ciencia del Suelo es desarrollar criterios de calidad que se utilicen también en la evaluación de riesgos ambientales. Su evaluación está íntimamente vinculada con el empleo de indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo, fáciles de medir y sensibles a los cambios generados por las prácticas de manejo, en el tiempo y espacio (Doran *et al.* 1999).

Así, siguiendo las recomendaciones se escogieron indicadores que en investigaciones anteriores habían demostrado ser propiedades del suelo que representaban problemas en la zona.

Las once fincas involucradas en esta investigación presentaron una gran variedad de tipos de suelos, textura, contenido de nutrientes, retención de humedad y facilidad de drenaje, contenido de materia orgánica y vida microbiana, entre las áreas de alta y baja productividad e incluso dentro de una misma área. Esto hizo que los indicadores abarcaran un gran intervalo de valores desde los niveles bajos hasta los más elevados, lo que en muchos casos causó que los datos medidos no mostraran variaciones estadísticamente significativas.

De cualquier forma, mediante ACP se obtuvieron los 8 indicadores del MDS que fueron los que presentaron mayor peso relativo para integrar el índice de calidad del suelo y tratar de explicar, cada uno, su influencia sobre la disminución de la productividad en las fincas, se determinaron las curvas de respuesta para cada indicador, normalizadas entre 0 y 1, usando los valores recomendados para los suelos bananeros de Panamá.

Estos valores recomendados podrían haber representado la principal fuente de error del índice creado ya que los mismos fueron determinados desde el año 1987, sin haber sido revisados posteriormente, y además no se ajustan a los diferentes subgrupos de suelos presentes en la zona ni condiciones geográficas, sino que fueron determinados para los suelos de Panamá en su conjunto.

Otra de las limitaciones que pudieron haber afectado los resultados fue el haber incluido entre los indicadores propiedades físicas permanentes como la textura y otras que sí pueden ser mejoradas o modificadas mediante la acción humana.

El índice calculado representa una valiosa herramienta que permitirá la toma de decisiones para corregir en el tiempo errores en el manejo tradicional dado a los suelos bananeros y además servirá de base para realizar monitoreos periódicos comparando el avance o retroceso del mismo.

Gauggel *et al.* (2009), en suelos bananeros de Honduras, Costa Rica y Ecuador, desarrollaron un índice a través del cual identificaron la propiedad del suelo más limitante para el cultivo y les permitió cuantificar su influencia en la producción. En esa investigación determinaron que entre las características morfológicas más importantes estaban: profundidad efectiva, textura, estructura y consistencia; entre las propiedades físicas: resistencia a la penetración de raíces, densidad aparente, infiltración y percolación y propiedades químicas como: sodio, sales solubles, materia orgánica, bases intercambiables, CIC. Lo limitante de este índice es que compara una gran variabilidad de suelos en diferentes áreas y zonas geográficas de varios países, adjudica una escala de valor entre 0 y 10 dependiendo de la condición de la característica del suelo, lo que resulta muy subjetivo y es una fuente de error, además no toma en cuenta las interacciones entre propiedades físicas, químicas y también las biológicas que no se midieron.

Font Vila *et al.* (2009), desarrollaron un índice siguiendo una metodología muy similar a la empleada en la presente investigación mediante la cual mostraron la efectividad de un conjunto mínimo de indicadores, valores umbrales para su normalización estandarizados en la región según subgrupo de suelos e integraron los procesos, funciones e indicadores físico-químicos y biológicos del suelo para crear un sistema de evaluación y monitoreo de la calidad del suelo en Cuba. Mediante la utilización de este índice determinaron que la calidad del suelo fue perturbada por el manejo inadecuado del mismo con su consecuente degradación. El valor del índice se incrementó en aquellos sitios con un sistema de manejo agrícola adecuado que propició rendimientos aceptables.

Igualmente, el índice desarrollado para los suelos bananeros de Panamá, ayudó a diferenciar entre áreas con manejos adecuados e inadecuados. Este índice sin duda fue altamente influenciado por el tipo de suelo y su relación con el manejo dado al mismo.

Serrano *et al.* (2006), en Costa Rica y Pattison *et al.* (2004) en Australia han utilizado metodologías similares a la de esta investigación para el cálculo de un índice de calidad de suelos bananeros en estos países.

El siguiente paso en Panamá sería validar este índice mediante la realización de experimentos con diferente manejo del suelo y de las plantaciones, determinando los mismos indicadores, midiendo su respuesta con valores recomendados según subgrupo de suelo y así verificar su utilidad y empleo como índice de calidad del suelo.

4.7- Principales problemas encontrados en las fincas

En los Cuadros 58 y 59 se presenta un resumen de las principales limitaciones físico-químicas y biológicas que se observaron en las fincas bananeras.

Cuadro 58. Limitaciones físico-químicas y biológicas encontradas en las fincas independientes

Finca	Área de Product.	Físicas	Químicas	Biológicas
Los Ángeles	Alta	Pocas limitaciones	Pocas limitaciones	Poca MO
	Baja	Baja Vel Inf, baja aireación, consistencia dura en seco	pH ácido, bajo nivel de K	Poca MO, Ind Min muy rápido, bajo peso RT
San Antonio	Alta	Pocas limitaciones	Pocas limitaciones	Poca MO
	Baja	Estructura laminar, textura arenosa, elevada RP, consistencia dura en seco	Pocas limitaciones	Poca MO, Ind Min muy rápido, bajo peso RT
Santa Cecilia	Alta	Alta RP, Baja Vel Inf, consistencia dura en seco	Elevado nivel de Boro, Bajo nivel de K	Pocas limitaciones
	Baja	Baja Vel Inf, textura arenosa, baja aireación, Dap elevada	Bajos niveles de Ca y Mg	Poca MO, Ind Min muy rápido, bajo peso RT
Margarita	Alta	Dap en aumento	Bajo nivel de K, elevado nivel de P y Mg	Poca MO, Ind Min muy rápido
	Baja	Alta RP, baja Vel Inf, poca aireación, estructura laminar, Dap en aumento	Bajo nivel de K, elevado nivel de Mg	Poca MO, Ind Min muy rápido, bajo peso RT
Balsas	Alta	Consistencia dura en seco	Elevado nivel de Boro	Poca MO, Ind Min muy rápido
	Baja	Baja Vel Inf, consistencia dura en seco	Elevado nivel de Boro	Poca MO, Ind Min muy rápido, bajo peso RT

Cuadro 59. Limitaciones físico-químicas y biológicas encontradas en las fincas de COOSEMUPAR

Finca	Área de Product.	Físicas	Químicas	Biológicas
Higuitos	Alta	Vel Inf un poco lenta	Pocas limitaciones	Baja MO, baja RM, Ind Min muy rápido
	Baja	Baja Vel Inf, elevada RP, baja aireación, alta Dap	Pocas limitaciones	Baja MO, baja RM, Ind Min muy rápido
Mango	Alta	Baja Vel Inf, baja aireación, consistencia dura en seco	CE en aumento	Baja MO, baja RM
	Baja	Consistencia dura en seco, RP en aumento	Pocas limitaciones	Baja MO, baja RM, Ind Min muy rápido
Palo Blanco	Alta	Baja Vel Inf, baja aireación, RP en aumento, consistencia dura en seco, textura fina	Pocas limitaciones	Baja MO, Ind Min muy rápido
	Baja	Baja Vel Inf, baja aireación, RP en aumento, consistencia dura en seco, textura fina	Altos niveles de Al intercambiable	Baja MO, Ind Min muy rápido, bajo peso RT
Jagua	Alta	Baja Vel Inf, consistencia dura en seco	CE en aumento	Baja MO, Ind Min muy rápido
	Baja	Baja Vel Inf, baja aireación, RP en aumento, consistencia dura en seco, textura fina	Pocas limitaciones	Baja MO, Ind Min muy rápido
Javillo	Alta	Consistencia dura en seco	pH ácido	Baja MO, baja RM, Ind Min muy rápido
	Baja	Baja Vel Inf, baja aireación, consistencia dura en seco	pH ácido, CE en aumento	Baja MO, Ind Min muy rápido
Caoba	Alta	Textura fina, baja Vel Inf y baja aireación	pH ácido	Baja MO, baja RM
	Baja	Baja Vel Inf, baja aireación, Dap en aumento, consistencia dura en seco, presencia de capas de arena fina en el perfil	pH ácido, CE en aumento	Baja MO, baja RM

Como se observa en el Cuadro 58, los principales problemas encontrados en las fincas independientes tienen relación con el drenaje y la estructura del suelo. Igualmente con el bajo contenido de materia orgánica del suelo que trae como consecuencia escasa actividad biológica. Las principales limitaciones químicas dejan notar que ha habido escasa fertilización o que ha sido realizada en forma poco efectiva, en la mayoría de estas fincas.

