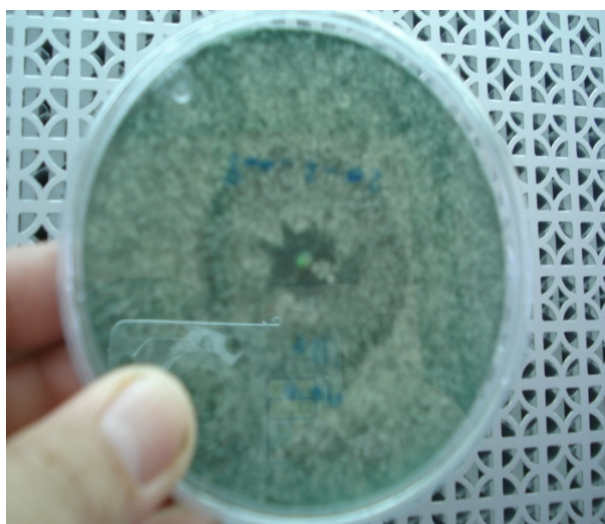


**INNOVACIONES TECNOLOGICAS PARA EL MANEJO Y MEJORAMIENTO DE LA
CALIDAD Y SALUD DE SUELOS BANANEROS DE AMERICA LATINA Y EL
CARIBE**

PROYECTO FONTAGRO ATN/SF-9159-RG

INFORME TECNICO FINAL



**Investigador Principal
Dr. Luis E. Pocasangre**

David Brown, Especialista en Informática

Ligia Quesada, Oficial administrativo



OCTUBRE, 2009

Contenido

Índice de Cuadros.....	ii
Índice de Figuras	iii
1. RESUMEN EJECUTIVO.....	1
2. RESULTADOS OBTENIDOS Y SU INTERPRETACION.....	4
Construcción del índice de calidad y salud de suelos por país.....	4
Diagnóstico de Fincas en Costa Rica	6
Diagnóstico de fincas en Panamá.....	6
Diagnóstico de fincas en República Dominicana.....	7
Diagnóstico de fincas en Venezuela.....	8
Análisis y discusión de los resultados obtenidos por país de la aplicación del índice de calidad y salud de suelos.....	8
Presentación de los resultados a los productores	9
Implementación de alternativas tecnológicas en Panamá	10
Implementación de alternativas tecnológicas en Venezuela	12
Desarrollar investigación paralela y complementaria que pueda ayudar al establecimiento y difusión de las alternativas tecnológicas integradas y validadas en fincas de productores.....	15
Estudios sobre bacterias endofíticas de la rizósfera del banano para el biocontrol del nematodo barrenador Radopholus similis.....	15
Estudios sobre mezclas de hongos endofíticos y bacterias endofíticas.....	16
Estudios sobre mezclas de hongos endofíticos	17
Estudios sobre nematodos de vida libre como indicadores de la calidad y salud de suelos	17
Estudios de Biodegradación acelerada de nematicidas	19
Estandarización de enmiendas orgánicas	20
3. ANÁLISIS PROSPECTIVOS	20
Análisis prospectivo de Venezuela	20
Análisis prospectivo de Panamá.....	21
Implicaciones a nivel regional.....	22
4. PUBLICACIONES Y OTROS PRODUCTOS	23
Publicaciones.....	23
Participación en congresos científicos internacionales	24
Organización de cursos de capacitación entre los países socios	24
Otros productos	24
Desarrollo del sitio Web del Proyecto Calidad y Salud de Suelos.....	25
5. EJECUCION DEL PRESUPUESTO	27
Anexos.....	28
Informe Técnico Final República Dominicana.....	29
Informe Técnico Final Venezuela.....	52
Informe Técnico Final Panamá.....	66
Informe Técnico Final Costa Rica.....	78