En cuanto a los principales problemas observados en las fincas de COOSEMUPAR, el Cuadro 59 deja ver que la baja velocidad de infiltración es la principal limitación física. Entre las químicas se observa que en algunas de ellas hay problemas de acidez y conductividad eléctrica en aumento, indicando que es muy importante el monitoreo para evitar un aumento de la salinidad en la zona. Los principales problemas biológicos están relacionados con el escaso nivel de materia orgánica en estos suelos.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

- Los índices obtenidos muestran que en algunas fincas las diferencias entre las áreas de alta y baja productividad son muy estrechas, posiblemente ha tenido gran influencia que los productores no hacen un manejo diferenciado del cultivo en cada área, considerando los rendimientos y las propiedades físicas, químicas y biológicas que presenta el suelo. La fertilización no se basa en análisis de suelos ni tejido foliar y tampoco se utilizan técnicas de conservación del suelo o se le da mantenimiento a los drenajes en ninguna de las áreas.
- Los indicadores que ayudaron a diferenciar entre las áreas de alta y baja productividad de cada finca fueron los siguientes: pH, contenido de calcio, potasio y materia orgánica, la respiración microbiana, el índice de mineralización, peso total de raíces y el porcentaje de arena. Sin embargo, no hubo un indicador que obtuviera un peso muy superior a los otros como para explicar, claramente, que era el principal responsable de la disminución en la productividad de las plantaciones.
- La presente investigación sirvió para detectar deficiencias importantes en las fincas como lo son: niveles muy bajos de materia orgánica y acelerado índice de mineralización que rápidamente hace desaparecer los pocos residuos orgánicos que se aplican; muy bajos niveles de actividad microbiana; la fertilización no se realiza tomando en cuenta resultados de análisis de suelo, tejido vegetal, ni los rendimientos esperados en cada área, lo que ha traído como consecuencia la acumulación en algunas áreas de elevados niveles de K muy superiores a las exigencias del cultivo; bajo número, peso y extensión de raíces, producto de que en muchas áreas de las fincas hay presencia de estructuras degradadas, capas compactadas, baja aireación y un drenaje muy lento, que impide su desarrollo y estas propiedades están afectando la producción y los ingresos de cada finca.
- En la mayoría de las fincas se observó que las propiedades físicas como capacidad de aireación del suelo, velocidad de infiltración y la resistencia a la penetración tenían una gran influencia sobre la calidad y la productividad del banano en estos suelos. Ninguna de estas propiedades físicas obtuvo elevada puntuación al realizar el cálculo matemático de los índices. Se comprueba así, que muchas veces estos métodos estadísticos de calcular índices de calidad, enmascaran o subestiman la influencia que pudieran tener otros indicadores que no obtienen elevada puntuación matemática mediante el método estadístico utilizado.

- Se observó que en las fincas bananeras, tanto las independientes como las pertenecientes a COOSEMUPAR, el manejo del suelo es un factor crítico que no puede ser descuidado ya que los indicadores de productividad utilizados: circunferencia de la madre y número de manos de banano demostraron tener una estrecha relación con las propiedades físicas como velocidad de infiltración, resistencia a la penetración y densidad aparente, su deterioro acelerado podría poner en peligro la producción del cultivo en estos suelos.
- El índice de calidad de suelos bananeros, aunque presentó algunas limitaciones, permitió el desarrollo de una metodología para la región y se obtuvo una herramienta para la gestión ambiental que con ciertas modificaciones y consideraciones locales de cada ecosistema, permitirá monitorear y evaluar la calidad del suelo e implementar acciones que impidan el avance de la degradación y a su vez, medir los impactos de la aplicación de técnicas de conservación y mejoramiento del manejo del suelo con un enfoque integral y sostenible.

Capítulo 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar otras investigaciones en la zona como: comparación de diferentes manejos del suelo que contribuyan a recuperar su estructura; determinación de la infestación y daños causados por nemátodos; dosis y fuentes de K, considerando el balance total del nutriente en el sistema; determinación de niveles críticos y curvas de respuesta de nutrientes para los diferentes tipos de suelo existentes en cada finca; fuentes y dosis de abonos orgánicos que contribuyan a mejorar la vida microbiana del suelo, utilizando desechos de su propia finca.
- Se recomienda realizar un monitoreo periódico en las fincas para detectar cambios en las propiedades del suelo y verificar si el índice obtenido continua siendo válido en una determinada finca.
- Se recomienda que para lograr el éxito y cumplir los objetivos en este tipo de estudio se debe trabajar con equipos multidisciplinarios, coordinados, buena logística y laboratorios próximos con experiencia y que cuenten con una buena base de datos sobre análisis de suelos.

CAPÍTULO 7. REFERENCIAS CONSULTADAS

- ABRIL, A.; BUCHER, E.H. 2001. Overgrazing and soil carbon dynamics in the Western Chaco of Argentina. *Appl. Soil Ecol.* 16: 243-249.
- ACUÑA, O.; PEÑA, W.; SERRANO, E.; POCASANGRE, L.; ROSALES, F.; DELGADO, E.; TREJOS, J.; SEGURA, A. 2006. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. XVII Reunión Internacional da Associação para a Cooperação nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na América Tropical. 15-20 de outubro de 2006. Joinville-Santa Catarina, Brasil. pp. 65-77.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, London.
- ALEXANDER, M. 1971. Agriculture's responsibility in establishing soil quality criteria. pp. 66-71. In: *Environmental Improvement- Agriculture's Challenge in the Seventies*. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- AMÉZQUITA, E. 1994. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. In: Silva, F. Ed. *Fertilidad de suelos: diagnóstico y control*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. pp. 137-153.
- ANDREWS, S.S.; CARROLL, C.R. 2001. Designing a decision tool for sustainable agroecosystem management: Soil quality assessment of a poultry litter management case study. *Ecol. Appl.* 11:1573–1585.
- ANDREWS, S.S.; MITCHELL, J.P.; MANCINELLI, R.; KARLEN, D.L.; HARTZ, T.K.; HORWATH, W.R.; PETTYGROVE, G.S.; SCOW, K.M. AND MUNK, D.S. 2002. On farm assessment of soil quality in California's central valley. *Agron. J.* 94:12-22
- ARAYA, M. 2003. Situación actual del manejo de nematodos en banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el Trópico Americano. In *Taller: manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas*. (2003, Guayaquil, Ecuador). Programa y resúmenes. USALAC/INIBAP/FUNDAGRO. pp. 31-33.
- ASTIER-CALDERÓN, M.; MAASS-MORENO, M.; ETCHEVERS-BARRA, J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605 – 620.

- AUTORIDAD NACIONAL DEL AMBIENTE (ANAM). 2009. GEO 2009. Informe del estado del ambiente. Editora Novo Art, S.A. Panamá. 155 pp.
- BAKKES, J.A., VAN DEN BORN, G.J., SWART, R.J., HOPE, C.W. AND PARKER, J.D.E. 1994. An Overview of Environmental Indicators: State of the Art and Perspectives. UNEP/EATR.04-01; Environmental Assessment Sub-Programme, UNEP, Nairobi. 72 pp.
- BAUTISTA, C.A.; ETCHEVERS, B; DEL CASTILLO, R.F.; GUTIERREZ, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistemas2004/2 (URL: w.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm). Visitada el 24 de marzo de 2008.
- BLUM, W.E.H. 1998. Problems of soil conservation. Council of Europe, Strasbourg. Nature and Environmental Series 39:62.
- BOUFIL, en Franke, G. (1984): Plantas de cultivo en el trópico y subtrópico, Edición Hirzel, Leipzig.
- BOUYOUCOS, G.L. 1951. Recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal* 43(9): 434-438.
- BREJDA, J.J.; KARLEN, D.; SMITH, J.L.; ALLAN, D. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: II. Northern Mississippi loess hills and Palouse prairie. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2125–2135.
- BUCHER, E. 2002. Soil quality characterization and remediation in relation to soil management. PhD Thesis in soil science, Department of crop and soil sciences, Pennsylvania State University. 142 pp.
- CALVO, C.; ARAYA, M. 2001. Cantidad de raíces de banano en los diez cantones productores de Costa Rica. *CORBANA*, 27(54): 47-64.
- CAMPELL, R.; GREAVES, M.P. 1990. Anatomy and community structure of the rhizosphere. In: J.M. Lynch (ed.). *The Rhizosphere*. John Wiley & Sons, New Cork. pp. 11-12.
- CANTU, M. P.; BECKER, A.; BEDANO, J.C.; SCHIAVO, H.F. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del suelo (Argentina)* 25(2): 173-178.

- CASTILLO, W.; GONZÁLEZ, J.; TREJOS, J. 2006. Análisis Multivariado de Datos. Versión preliminar, Universidad de Panamá. 312 pp.
- CATAPAN. COMISIÓN DE REFORMA AGRARIA. 1970. Informe de Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá. Panamá. Vol. I, II, y III. 505 pp.
- DALURZO, H.C.; VAZQUEZ, S; RATTO, S. 2002. Indicadores físicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina). Jornadas Científicas y Tecnológicas de la Universidad Nacional del Nordeste. Disponible en <http://www.unne.edu.ar/cyt/2002/cyt.htm>. Visitada el 12 de abril de 2008.
- DELVAUX, B. 1995. Bananas and Plantains: Soils. *In* Gowen, S. Ed. London, UK. Chapman & Hall 2-6 Boundary Row. pp. 235-315.
- DICK, R.P. 1994. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. *In*: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Minneapolis, Soil Science Society of America, 1994. p.107-124. (SSSA Special Publication, 35).
- DIRECCION NACIONAL del BANANO. 2008. Ministerio de Comercio e Industrias (MICI). Memoria 2008. Panamá. 12 pp.
- DIRECCION NACIONAL del BANANO. 2007. Ministerio de Comercio e Industrias (MICI). Memoria 2007. Panamá. 15 pp.
- DIRECCION NACIONAL del BANANO. 2003. Ministerio de Comercio e Industrias (MICI). Memoria 2003. Panamá. 14 pp.
- DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M. y LIEBIG, M.A. 1996: Soil health and sustainability. P. 1-54. *In*: Sparks, D.L. (ed.): Advances in Agronomy, 56. Academic Press Inc., San Diego, California.
- DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B. A. 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America Special Pub. 35, Madison, WI. 244 pp.
- DORAN, J.W.; JONES, J.N.; ARSHAD, M.A.; GILLEY, J.E. 1999. Determinants of soil quality and health. *In*: soil quality and soil erosion. Ed. R. Lal. CRC Press: 17- 36.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. *In*: Defining Soil Quality for a sustainable Environment. Doran, J.W.;

- Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F. and Steward, B.A. (eds), Spec. Publ. No. 35. SSSA y ASA, Inc. Madison, WI. pp. 3-21.
- DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15: 3-11.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. 1968. *Applied Regression Analysis*. John Wiley & Sons, New York. 345 pp.
- DUMANSKI, J. 1994. Indicators and their Utilization in a Framework for Evaluation of Sustainable Land Management. Proceedings of the International Workshop on Sustainable Land Management for the 21st Century. Vol.1: Workshop Summary. The Organizing Committee. International Workshop on Sustainable Land Management. Agricultural Institute of Canada, Ottawa.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2da ed. Rev. atualizada. Rio de Janeiro. 212 pp.
- ESWARAN, H.; BEINROTH, F.H.; REICH, P.F. 1999. Global land resources and population – supporting capacity. *Am. J. Altern. Agric.* 12: 225 -234
- FAO. 2007. FAOSTAT. Estadísticas sobre la productividad área sembrada y rendimientos de bananos en Latinoamérica y el Caribe. www.faostat.fao.org. Visitada el 17 de mayo de 2008.
- FAO. 2004. FAOSTAT. Estadísticas sobre la productividad, área sembrada y rendimientos de bananas en Latinoamérica y el Caribe. www.faostat.fao.org. Visitada el 17 de mayo de 2008.
- FAO. 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 90. FAO- Dirección de Producción y Protección Vegetal. Roma. 338 pp.
- FERRERA-CERRATO, R. 1989. Rizosfera. En: Ferrera-Cerrato, R. (ed.). *Ecología de la Raíz*. Sociedad Mexicana de Fitopatología, Montecillo, México. 1-21 pp.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; ANDRADE, A.C.; OLIVEIRA, R.S. 2006. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e da taxa de estratificação de carbono orgânico do solo em um Latossolo Vermelho eutroférico. *Ciência Rural*, vol 36, nº 6, 1773-1779.

- FONT VILA, L.; CALERO, B.; MUNIZ, O.; CHAVELI, P.; DEL CASTILLO, R.; MENDOZA, L.; CURBELO, R.; CORONA, W., MONTERO, R.; VALENCIANO, M. 2009. Estimación de la calidad del suelo: criterios físicos, químicos y biológicos. XVIII congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica, 16-20 de noviembre de 2009. CD-Rom.
- FORSYTHE, W. 1980. Física de Suelos: manual de laboratorio. 1ª ed. 2ª reimpresión. San José, Costa Rica; IICA. 212 pp.
- GAUGGEL, C.A.; SIERRA, F.; ARÉVALO, A. 2005. The problems of banana root deterioration and its impact on production: Latin America's experience. In: Turner, D. W.; Rosales, F.E. (eds.). Banana Root System: towards a better understanding for its productive management; Proceeding of an International Symposium. INIBAP, Montpellier, France. pp. 13-22.
- GAUGGEL, C.A.; ARÉVALO, G.A.; BARAHONA, R. 2009. Índices de calidad de suelos para las propiedades morfológicas, físicas y químicas. XVIII congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica, 16-20 de noviembre de 2009. CD-Rom.
- HERRICK, J.E.; BROWN, J. R.; TUGEL, A. J.; SHAVER, P. L.; HAVSTAD, K. M. 2002. Application of Soil Quality to Monitoring and Management: Paradigms from Rangeland Ecology. *Agronomy Journal* 94: 3-11.
- HOLDRIDGE, R. L. 1971. Life zone ecology. Tropical Science Center. Revised edition, San José, Costa Rica. 180 pp.
- HORRY, JP.; ORTIZ, E.; ARNAUD, J.H.; CROUCH, R.S.B.; FERRIS, D.R.; JONES, N.; MATEO, C.; VUYLSTEKE, D. 1997. Banana and Plantain. Pp. 67-81 *in* biodiversity in 57 Trust. Conservation and use of plant genetic resources in CGIAR centres (D. Fuccillo, L. Sears and Stapleton, eds). Cambridge University Press.
- HUND, P.G. 1990. Microbial responses in the rhizosphere in agriculture plants in rhizosphere dynamics. In: Box, J.E. and Hammond, L.C. (eds.). AAAS Selected Symposium 113. West view press, Boulder, Colorado, USA.
- IGNTG (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia). 1995. Atlas Nacional de la República de Panamá. Tercera edición. Panamá. 222 pp.

- ILRI (International Institute for Land Reclamation and Improvement). 1977. Principios y aplicaciones del drenaje: Estudios e investigaciones. Edición 16. Wageningen, Holanda. Volumen III.
- INIBAP (Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano). 1998. Los bananos y los plátanos. San José, Costa Rica. 15 pp.
- Insam, H. 2001. Developments in soil microbiology since the mid 1960. *Geoderma* 100: 389-402.
- JARAMILLO, R.; VÁSQUEZ, A. 1990. Manual de procedimientos para presentación y realización de estudios detallados de suelos y clasificación de tierras para cultivo de banano. Edición revisada. Departamento de investigaciones, San José, Costa Rica. Asociación Bananera Nacional. 29 pp.
- KARLEN, D.L; ANDREWS, S.S.; WEINHOLD, B.J.; DORAN, J.W. 2003: Soil Quality: Humankind's foundation for survival. Research editorial, *Journal of Soil and Water Conservation* 58 (4): 171-178.
- KARLEN, D.L., ANDREWS, S.S. AND DORAN, J.W. 2001. Soil quality: Current concepts and applications. *Advances in Agronomy* 74:1-40.
- KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. 1997. Soil Quality: A concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.*, Vol 61 (January-February): 4-10.
- KARLEN, D.L., N.C. WOLLENHAUPT, D.C. ERBACH, E.C. BERRY, J.B. SWAN, N.S EASH, AND J.L. JORDAHL. 1994. Long-term tillage effects on soil quality. *Soil and Tillage Research* 32: 313-327.
- LAHAV, E.; TURNER. D. 1992. Fertilización del banano para rendimientos altos. Segunda edición. Boletín N° 7. INPOFOS. Quito, Ecuador. p. 71.
- LAMARCA, C.C. 1996. Stubble over the soil: The vital role of plant residue in soil management to improve soil quality. *Agronomy Society of America*, 264 p. Madison, Wisconsin.
- LARDIZABAL, R. 2007. Producción de plátano de alta densidad. Manual de producción. EDA (Entrenamiento y desarrollo de agricultores) y MCA (Programa de la cuenta del desafío del milenio de Honduras). Publicado por

la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola y la Escuela Agrícola Panamericana. 38 pp.

LEÓN, J. 2000. Botánica de los cultivos tropicales. 3 ed. San José, Costa Rica, Editorial Agroamérica. 522 pp.

LESCOT, L. 2000. Importancia de los plátanos para cocinar en África: Oportunidades para las zonas subtropicales. *Infomusa* 9(1): 25-28.

LÓPEZ, A., J. ESPINOSA. 1995. Manual de nutrición y fertilización del cultivo del banano, una visión práctica del manejo de la fertilización. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador.

MARCELINO, L.; GONZÁLEZ, V., RÍOS, D. 2008. Manual de recomendaciones técnicas para el cultivo tecnificado del banano (*Musa paradisíaca*). IDIAP-MIDA. AECI. Panamá. 30 pp.

Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 Soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. In Soil Science Plant Analysis*. 15 (12): 1409-1416.

MENESES, A.; POCASANGRE, L.E.; SOMARRIBA, E.; RIVEROS, A.S.; ROSALES, F.E. 2003. Diversidad de hongos endofíticos y abundancia de nematodos en plantaciones de banana y plátano de la parte baja de los territorios indígenas de Talamanca. *Agroforestería de las Américas*, 10 (37): 59-62

MICHELENA, R.; IRURTIA, C.; VAVRUSKA, F.; MON, R.; PITTALUGA, A. 1989. Degradación de suelos del norte de la región Pampeana. *Publicación Técnica* 6. INTA. 14 pp.