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Selección del Grupo Mínimo de Indicadores (GMI) de calidad y salud de suelos para Costa Rica.	6
Cuadro 2. Selección del Grupo Mínimo de Indicadores (GMI) de calidad y salud de suelos para Panamá.	7
Cuadro 3. Selección del Grupo Mínimo de Indicadores (GMI) de calidad y salud de suelos para las fincas orgánicas de República Dominicana.	7
Cuadro 4. Selección del Grupo Mínimo de Indicadores (GMI) de calidad y salud de suelos para las fincas convencionales de República Dominicana.....	8
Cuadro 5. Selección del Grupo Mínimo de Indicadores (GMI) de calidad y salud de suelos para Venezuela.	8
Cuadro 6. Efecto de tecnologías alternativas a los nematicidas sobre variables de Producción en banano en Panamá.	11
Cuadro 7. Tratamientos implementados para la evaluación del manejo de la fertilización química de banano.....	12
Cuadro 8. <i>Efecto de los tratamientos sobre los indicadores de producción en finca Punta Larga</i>	14
Cuadro 9. Efecto de dosis y frecuencias de materia orgánica y aplicación de materia orgánica sobre la producción de banano en República Dominicana	15
Cuadro 10. Efecto de las mejores 10 bacterias de 65 evaluadas para sobre el control de <i>Radopholus similis</i> , en las variedades Gran Enano y Williams.....	16
Cuadro 11. Selección de los mejores diez tratamientos con base en el efecto sobre el biocontrol de <i>Radopholus similis</i> en vitroplantas cv. “Gran Enano”, seis semanas después de la inoculación con nematodos.....	17
Cuadro 12. Publicaciones derivadas del proyecto de calidad y salud de suelos bananeros.....	23
Cuadro 13. Resumen sobre gastos del proyecto de calidad y salud de suelos de FONTAGRO y contrapartida de las instituciones de investigación del consorcio.....	27

Índice de Figuras

Fig. 1. Flujograma que ilustra el procedimiento para la construcción del índice de Calidad y salud de suelos	5
Fig. 2. Flujograma de la metodología usada para la discusión del índice de calidad de suelos y la elaboración del plan de manejo de las fincas.	9
Fig. 3. Efecto de microorganismos de la rizosfera sobre la población de fitonematodos totales en condiciones de campo.	11
Fig. 4. Efecto de los tratamientos sobre los indicadores biológicos en la finca Punta Larga Venezuela.....	13
Fig. 5. Efecto de diferentes fuentes de materia orgánica sobre la producción de banano en República Dominicana.	14
Fig. 6. Porcentajes de nematodos en los principales grupos tróficos identificados en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica.....	18
Fig. 7. Principales grupos tróficos de nematodos identificados en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica.....	18
Fig. 8. Estudios de biodegradación acelerada del nematocida Terbufos (Counter) en la finca calinda	19
Fig. 9. Salidas del Sistema de Análisis Económico y financiero de Fincas Bananeras" (SAEFFIB).	25
Fig. 10. Pagina web del proyecto de calidad y salud de suelos bananeros	26
Fig. 11. <i>Colección de hongos y bacterias endofíticas de la rizosfera del banano. A. colección a mediano plazo en papel filtro B. colección a largo plazo en Cryobanco.</i>	26

1. RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de **innovaciones tecnológicas para el manejo y mejoramiento de la calidad y salud de suelos bananeros de América Latina y el Caribe** financiado por FONTAGRO, se implementó en cuatro países socios del Fondo: República Dominicana, Venezuela, Panamá y Costa Rica. El objetivo principal del proyecto fue mejorar la productividad de las plantaciones bananeras de América Latina y el Caribe, mediante innovaciones tecnológicas sostenibles que permitan incrementar la calidad y salud del suelo. El proyecto se realizó en dos fases, la primera que consistió en el diagnóstico de las 39 fincas de banano en la región, lo cual generó más de 25 mil datos cuantitativos y cualitativos de las fincas analizadas. Es importante destacar que con esta información se logró realizar por primera vez un análisis matemático que pudiera combinar los factores físicos, químicos y microbiológicos para determinar la calidad de suelos de las fincas en cuestión. La segunda fase del proyecto consistió en la implementación de las alternativas de manejo de la finca tendientes a solventar los problemas encontrados en el diagnóstico.