MORÓN, A. 2004. Efecto de las rotaciones y el laboreo en la calidad del suelo. Presentado en el simposio "Fertilidad 2004" Fertilidad de suelos para una Agricultura Sustentable. Organizado por INPOFOS Cono Sur. Rosario (Argentina), 22-24 Abril 2004.

MUNSELL COLOR COMPANY. 2000. Munsell soil color charts. 617 Little Britain Road, New Windsor, NY 12553. 27 pp.

NAME, B. CORDERO, A. 1987. Alternativas para uso y manejo de suelos ácidos en Panamá. Compendio de los resultados de investigación presentados en la Jornada Científica. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Región Central. 23 pp.

- NAME, B.; VILLARREAL, J. 2004. Compendio de resultados de investigación del programa de suelos del IDIAP: Estudio de suelos ultisoles y alfisoles realizados en las Estaciones Experimentales de Calabacito, Guarumal y Río Hato. Panamá, Panamá. IDIAP. 229 pp.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. OECD. 1993. Environment Monographs N° 83. OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews. A Synthesis Report by the Group on the State of the Environment. OECD, Paris. 35 pp.
- OROZCO, R.; OROZCO, J.; SANTOS, M.; PÉREZ, O. 2004. Diagnostico y recomendación nutricional y de riego para banano en el Trópico Seco. En: Publicación Especial, XVI Reunión ACORBAT, Oaxaca, Oaxaca, México. p. 192.
- OUEDRAOGO, E.; MANDO, A.; ZOMBRE, N.P. 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agriculture Ecosystems and environment*, 84: 259-266.
- PATTISON, T.; SMITH, L.; MOODY, P.; ARMOUR, A.; BADCOCK, K.; COBON, J.; RASIAH, V.; LINDSAY, S.; GULLINO, L. 2005. Banana root and soil health project – Australia. In: Turner, D.W. and Rosales, F.E. (eds.). *Banana root system: toward a better understanding for its productive management. Proceedings of an international symposium*. INIBAP, Montpellier, France. pp. 149-165.
- PATTISON, T.; BADCOCK, K.; LINDSAY, S.; ARMOUR, A.; VELUPILLAI, R.; MOODY, P.; SMITH, L.; GULLINO, L.; COBON, J. 2004. *Banana root and soil health project – field workbook*. Department of Primary Industries and Fisheries, Queensland, Australia. 15 pp.
- PLA, I. 1988. Desarrollo de índices y modelos para el diagnóstico y prevención de la degradación de suelos agrícolas. *Mención científica*. Caracas (Venezuela). Banco Consolidado. 1989. 58 pp.
- PLA, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista Alcance* N° 32. Facultad de Agronomía. UCV - Maracay. Venezuela. 91 pp.
- POCASANGRE, L.E. 2003. Nuevas estrategias para el manejo de nematodos en Musáceas. In: *Taller manejo convencional y alternativo de la Sigatoca*

negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas. Guayaquil, Ecuador 11-13 agosto, 2003. 38 pp.

- PRICE, N.S. 1995. The origen and devolpmentof banana and plantain cultivars. Pp. 1-12 In: Bananas and Plantains (S. Gowen, ed). Chapman and Hall, London, UK.
- QUIROGA, A; ORMEÑO, O.; PEINEMANN, N. 2000. Materia orgánica. Un indicador de calidad de suelo relacionado con la productividad de los cultivos. Libro de Resúmenes del XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, 11-14 de abril del 2000. Comisión IV- Panel No 48.
- REY, J.C; CHACÍN, M; SAPUKY, M; NÚÑEZ, M; MARTÍNEZ, G; RODRÍGUEZ, G; ESPINOZA, J; ARTURO, M; POCASANGRE, L; DELGADO, E; ROSALES, F. 2006. Aptitud de las tierras para banano en suelos de Venezuela y su relación con la productividad. Reunión Internacional ACORBAT 2006. Joinville, Brasil.
- ROSALES, F.; POCASANGRE, L.; TREJOS, J. 2009. Sistema para el diagnóstico y la calidad de los suelos. Memorias del III Congreso Científico Bananero Nacional. CORBANA. Guapiles Costa Rica. pp. 134-137.
- RUBIO, C.; LLORENS, P. 2003. Evaluación del uso de funciones de edafotransferencia para la determinación de propiedades hidrodinámicas en suelos franco-limosos (cuencas experimentales de vallcebre, alt llobregat). Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI. J. Álvarez-Benedí y P. Marinero. pp. 137-142.
- RUFYIKIRI, G.; NOOTENS, D.; DUFEY, J.E.; DELVAUX, B. 2001. Effect of aluminium on bananas (*Musa spp.*) cultivated in acid solutions. II. Water and nutrient uptake. *Fruits*, 56(1): 5-15.
- RUFYIKIRI, G.; NOOTENS, D.; DUFEY, J.E.; DELVAUX, B. 2000. Effect of aluminium on bananas (*Musa spp.*) cultivated in acid solutions. I. Plant growth and chemical composition. *Fruits*, 55(6): 367-378.
- SANCHEZ, P.A.; PALM, C. A.; BUOL, S.W. 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. p. 157- 186. In: Sposito, G. and Zabel, A. (eds): The assessment of soil quality. An International Journal of Soil Science, Special issue, 114.

- SQI – Soil Quality Institute. 1996. Indicator for soil quality evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with the Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory. Agricultural Research Service. USA.
- SERRANO, E.; SANDOVAL, J.; POCASANGRE, L.; ROSALES, F.; DELGADO, E. 2006. Importancia de los indicadores físico-químicos en la calidad del suelo para la producción sustentable del banano en Costa Rica. XVII Reuniao Internacional da Associação para a Cooperaçao nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na América Tropical. 15-20 de outubro de 2006. Joinville-Santa Catarina, Brasil. pp. 167-182.
- SERRANO, E. 2003. Relación entre los contenidos de raíz funcional y la productividad de banano en Costa Rica. In: INIBAP-CORBANA. Banana root system: toward a better understanding for its productive management. Abstracts, International Symposium, San José, Costa Rica, 3-5 Noviembre. 28 pp.
- SCHJONNING, P.; ELMHOLT, S.; CHRISTENSEN, B.T. 2004. Soil quality management concepts and terms. P. 1-15. In: Schjonning P. S. Elmholt and BT Christensen (eds). Managing soil quality challenges in modern agriculture. CABI publishing.
- SHARROCK, SL.; HORRY, JP.; FRISON, EA. 2001. The state of the use of *Musa* diversity. In: H.D. Cooper, Spillame, C., Hodgkin, T. (eds). Broadening the Genetic base of Crop Production. IPGRI/FAO 2001. pp. 223-243.
- SIMMONDS, NW. 1966. Bananas. 2nd ed. Longman. London. 345 pp.
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (SSSA) 1994. SSSA statement on soil quality, Agron. News, June 1994: 7, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- SOTO, M. 1992. Banano cultivo y comercialización. 2 ed. San José, CR. Imprenta LIL, S.A. pp. 42-44.
- SOTO, M. 1990. Bananos: Cultivo y comercialización. Segunda edición. San José, CR. 627 pp.
- STOVER, RH.; SIMMONDS, NW. 1989. Bananas. 3 ed. Longman, Singapore Publishers. 468 pp.

- STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. 2004. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, nº3, pp. 755-760.
- SWIFT, M.J. 1999. Integrating soils, systems and society. *Nature and Resources* 35(4).
- TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. 1998. A direct extraction method to estimate microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. *Soil Biol. Biochem.* Oxford 20: 329 – 335.
- TREJOS, J.; VILLALOBOS, M. 2008. Procedimiento de construcción del índice de calidad y salud de suelos bananeros de Costa Rica. CIMPA, Escuela de matemática. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Reporte Técnico. 21 pp.
- USDA. 1995. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigation Report no. 42. USDA-NRCS. U.S. Gov. Printing Office, Washington, D.C.USA.
- VAQUERO, R. 2005. Soil physical properties and banana root growth. In: Turner, D.W.; and Rosales, F.E. (eds.). banana root system: toward a better understanding for its productive management: Proceedings of an international symposium held in San José, Costa Rica, 3-5 November 2003. pp. 125-131.
- VIMPANY, I.; JOHNS, G.; ATKINSON, I. 1991. Fertilising bananas in New South Wales. In: Bevan, P. Ed. Wollongbar Agricultural Institute, Wollongbar, AU. 22 pp.
- VILLALOBOS, M.A. 2006. Rango y curvas de respuesta de los indicadores de calidad de suelos bananeros en fincas de Costa Rica. En: Simposio sobre Innovaciones tecnológicas para el manejo y mejoramiento de la calidad y salud de suelos bananeros de América Latina y el Caribe, Panamá 3-7 de diciembre de 2006. 15 pp.
- VILLARREAL, J.E.; AGUDO, L.; VILLALÁZ, J.; AROSEMENA, J.; ROSALES, F.; POCASANGRE, L.; DELGADO, E. 2008. Calidad de suelos bananeros de Panamá. I Congreso Internacional de Plátano y banano. IDIAP- CIAOC. David. 22-24 de agosto de 2007. pp. 41-45.

WALTER, G.; WANDER, M.M.; BOLLERO, G.A. 1997. A farmer-centered approach to developing information for soil resource management: the Illinois soil quality initiative. *American Journal of Alternative Agriculture* 12: 64- 72.

WARKENTIN, B.P.; FLETCHER, H.F. 1977. Soil quality for intensive agriculture. *Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management*. In: *Intensive Agriculture Society Science Soil and Manure*, National Institute of Agriculture Science, Tokyo. pp. 594-598.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Los Ángeles

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l		cmol _c /kg		mg/l						
4586	M-1	0-17	Pardo Amarillento	32 48 20	5.4	136	168	7.0	1.6	0.9	0.86	10	139	2	4	F
4587	M-2	17-39	Pardo Amarillento	36 50 14	6.1	70	78	8.0	2.3	0.4	0.19	8	96	1	8	FL
4588	M-3	39-60	“ “	42 50 8	6.3	76	49	6.7	1.5	0.3	0.01	7	110	1	6	F

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.Orgánico (%)	Aluminio cmol _c /kg	Sodio cmol _c /kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
4586	0.03	0.14	3	0.5	0.4	0.28	5	0.01
4587	0.01	0.12	5	0.11	0.2	0.35	4	0.01
4588	0.0004	0.12	3.5	0.01	0.1	0.34	6	0.01

Anexo 1a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de finca Los Ángeles

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia				
		Húmedo	Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
						Pegajosidad	Plasticidad		
0-23	10 YR 3/4	Débil	Mediana	B.Ang/B.suban	Muy pegajosa	Muy plástica	Firme	Lig. dura	
23-38	10 YR 4/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Friable	Lig. dura	
38-60	10 YR 5/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Friable	Blanda	
		Moteos			Raíces				
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización		
0-23	Pocos	Finos	Tenues	Difusa	Finas	Comunes	Transpedales		
23-38	Comunes	Medianos	Definidos	Clara	Muy finas	Pocas	Transpedales		
38-60	Comunes	Medianos	Definidos	Clara	Muy finas	Pocas	Interpedales		

Anexo 2. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Los Ángeles

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l		cmol _c /kg		mg/l						
4574	M-1	0-18	P. amarillento	26 48 26	6.1	76	189	11.0	37.5	0.4	0.37	21	118	3	11	FL
4575	M-2	18-39	Pardo Grisáceo	34 36 30	6.3	58	100	12.4	29.2	0.3	0.57	42	94	2	11	FA
4576	M-3	39-60	Gris Claro	40 38 22	6.4	66	49	9.1	3.33	0.2	0.19	8	68	1	5	F

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O (%)	Aluminio cmol _c /kg	Sodio cmol _c /kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
4574	0.01	0.20	2.0	0.22	0.2	0.23	21	0.01
4575	0.02	0.14	2.5	0.33	0.1	0.22	8	0.01
4576	0.01	0.14	3.5	0.11	0.1	0.41	9	0.01

Anexo 2a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de Finca Los Ángeles

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-23	10 YR 3/4	Débil	Mediana	B.Ang/B.suban	Muy pegajosa	Muy plástica	Firme	Lig. dura
23-38	10 YR 4/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Friable	Lig. dura
38-60	10 YR 5/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Friable	Blanda
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-23	Pocos	Finos	Tenues	Difusa	Finas	Comunes	Transpedales	
23-38	Comunes	Medianos	Definidos	Clara	Muy finas	Pocas	Transpedales	
38-60	Comunes	Medianos	Definidos	Clara	Muy finas	Pocas	Interpedales	

Anexo 3. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca San Antonio

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l			cmol./kg			mg/l				
4643	M-1	0-24	Pardo	38 52 10	6.2	109	1400	7.4	4.5	0.2	0.97	12	125	6	4	FL
4644	M-2	24-48	“	48 44 8	6.3	73	550	7.3	2.7	0.2	0.01	7	102	7	10	F
4645	M-3	48-60	“	80 18 2	6.5	73	153	6.2	1.5	0.2	0.01	6	80	8	5	ArF

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O (%)	Aluminio cmol./kg	Sodio cmol./kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
4643	0.04	0.40	2	0.56	0.1	0.30	1.9	0.01
4644	0.0003	0.22	2	0.01	0.1	0.26	1.3	0.01
4645	0.0002	0.12	2	0.01	0.1	0.24	1.3	0.01

Anexo 3a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de Finca San Antonio

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-30	10 YR 3/3	Fuerte	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Friable	Blanda
30-45	10 YR 3/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Lig. Pegajosa	Plástica	Muy Friable	Blanda
45-60	10 YR 4/3	Fuerte	Firme	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Muy Friable	Blanda
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-30	Pocos	Medianos	Definidos	Difusa	Medianas	Comunes	Transpedales	
30-45	Pocos	medianos	Tenues	Difusa	Finas	Pocas	Transpedales	
45-60	Pocos	Finos	Tenues	Difusa	Muy finas	Pocas	Interpedales	

Anexo 4. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca San Antonio

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l		cmol./kg				mg/l				
4658	M-1	0-25	Pardo Palido	72 26 2	4.9	107	233	4.7	1.0	0.2	0.57	15	96	5	2	FAr
4659	M-2	25-44	“ “	80 18 2	5.5	107	233	5.3	1.5	0.2	0.76	18	94	9	1	ArF
4660	M-3	44-60	“ “	78 20 2	5.8	98	192	6.9	2.2	0.2	0.86	24	90	6	1	ArF

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O. (%)	Aluminio cmol./kg	Sodio cmol./kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
4658	0.02	0.34	16	0.33	0.1	0.13	16	0.01
4659	0.01	0.38	18	0.44	0.1	0.13	14	0.01
4660	0.02	0.16	17	0.50	0.1	0.12	12	0.01

Anexo 4a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de Finca San Antonio

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
0-22	10 YR 2/2	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosidad Lig. pegajosa	Plasticidad Plástica	Friable	Lig. dura
22-45	10 YR 2/2	Débil	Gruesa	Laminar	No plástica	No Plástica	Firme	Lig. dura
45-60	10 YR 3/3	Grano suelto	Gruesa	Laminar	No plástica	No plástica	Suelta	Suelta
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-22	Pocos	Finos	Tenues	Difusa	Medianas	Comunes	Transpedales	
22-45	Pocos	Finos	Tenues	Difusa	Medianas	Comunes	Transpedales	
45-60	Pocos	Finos	Tenues	Difusa	Muy finas	Pocas	Interpedales	

Anexo 5. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Santa Cecilia

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l			cmol/kg			mg/l				
5068	M-1	0-25	Pardo Palido	40 40 20	5.8	50	134	7.8	1.5	0.2	3.55	7	106	3	5	F
5069	M-2	25-38	Pardo Grisáceo	34 40 26	6.2	9	141	9.8	3.0	0.1	3.15	11	95	1	10	F
5070	M-3	38-60	“ “	20 46 34	6.1	30	172	8.5	2.4	0.2	2.52	17	135	1	10	FA

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O. (%)	Aluminio cmol/kg	Sodio cmol/kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
5068	0.12	0.12	1	2.06	0.1	0.09	5.2	16.93
5069	0.11	0.18	1	1.83	0.1	0.10	3.85	2.01
5070	0.09	0.10	1	1.47	0.1	0.09	2.53	0.41

139

Anexo 5a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de Finca Santa Cecilia

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-20	10 YR 2/2	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Muy pegajosa	Muy plástica	Firme	Lig. dura
20-36	10 YR 3/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Muy plástica	Friable	Lig. dura
36-60	10 YR 3/2	Fuerte	Gruesa	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Muy firme	Blanda
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-20	Pocos	Finos	Tenues	Difusa	Finas	Pocas	Transpedales	
20-36	Comunes	Medianos	Definidos	Clara	Muy finas	Pocas	Interpedales	
36-60	Comunes	Medianos	Definidos	Clara	Muy finas	Pocas	Interpedales	

Anexo 6. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Santa Cecilia

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																	
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A		pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%			mg/l	cmol./kg	%	mg/l							
5083	M-1	0-26	Pardo Palido	48	42 10	5.3	53	260	7.7	2.2	0.2	1.39	15	134	2	6	F
5084	M-2	26-45	“ “	96	2 2	5.5	67	172	1.3	0.3	0.5	0.01	4	67	0.01	0.01	Ar
5085	M-3	45-60	“ “	96	2 2	5.7	48	164	2.0	0.5	0.4	0.01	5	53	1	0.01	Ar

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O. (%)	Aluminio cmol./kg	Sodio cmol./kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
5083	0.04	0.12	0.4	0.81	0.1	0.15	7.98	7.94
5084	0.0003	0.10	1.0	0.01	0.2	0.12	3.85	3.77
5085	0.0003	0.10	1.7	0.01	0.2	0.17	5.9	4.78

Anexo 6a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de Finca Santa Cecilia