Dentro de la fase 1 correspondiente al diagnóstico el objetivo principal fue diseñar y validar una Guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras y el producto final la producción de la guía. Para la consecución de este objetivo, se analizaron 39 fincas en la región, de las cuales se logró obtener un grupo mínimo de indicadores relacionados con la calidad y la salud de los suelos en cada país. Este proceso se realizó haciendo una combinación de los análisis estadísticos y matemáticos así como con la consulta de los expertos en cada disciplina científica en cuestión. Como resultado de este proceso se logró determinar un índice de calidad y salud de suelos para todas las fincas analizadas. Actualmente la Guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos bananeros está siendo usada por agrónomos, productores, investigadores, estudiantes y profesores relacionados con la producción de musáceas en la región. Es importante destacar que la Guía ha tenido una excelente aceptación, por lo cual ACORBAT Internacional ha solicitado realizar un tiraje de 1500 ejemplares para distribuirlos entre los socios de acorbat en la región. Asimismo, la guía ha sido traducida al inglés y se espera que 500 ejemplares sean impresos conjuntamente con el tiraje en español que ACORBAT Internacional hará en este año. Adicionalmente, la guía está siendo usada como modelo para otros cultivos tales como plátano, arroz y café en países de la región.

Es importante resaltar que en la implementación de la fase del diagnóstico se han generado cambios cualitativos en la forma de analizar un finca por parte de los productores e investigadores, dentro de los cuales, se destacan: a) la incorporación de los análisis microbiológicos que se comprobó que es el componente predominante en los 4 países y que antes no era considerado b) el análisis integrado de la información, ya que la productividad es una variable cuantitativa que es la resultante de muchos factores c) la incorporación de métodos alternativos para mejorar la calidad y salud de suelos como el uso de antagonistas y materia orgánica.

En relación a la fase 2 que consistió en la implementación de alternativas para mejorar las fincas, se determinó que cada país tiene sus particulares factores que afectan la producción, por lo tanto las alternativas planteadas fueron específicas para cada país. En el caso de Panamá, el manejo de fitonematodos con hongos endofíticos ha sido una tecnología que ha sustituido el uso de

nematicidas y la producción se ha mejorado en comparación con los testigos. Asimismo, testimonios de productores han sido publicados en medios locales donde se menciona la virtud de estos microorganismos para el manejo de nematodos. Con base en los resultados de investigación y con la aceptación de los productores el IDIAP ha oficializado el uso de estos microorganismos para el control de nematodos tanto en banano como en plátano. Es pertinente resaltar que estos microorganismos están siendo usados para el control de nematodos en papa y tomate con resultados prometedores. Asimismo en Panamá se comprobó que las aplicaciones de Calcio y Potasio no tienen una respuesta directa en la producción de banano y que los productores han venido sobrefertilizando las plantaciones con estos elementos. Consecuentemente los costos de producción pueden ser reducidos sustancialmente con menores aplicaciones de estos fertilizantes sin afectar la producción.

En el caso de República Dominicana, que es el segundo productor mundial de banano orgánico, se determinó que la mejor fuente de materia orgánica que incide en la producción de banano es el uso de compost, seguido de gallinaza y que las aplicaciones de bokashi, no es la fuente recomendada para las condiciones del país, debido a su poca disponibilidad de nutrientes. Asimismo los análisis microbiológicos indicaron que con la aplicación de compost se mejoraron todas las variables biológicas, lo cual está asociado al incremento de la salud del suelo en este cultivo. En relación al estudio sobre cantidad de materia orgánica a aplicar en plantaciones comerciales se determinó que aplicaciones de 4 y 8 toneladas de materia orgánica fueron las dosis adecuadas para mejorar la productividad y las propiedades físicas y químicas de las fincas analizadas. En general todas las fincas respondieron positivamente a la aplicación de la materia sobre el mejoramiento de la salud del sistema radical y el peso total de raíces funcionales. Estos resultados son de gran importancia para la producción de banano en República Dominicana debido a que la mayoría de las fincas son orgánicas y necesitan mejorar la nutrición de las plantaciones usando insumos alternativos a los fertilizantes químicos.