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-26	10 YR 2/2	Débil	Gruesa	B.Ang/B.suban	Muy pegajosa	Muy plástica	Friable	Blanda
26-45	10 YR 3/4	Moderada	Fina	B.Ang/B.suban	No pegajosa	No plástica	Suelta	Suelta
45-60	10 YR 3/6	Moderada	Mediana	Laminar	No pegajosa	No plástica	Suelta	Suelta
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-26	Pocos	Finos	Tenues	Difusa	Finas	Comunes	Transpedales	
26-45	Comunes	Medianos	Definidas	Clara	Muy finas	Pocas	Interpedales	
45-60	Pocos	Finos	Tenues	Difusa	Muy finas	Pocas	Interpedales	

Anexo 7. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Margarita

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																		
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A			pH	Fósforo mg/l	Potasio mg/l	Calcio cmol./kg	Magnesio cmol./kg	Acidez cmol./kg	M.O %	Manganeso mg/l	Hierro mg/l	Zinc mg/l	Cobre mg/l	Textura
				%	%	%												
4428	M-1	0-23	Pardo Grisáceo Oscuro	38	50	12	4.9	100	178	8.2	2.5	0.4	1.17	12	153	6	7	FL
4429	M-2	23-47	Pardo Amarillento	28	48	24	5.2	98	118	8.3	2.8	0.3	0.37	9	130	5	13	FL
4430	M-3	47-60	“ “	36	52	12	5.5	120	53	7.0	2.8	0.3	0.19	8	93	3	13	FL

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O. (%)	Aluminio cmol./kg	Sodio cmol./kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
4428	0.04	0.60	25	0.68	0.2	0.36	9.41	2.8
4429	0.01	0.32	24	0.22	0.1	0.36	3.85	0.01
4430	0.006	0.22	20	0.11	0.1	0.42	3.19	0.01

Anexo 7a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de Finca Margarita

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
0-25	10 YR 2/2	Fuerte	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Muy Plástica	Muy Friable	Blanda
25-45	10 YR 3/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
45-60	10 YR 4/4	Fuerte	Fina	B.Ang/B.suban	Lig. Pegajosa	Lig. Plástica	Friable	Lig. dura
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-25	Pocas	Finos	Tenues	Difusa	Medianas	Comunes	Transpedales	
25-45	Comunes	Finos	Definidas	Clara	Finas	Pocas	Transpedales	
45-60	Abundantes	Finos	Tenues	Abrupta	Muy finas	Pocas	Interpedales	

Anexo 8. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Margarita

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l			cmol _e /kg		%	mg/l				
4446	M-1	0-22	Pardo	54 30 16	6.2	26	81	8.2	4.6	0.4	0.66	22	155	7	5	FAr
4447	M-2	22-33	Pardo Grisáceo	50 36 14	6.5	35	52	9.6	5.9	0.2	0.28	8	102	6	5	F
4448	M-3	33-60	Gris Claro	42 40 18	6.7	95	43	9.5	6.1	0.2	0.19	5	82	2	5	F

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O. (%)	Aluminio cmol _e /kg	Sodio cmol _e /kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
4446	0.01	0.44	45	0.38	0.2	0.36	2.53	1.3
4447	0.006	0.26	61	0.16	0.1	0.46	3.85	2.8
4448	0.004	0.20	62	0.11	0.1	0.41	2.53	0.01

142

Anexo 8a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de Finca Margarita

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
0-25	10 YR 3/2	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Friable	Lig. dura
25-38	10 YR 3/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Friable	Blanda
38-60	10 YR 3/3	Débil	Mediana	Laminar	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Muy Friable	Lig. dura
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-25	Pocas	Finos	Tenues	Difusa	Medianas	Comunes	Transpedales	
25-38	Comunes	Medianos	Definidas	Abrupta	Muy finas	Pocas	Interpedales	
38-60	Comunes	Medianos	Definidas	Clara	Muy finas	Pocas	Interpedales	

Anexo 9. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Balsas

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l	mg/l	cmol./kg	mg/l	mg/l		mg/l				
5177	M-1	0-20	Pardo	56 34 10	4.1	29	602	18.6	7.6	2,7	2.77	48	200	9	67	FAr
5178	M-2	20-40	Pardo Palido	30 30 40	5.4	17	548	31.5	10.6	0,4	0.97	11	249	4	8	FA
5179	M-3	40-60	“ “	38 22 40	5.7	16	336	26.5	9.5	0,3	0.97	8	166	34	2	FA

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O. (%)	Aluminio cmol./kg	Sodio cmol./kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
5177	0.10	0.32	40	1.61	1.3	0.20	1.88	18.96
5178	0.03	0.14	20	0.56	0.2	0.19	5.88	15.63
5179	0.02	0.16	2	0.56	0.2	0.17	17.94	21.82

143

Anexo 9a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de Finca Balsas

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia				
		Húmedo	Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
						Pegajosidad	Plasticidad		
0-25	10 YR 5/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban		Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
25-40	10 YR 5/2	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban		Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
40-60	10 YR 5/1	Moderada	Fina	B.Ang/B.suban		Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Blanda
			Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización		
0-25	Abundantes	Medianos	Prominentes	Clara	Medianas	Pocas	Transpedales		
25-40	Abundantes	Medianos	Prominentes	Clara	Medianas	Pocas	Transpedales		
40-60	Abundantes	Medianos	Prominentes	Clara	Finas	Pocas	Transpedales		

Anexo 10. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Balsas

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l	cmol./kg	cmol./kg	cmol./kg	%	mg/l	mg/l				
5189	M-1	0-23	Pardo Palido	56 22 22	5.2	38	516	32.0	10.3	0.4	0.97	35	179	2	69	FAAr
5190	M-2	23-46	“ “	48 42 10	5.6	24	305	27.5	10.0	0.3	0.67	10	174	3	4	F
5191	M-3	46-60	P. Amarillento	50 48 2	5.9	17	188	18.8	8.3	0.3	0.07	7	126	3	0.01	FAr

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O. (%)	Aluminio cmol./kg	Sodio cmol./kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
5189	0.02	0.55	50	0.56	0.2	0.16	9.4	15.6
5190	0.01	0.18	10	0.39	0.1	0.19	6.6	10.75
5191	0.002	0.12	3	0.04	0.1	0.17	2.5	11.3

144

Anexo 10a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de Finca Balsas

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
	Húmedo	Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-21	10 YR 4/4	Moderada	Gruesa	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
21-43	10 YR 6/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Firme	Lig. dura
43-60	10 YR 5/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-21	Pocas	Finos	Tenues	Difusa	Medianas	Pocas	Transpedales	
21-43	Abundantes	Medianos	Definidas	Clara	Finas	Pocas	Interpedales	
43-60	Abundantes	Medianos	Definidas	Clara	Finas	Pocas	Interpedales	

Anexo 11. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Higuitos

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l			
5309	M-1	0-22	Pardo Palido	40 48 12	6.5	33	821	23.0	9.10	0.2	1.07	15	191	2	42	F
5310	M-2	22-42	Pardo Palido	38 48 14	6.7	29	316	23.2	10.4	0.2	0.57	8	144	2	69	FL
5311	M-3	42-60	Pardo Palido	52 40 8	6.7	19	256	19.2	8.9	0.2	0.28	5	157	.01	8	FAr

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O. (%)	Aluminio cmol _c /kg	Sodio cmol _c /kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
5309	0.03	0.36	8	0.62	0.1	0.36	3.19	0.01
5310	0.02	0.10	2	0.33	0.1	0.40	1.88	0.01
5311	0.01	0.50	2	0.16	0.1	0.39	1.88	0.01

145

Anexo 11a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de Finca Higuitos

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-19	10 YR 3/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Friable	Blanda
19-40	10 YR 4/4	Fuerte	Fina	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Blanda
40-60	10 YR 4/6	Fuerte	Fina	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Muy Friable	Blanda
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-19	Pocas	Medianos	Definidas	Clara	Finas	Comunes	Transpedales	
19-40	Pocas	Finos	Tenues	Difusa	Muy finas	Pocas	Transpedales	
40-60	Pocas	Finos	Tenues	Difusa	Muy finas	Pocas	Interpedales	

Anexo 12. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Higuitos

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																		
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A		pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura	
				%			mg/l			cmol/kg			mg/l					
5306	M-1	0-15	Pardo Palido	32	48	20	5.2	33	430	27.6	11.7	0.6	1.17	9	113	2	234	F
5307	M-2	15-32	Pardo Amarillento	32	46	22	5.8	13	168	23.5	10.7	0.3	0.67	6	135	1	33	F
5308	M-3	32-60	Pardo Amarillento	62	32	6	6.1	11	168	17.7	8.9	0.3	0.01	7	155	1	7	FAr

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O. (%)	Aluminio cmol _c /kg	Sodio cmol _c /kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
5306	0.03	0.18	4	0.68	0.3	0.39	1.88	0.01
5307	0.02	0.18	2	0.39	0.1	0.40	7.27	0.01
5308	0.0002	0.12	2	0.01	0.1	0.39	1.88	0.01