En Venezuela, los estudios realizados en métodos de fertilización y su efecto en la productividad demostraron que se pueden usar recomendaciones específicas para las condiciones de Venezuela y que tienen mejor incidencia en los productos que las recomendaciones de fertilización internacionales para banano. Por otra parte la incorporación de prácticas sencillas como el Hércules (ruptura de la capa compactada superficial de los suelos) ayuda sustancialmente a la mejor toma de los nutrimentos por la planta, asimismo mejoró todos los indicadores microbiológicos. Es importante destacar que la finca Punta Larga donde se realizaron estas investigaciones obtuvo el premio como la mejor finca de Venezuela en producción y mejor calidad de fruta. Desafortunadamente las fincas Kambuca y Banaoro, no se implementaron las investigaciones planteadas debido a que las plantaciones fueron traspasadas a cooperativas y no se logró coordinar con la nueva gerencia de producción. Sin embargo los estudios existen y la nueva administración puede retomar las investigaciones planteadas por proyecto.

En Costa Rica, los trabajos se basaron más en la fase del diagnóstico, debido a que se incluyeron tres sitios de investigación en relación a la productividad: alta, media y baja. Los resultados obtenidos de estos análisis indicaron que los problemas fundamentales de acidez y pH son los limitantes principales de la producción y que este fenómeno se acentúa con los programas de fertilización que vuelven más ácidos los suelos. Consecuentemente se realizó una investigación para determinar el grado de acidez en la rizosfera, banda de aplicación y la entrecalle,

encontrándose los niveles más bajos de pH en la banda de aplicación de fertilizantes en comparación con la rizosfera y entrecalle.

En relación a la investigación paralela se pudo comprobar que la combinación de bacterias y hongos endofíticos fue más efectiva para el control del nematodo barrenador *R. similis* que aplicaciones individuales de los antagonistas. Los resultados de esta investigación fueron publicados en una revista internacional (*Scientia Horticulturae*, 2009,122:472-478). Asimismo se realizaron estudios de biocontrol de nematodos con bacterias y hongos endofíticos en forma individual que generaron varias tesis de maestría. Es importante destacar que de estas investigaciones de biocontrol se ha derivado un interés de empresas privadas para desarrollar un producto comercial a partir de bacterias y hongos endofíticos. Además laboratorios de micro propagación están interesados en usar los hongos a nivel comercial para la protección de vitropiantas de banano. Previo a proceder con el proceso de escalado comercial de estos microorganismos es importante la protección de los microorganismos mediante registros o patentes a discutir con las organizaciones que han financiado esta investigación. Otra línea innovativa de investigación fue el uso de poblaciones de nematodos de vida libre para medir el grado de perturbación o sobreuso de pesticidas en las fincas bananeras de Costa Rica. Otro aporte importante de la investigación paralela fue la comprobación de problemas de biodegradación del nematocida más usado en Costa Rica (Counter). Además se desarrolló una metodología en la cual por primera vez se usaron plantas de banano para medir la biodegradación, ya que los trabajos anteriores se realizaron en maíz, que no es la planta hospedera. Los resultados de esta investigación han sido aceptados para su publicación en la revista internacional (*International Journal of Pest Management*).