146

Anexo 12a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de Finca Higuitos

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia				
		Húmedo	Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
						Pegajosidad	Plasticidad		
0-20	10 YR 3/2	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban		Muy Pegajosa	Plástica	Friable	Lig. dura
20-40	10 YR 4/2	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban		Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
40-60	10 YR 5/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B suban		Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
		Moteos			Raíces				
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización		
0-20	Comunes	Gruesos	Prominentes	Abruptas	Finas	Comunes	Transpedales		
20-40	Comunes	Medianos	Definidas	Clara	Medianas	Pocas	Interpedales		
40-60	Comunes	Medianos	Definidas	Clara	Medianas	Pocas	Interpedales		

Anexo 13. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Mango

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Aluminio	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l			cmol/kg			mg/l				
5530	1	0-10	P. Amarillento	48 34 18	4.2	38	821	30.0	25.6	1.6	1.07	66	168	2	79	F
5531	2	10-40	“ “	32 54 14	5.0	24	281	31.9	26.5	0.3	0.96	10	156	0,01	26	FL
5532	3	40-60	“ “	28 50 22	5.6	15	234	34.2	30.5	0.1	0.86	9	176	1	11	F

No. Laboratorio	C.E mS/m	Na cmol/kg	Boro mg/l	Azufre mg/l	Nitrato mg/l	Nitrito mg/l	N %	CO %	Al cmol/kg
5530	1.00	0.23	1.2	22.3	5	2.5	0.04	0.62	3.4
5531	0.50	0.26	1.4	16.7	7	2.2	0.05	1.65	0.7
5532	0.38	0.30	1.0	17.4	3	2.3	0.05	0.5	0.2

147

Anexo 13a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de Finca Mango

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-20	10 YR 4/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
20-40	10 YR 4/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
40-60	10 YR 4/6	Moderada	Fina	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-20	Pocas	Medianos	Tenues	Difusa	Finas	Comunes	Transpedales	
20-40	Pocas	Finos	Tenues	Difusa	Medianas	Comunes	Transpedales	
40-60	Comunes	Finos	Tenues	Difusa	Medianas	Comunes	Interpedales	

Anexo 14. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Mango

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Aluminio	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l				
5542	1	0-10	Pardo PALIDO	38 46 16	6.0	87	2463	30.0	18.0	0.1	1.07	9	67	5	308	F
5543	2	10-25	PARDO AMARILLO	36 46 18	6.0	68	2267	36.9	26.7	0.1	0.76	10	126	1	146	F
5544	3	25-60	“ “	72 24 4	5.9	21	508	33.4	18.0	0.2	0.01	6	124	TR	1	FAr

No. Laboratorio	C.E mS/m	Na cmol/kg	Boro mg/l	Azufre mg/l	Nitrato mg/l	Nitrito mg/l	N %	CO %	Al cmol/kg
5542	0.32	0.19	1.8	26.4	7	Mayor de 30	0.04	0.62	0.2
5543	0.60	0.19	1.8	26.3	12	Mayor de 30	0.05	0.44	0.2
5544	0.22	0.21	1.9	22.7	6	Mayor de 30	0.05	0.006	0.5

Anexo 14a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de Finca Mango

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-25	10 YR 4/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Friable	Lig. dura
25-50	10 YR 4/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Lig. Pegajosa	Lig. Plástica	Friable	Lig. dura
50-60	10 YR 4/4	Débil	Gruesos	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Muy Friable	Blanda
		Moteos			Raíces			
		Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización
0-25		Pocas	Medianos	Definidas	Clara	Finas	Comunes	Transpedales
25-50		Pocas	Finos	Tenues	Difusa	Muy finas	Pocas	Transpedales
50-60		Pocas	Finos	Tenues	Difusa	Muy finas	Pocas	Interpedales

Anexo 15. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Palo Blanco

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l	cmol/kg	cmol/kg	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l			
5321	M-1	0-12	Pardo Amarillento	58 22 20	6.5	53	1407	22.0	10.5	0.2	2.28	10	113	2	120	FAr
5322	M-2	12-34	Pardo Amarillento	26 54 20	6.7	38	467	25.5	10.9	0.2	0.97	8	173	2	26	FL
5323	M-3	34-60	“ “	26 54 20	6.2	11	224	16.6	10.1	0.3	1.39	7	138	1	15	FL

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O. (%)	Aluminio cmol/kg	Sodio cmol/kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
5321	0.07	0.38	6	1.33	0.1	0.36	7.3	0.01
5322	0.03	0.28	2	0.56	0.1	0.36	5.9	0.01
5323	0.05	0.18	2	0.81	0.1	0.37	5.9	9.0

Anexo 15a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de Finca Palo Blanco

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia				
		Húmedo	Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
						Pegajosidad	Plasticidad		
0-25	10 YR 3/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban		Pegajosa	Plástica	Firme	Lig. dura
25-36	10 YR 4/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban		Muy Pegajosa	Plástica	Friable	Lig. dura
36-60	10 YR 5/3	Fuerte	Mediana	B.Ang/B.suban		Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Blanda
		Moteos			Raíces				
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización		
0-25	Comunes	Gruesos	Definidas	Clara	Finas	Abundantes	Transpedales		
25-36	Comunes	Medianos	Definidas	Clara	Medianas	Comunes	Transpedales		
36-60	Abundantes	Finos	Tenues	Difusa	Finas	Comunes	Transpedales		

Anexo 16. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Palo Blanco

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l			cmol/kg			mg/l				
5342	M-1	0-15	PARDO PALIDO	34 34 32	5.0	72	208	20.5	10.6	2.1	1.07	11	157	1	44	FA
5343	M-2	15-35	PARDO PALIDO	28 40 32	5.4	31	141	21.2	10.6	1.0	1.49	10	160	1	11	FA
5344	M-3	35-60	PARDO PALIDO	26 44 30	6.4	23	141	24.0	7.0	0.3	1.82	11	155	.01	5	FA

No. Laboratorio	N (%)	C.E. mS/m	NO ₃ mg/l	C.O. (%)	Aluminio cmol/kg	Sodio cmol/kg	Azufre mg/l	Boro mg/l
5342	0.03	0.24	3	0.62	0.1	0.36	5.20	0.01
5343	0.04	0.20	2	0.87	0.1	0.36	0.01	0.01
5344	0.04	0.12	1	1.06	0.1	0.36	4.52	0.01

150

Anexo 16a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de Finca Palo Blanco

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-15	10 YR 3/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
15-43	10 YR 4/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
43-60	10 YR 5/3	Fuerte	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-15	Pocas	Finos	Tenues	Difusa	Finas	Pocas	Transpedales	
15-43	Comunes	Medianos	Definidas	Clara	Medianas	Pocas	Transpedales	
43-60	Abundantes	Finos	Prominentes	Clara	Finas	Pocas	Interpedales	

Anexo 17. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Jagua

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																		
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A		pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura	
				%			mg/l		cmol/kg				mg/l					
220	1	0-25	PARDO AMARILLO CLARO	30	56	14	5.3	41	534	17.3	9.2	0.1	0.47	6	117	3	79	FL
221	2	25-35	“ “	40	50	10	6.0	8	168	16.8	6.8	0.1	0.01	6	920	2	12	F
222	3	35-60	“ “	48	44	8	5.6	13	236	15.5	6.7	0.1	0.76	9	116	3	19	F

No. Laboratorio	C.E mSm	Na cmol/kg	Boro mg/l	Azufre mg/l	Nitrato mg/l	Nitrito mg/l	N %	CO %	Al cmol/kg
220	0.80	0.30	9.6	21.3	20	30	0.02	0.27	0.1
221	0.32	0.30	0.41	20.5	5	30	0.0004	0.01	0.05
222	0.72	0.44	0.44	24.9	17	30	0.03	0.44	0.05

Anexo 17a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de Finca Jagua

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
0-35	10 YR 4/6	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosidad	Plasticidad	Muy Friable	Lig. dura
35-45	10 YR 3/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
45-60	10 YR 3/6	Débil	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Muy Friable	Blanda
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-35	Pocas	Finos	Tenues	Difusa	Finas	Comunes	Transpedales	
35-45	Abundantes	Medianos	Definidas	Clara	Medianas	Comunes	Interpedales	
45-60	Pocas	Finos	Tenues	Difusa	Medianas	Pocas	Interpedales	

Anexo 18. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Jagua

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l			cmol _c /kg			mg/l				
229	1	0-15	P. Amarillo Claro	34 56 10	6.1	55	974	26.9	31.6	0.1	2.17	24	249	5	21	FL
230	2	15-40	“ “	34 56 10	6.3	21	371	28.2	38.7	0.1	1.28	10	231	4	10	FL
231	3	40-60	“ “	78 20 2	6.0	25	274	20.1	35.2	0.1	0.01	9	157	2	3	ArF

No. Laboratorio	C.E mS/m	Na cmol _c /kg	Boro mg/l	Azufre mg/l	Nitrato mg/l	Nitrito mg/l	N %	CO %	Al cmol _c /kg
229	1.40	0.38	0.01	21.3	2	0.10	0.09	1.26	0.05
230	0.85	0.46	0.01	16.3	2	1.0	0.05	0.74	0.05
231	0.75	0.42	0.01	17.1	5	2.0	0.0004	0.01	0.05

Anexo 18a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de Finca Jagua

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-20	10 YR 4/2	Débil	Fina	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
20-35	10 YR 4/4	Débil	Fina	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Muy Friable	Lig. dura
35-60	10 YR 5/2	Moderada	Fina	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Firme	Lig. dura
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-20	Comunes	Finos	Tenues	Difusa	Finas	Pocas	Transpedales	
20-35	Comunes	Finos	Tenues	Difusa	Medianas	Pocas	Interpedales	
35-60	Abundantes	Moteos	Prominentes	Clara	Medianas	Pocas	Interpedales	

Anexo 19. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Javillo

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																		
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A			pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%				mg/l			cmol/kg			mg/l				
176	1	0-15	P. Amarillo Claro	50	32	18	4.0	38	446	10.55	4.4	5.3	1.07	23	132	3	80	F
177	2	15-45	“ “	40	44	16	5.4	4	130	18.8	6.9	0.3	0.57	7	106	2	10	F
178	3	45-60	“ “	32	52	16	5.9	2	67	22.1	8.9	0.1	0.57	8	120	2	6	FL

No. Laboratorio	C.E mS/m	Na cmol/kg	Boro mg/l	Azufre mg/l	Nitrato mg/l	Nitrito mg/l	N %	CO %	Al cmol/kg
229	0.80	0.14	1.34	7.98	20	1.5	0.05	0.62	2.6
230	0.46	0.10	5.81	6.57	5	1.5	0.03	0.33	0.1
231	0.40	0.10	4.78	37.8	2	1.0	0.03	0.33	0.1

153

Anexo 19a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de Finca Javillo

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia				
		Húmedo	Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
						Pegajosidad	Plasticidad		
0-22	10 YR 4/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban		Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
22-41	10 YR 4/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban		Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
41-60	10 YR 4/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban		Pegajosa	Plástica	Muy Friable	Lig. dura
Moteos					Raíces				
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización		
0-22	Pocos	Medianos	Tenues	Difusa	Medianas	Pocas	Transpedales		
22-41	Abundantes	Finos	Definidos	Clara	Medianas	Comunes	Interpedales		
41-60	Comunes	Finos	Definidos	Clara	Finas	Pocas	Interpedales		

Anexo 20. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Javillo

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l			cmol _c /kg			mg/l				
164	1	0-10	P. Amarillo Claro	38 46 16	4.8	37	252	14.6	7.7	0.4	1.49	17	131	58	92	FL
165	2	10-45	“ “	48 42 10	5.9	13	122	22	7.3	0.1	0.57	9	104	43	9	F
166	3	45-60	“ “	48 40 12	6.2	5	117	19.9	6.4	0.1	0.67	8	113	30	5	F

No. Laboratorio	C.E mS/m	Na cmol _c /kg	Boro mg/l	Azufre mg/l	Nitrato mg/l	Nitrito mg/l	N %	CO %	Al cmol _c /kg
164	1.10	0.35	6.33	17.12	50	3.0	0.06	0.86	0.2
165	0.68	0.34	4.33	11.63	10	3.0	0.02	0.33	0.1
166	0.34	0.33	0.01	8.69	5	1.0	0.03	0.39	0.1

Anexo 20a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de Finca Javillo

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-28	10 YR 4/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Muy Friable	Lig. dura
28-43	10 YR 4/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Friable	Lig. dura
43-60	10 YR 4/6	Débil	Fina	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Muy Friable	Blanda
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-28	Comunes	Finos	Definidas	Clara	Muy Finas	Comunes	Transpedales	
28-43	Pocas	Finos	Tenues	Difusa	Medianas	Comunes	Interpedales	
45-60	Pocas	Finos	Tenues	Clara	Finas	Pocas	Interpedales	

Anexo 21. Análisis físico-químico del suelo. Área de alta productividad de Finca Caoba

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Laboratorio	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A %	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
						mg/l		cmol./kg				mg/l				
188	1	0-15	P. Amarillo Claro	36 44 20	5.9	45	551	16.0	6.3	0.1	2.28	20	106	6	140	F
189	2	15-30	“ “	32 48 20	6.0	24	192	21.9	9.4	0.1	0.57	4	117	7	18	F
190	3	30-40	“ “	38 58 4	6.2	11	141	20.2	8.0	0.1	0.28	5	99	3	12	FL
191	4	40-60	“ “	32 58 10	6.2	8	149	18.6	8.2	0.1	0.67	7	132	4	11	FL

No. Laboratorio	C.E mS/m	Na cmol./kg	Boro mg/l	Azufre mg/l	Nitrato mg/l	Nitrito mg/l	N %	CO %	Al cmol./kg
188	0.65	0.23	28.1	26.8	25	> 3.0	0.11	1.33	0.1
189	0.50	0.37	6.86	17.9	5	1.5	0.03	0.33	0.1
190	0.36	0.29	11.33	18.8	5	1.5	0.01	0.16	0.1
191	0.50	0.29	14.4	16.5	5	> 3.0	0.03	0.39	0.1

Anexo 21a. Características físicas del perfil del suelo. Área de alta productividad de Finca Caoba

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
	Húmedo	Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-20	10 YR 4/4	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
20-35	10 YR 4/6	Moderada	Fina	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Blanda
35-60	10 YR 3/4	Débil	Mediana	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. Dura
	Moteos				Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-20	Comunes	Medianos	Definidos	Clara	Finas	Comunes	Transpedales	
20-35	Abundantes	Finos	Definidos	Clara	Medianas	Comunes	Interpedales	
35-60	Abundantes	Finos	Definidos	Clara	Finas	Comunes	Interpedales	

Anexo 22. Análisis físico-químico del suelo. Área de baja productividad de Finca Caoba

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO																
No. Labort.	No. Muestra	Profundidad (cm)	Color del suelo	Ar L A	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez	M.O %	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre	Textura
				%		mg/l		cmol _c /kg		mg/l						
205	1	0-25	P. Amarillo Claro	60 36 4	6.3	27	977	12.9	5.7	0.1	1.07	13	96	3	45	FAr
206	2	25-40	“ “	40 50 10	6.4	5	268	28.7	9.2	0.1	0.47	9	96	3	11	FL
207	3	40-60	“ “	50 44 6	6.5	4	156	19.8	7.9	0.1	0.19	7	84	2	12	FAr

No. Laboratorio	C.E mS/m	Na cmol _c /kg	Boro mg/l	Azufre mg/l	Nitrato mg/l	Nitrito mg/l	N %	CO %	Al cmol _c /kg
205	0.60	0.23	0.01	25.9	5	Mayor 30	0.05	0.62	0.1
206	0.60	0.27	0.01	23.11	15	“ 30	0.02	0.27	0.1
207	0.42	0.32	3.8	23.11	5	“ 30	0.01	0.11	0.05

Anexo 22a. Características físicas del perfil del suelo. Área de baja productividad de Finca Caoba

Prof. cm	Color	Estructura			Consistencia			
		Grado	Tamaño	Clase	Mojado		Húmedo	Seco
					Pegajosidad	Plasticidad		
0-10	10 YR 3/3	Moderada	Mediana	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
10-40	10 YR 3/4	Moderada	Fina	B.Ang/B.suban	Muy Pegajosa	Muy Plástica	Friable	Lig. dura
40-60	10 YR 4/4	Débil	Mediana	B.Ang/B.suban	Pegajosa	Plástica	Muy Friable	Blanda
		Moteos			Raíces			
	Abun. Rel	Tamaño	Contraste	Nitidez	Tamaño	Abun. Rel	Localización	
0-10	Pocos	Gruesos	Tenues	Difusa	Muy Finas	Abundantes	Transpedales	
10-40	Pocos	Finos	Tenues	Difusa	Finas	Pocas	Interpedales	
40-60	Pocos	Medianos	Tenues	Difusa	Finas	Pocas	Interpedales	

Anexo 23. Número de hectáreas cultivadas y rendimiento por hectárea en cada finca estudiada

Finca	Número total de hectáreas en producción	Rendimiento por hectárea (kg/ha)	Rendimiento por hectárea (kg/ha)	Rendimiento por hectárea (kg/ha)	Localidad
			Área de alta productividad	Área de baja productividad	
Margarita	272,72	32.400	35.200	23.400	Divalá, Distrito Alanje
San Antonio	183,41	34.485	36.700	30.700	Divalá, Distrito Alanje
Los Ángeles	189,00	35.737	36.600	31.200	Divalá, Distrito Alanje
Santa Cecilia	141,19	41.886	44.200	32.000	Divalá, Distrito Alanje
Balsas	145,95	37.567	39.700	30.900	Progreso, Distrito Barú
Jagua	325,38	34.892	33.800	29.600	Rodolfo Aguilar, Distrito Barú
Palo Blanco	167,32	44.436	40.500	33.800	Rodolfo Aguilar, Distrito Barú
Mango	308,44	35.800	37.300	29.800	Rodolfo Aguilar, Distrito Barú
Javillo	277,58	41.635	42.000	30.400	Rodolfo Aguilar, Distrito Barú
Caoba	233,97	33.327	32.700	30.900	Rodolfo Aguilar, Distrito Barú
Higuito	227,75	33.385	33.500	29.700	Rodolfo Aguilar, Distrito Barú