En relación a los productos finales del proyecto cabe destacar la Guía de diagnóstico de la calidad y salud de los suelos bananeros, que está siendo un documento de consulta y de referencia para la determinación de la calidad y salud de los suelos bananeros en toda la región. Debido a la excelente aceptación de esta Guía ACORBAT Internacional está solicitando hacer un tiraje de 1500 ejemplares para distribuirlo entre sus asociados. Otro producto de implicaciones regionales es la validación de los hongos endofíticos como biocontroladores de nematodos en banano y su efecto en la promoción de crecimiento. De hecho existen empresas interesadas en el desarrollo de productos comerciales a partir de estos microorganismos. Otra implicación regional lo constituye la cantidad de jóvenes científicos que se formaron en distintas disciplinas de calidad y salud de suelos y obtuvieron sus grados académicos a saber: 2 tesis doctorales, 11 de maestría, y 12 de licenciatura. Además se publicaron 3 artículos en revistas internacionales arbitradas y 36 artículos científicos presentados en congresos internacionales y publicados en las memorias de los eventos en mención.

Asimismo es importante destacar la conformación de un comité científico internacional conformado por profesores de más de 16 universidades y científicos de 12 institutos de investigación a nivel mundial. Este comité científico coordinó la investigación de más 75 científicos que trabajaron directamente en el proyecto en los 4 países socios del proyecto. Esta excelente articulación del proyecto fue posible debido a la innovativa e interesante línea de investigación del proyecto y a la capacidad de coordinación de los entes ejecutores a nivel internacional y en los respectivos países.

2. RESULTADOS OBTENIDOS Y SU INTERPRETACION

Objetivos Específico 1

Diseñar y validar una Guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras

Para lograr elaborar la Guía de diagnóstico de calidad y salud de suelo se realizaron diferentes actividades entre el grupo científico internacional y el grupo de matemáticos de la UCR que lograron diseñar toda una metodología de análisis de la información generada tanto en el pre diagnóstico como en el diagnóstico propiamente dicho. Como resultado de este análisis se llegó a determinar el grupo mínimo de indicadores responsables de la calidad y salud de suelos en los 4 países donde se ejecuto el proyecto. A continuación se describe la metodología usada así como los resultados obtenidos para cada país.

Construcción del índice de calidad y salud de suelos por país

Finalizado el proceso de validación de la guía de calidad y salud de suelos bananeros en 39 fincas de los cuatro países socios, se procedió a realizar los análisis matemáticos y estadísticos respectivos. Debido a la complejidad de la información recolectada y a la cantidad de datos para la construcción del índice, se contrataron dos expertos matemáticos de la Universidad de Costa Rica para realizar los respectivos análisis conjuntamente con el equipo de científicos asesores del proyecto.

El objetivo principal de esta actividad se baso en la construcción de un índice matemático que describa la calidad y salud de suelos bananeros, indicando los factores más críticos en la producción de las fincas estudiadas. Los datos recolectados describen los componentes químicos, físicos y microbiológicos procedentes de los sectores buenos y pobres en producción. La Figura 1, esquematiza el procedimiento de construcción del índice.

La selección de los indicadores más significativos se hizo, en primer lugar, con base en regresiones lineales paso a paso (tanto hacia delante como atrás), utilizando la producción como indicador a explicar. Por otra parte, se analizó el comportamiento de las fincas mediante análisis en componentes principales, que mostraron total coherencia entre los indicadores utilizados y los indicadores de productividad. A partir de los análisis anteriores, se seleccionaron para cada país los indicadores más relevantes, los cuales conforman el Conjunto Mínimo de Datos (MDS). La selección del MDS fue revisada mediante análisis de conglomerados o clasificación automática, mostrándose la pertinencia de las variables escogidas, así como su independencia.

Cada indicador del MDS, entra al índice matemático con un peso y una curva de respuesta. El peso fue estimado a partir de la importancia del indicador correspondiente en las primeras componentes principales del análisis con las variables obtenidas en el MDS. Por su parte la curva de respuesta se construye a partir de la opinión de los especialistas en la materia del grupo de expertos.

Es importante destacar que no se logró obtener un índice de calidad y salud de suelos global, debido a que cada país presentaba condiciones particulares y no era recomendable combinar todos los países en un solo patrón y encapsular la calidad y salud de suelos de la región en un único número o índice. Por lo tanto, en el presente informe se presenta el Grupo Mínimo de Datos, que corresponden a los indicadores físicos, químicos y biológicos que inciden en la calidad y salud de suelos de cada país.

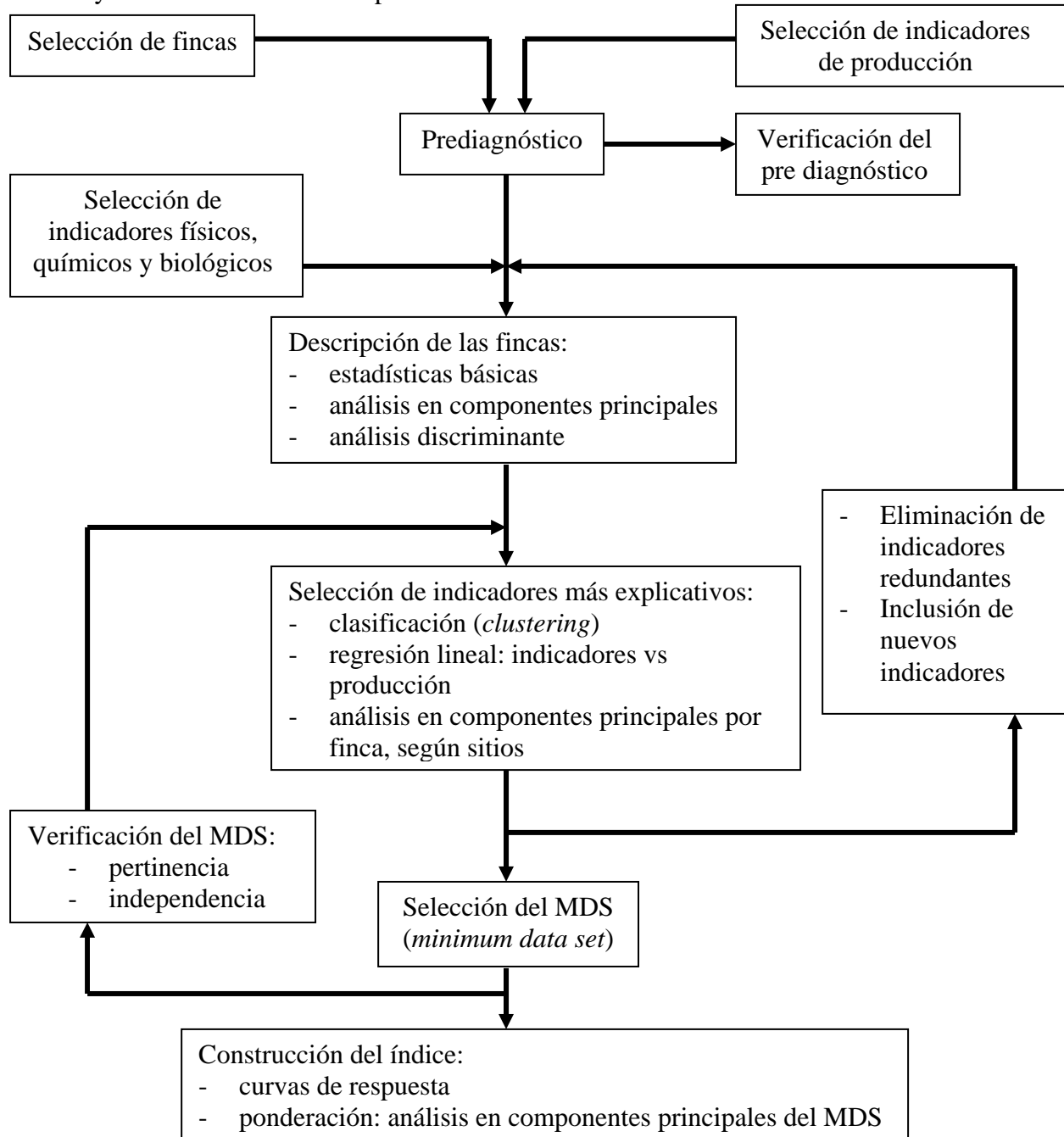


Fig. 1. Flujoograma que ilustra el procedimiento para la construcción del índice de Calidad y salud de suelos

Diagnóstico de Fincas en Costa Rica

Seis fincas comerciales de banano fueron analizadas en Costa Rica a saber: Calinda, Las Juntas, Cartagena, San Pablo, El Esfuerzo y Palo Verde. En cada finca se seleccionaron tres sitios: Bueno, Medio y Pobre, basado en el historial de productividad de la finca, y en cada sitio se hicieron 4 réplicas. Se estudiaron tres tipos de indicadores: químicos, físicos y microbiológicos, para un total de 83 indicadores medidos o calculados. De estos 83 indicadores, se seleccionaron 63 como variables activas, de los cuales 3 son indicadores de productividad: circunferencia del seudotallo de la madre, altura del hijo, número de manos. Con base en los análisis estadísticos y matemáticos presentados anteriormente se llegó a la determinación del grupo mínimo de indicadores de calidad y salud de suelos para Costa Rica que se describe en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Selección del Conjunto Mínimo de Indicadores (CMI) de calidad y salud de suelos para Costa Rica.

pH	Potencial hidrógeno		L-bat	Bacterias (log)
EA	Acidez intercambiable		L-fung	Hongos (log)
P	Fósforo		IndMiner	Índice de mineralización
Mg/K	Razón de Mg sobre K		PR	Peso radical
Ca/Mg	Razón de Ca sobre Mg		L-Rad.s	<i>Radopholus similis</i> (log)
PhosRet	Retención de fósforo		NVLgen	# géneros de nemátodos de vida libre
Porocity	Porosidad		% fitonem	% de fitonemátodos
Waterinf	Infiltración de agua		NVLfuNAP	NVL fungívoros + asociados a plantas
MAtotani	Total de microartrópodos			

Es importante destacar que la mayoría de los indicadores relacionados con la calidad y salud de suelos de Costa Rica están más concentrados en el componente microbiológico que en el físico y el químico.

Diagnóstico de fincas en Panamá

Doce fincas comerciales de banano para exportación fueron analizadas a saber: Margarita (MR), Los Ángeles (LA), Mango (MG), Balsas (BL), Palo Blanco (PB), Higuito (HG), Caoba (CB), Jagua (JG), Javillo (JV), San Antonio (SA) y Santa Cecilia (SC); no se usaron los datos de Tadeo (TD) pues mostraron inconsistencia con el resto de las fincas. Con base a los resultados del diagnóstico en Costa Rica se determinó que el sitio intermedio traslapaba información entre el sitio bueno y el malo. Por lo tanto en Panamá solamente se seleccionaron dos tipos de sitios por finca: bueno y pobre, según criterio experto basado en el historial de productividad de la finca, y en cada sitio se hicieron 4 réplicas de las mediciones, en calicatas suficientemente espaciadas. De estos 68 indicadores, se seleccionaron 49 como variables activas, de los cuales 3 son indicadores de productividad: circunferencia del seudotallo de la planta madre, altura del hijo, número de manos. Después de los respectivos análisis se llegó a la selección 13 indicadores relacionados con la calidad y salud de suelos de banano de Panamá, que se describen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Selección del Conjunto Mínimo de Indicadores (CMI) de calidad y salud de suelos para Panamá.

pH	Potencial hidrógeno		RT	Raíz total
Ca	Calcio		L-Rad.s	<i>Radopholus similis</i> (log)
K	Potasio		NVLtot	Total de NVL
M.O.	Materia orgánica		%fitonem	% de fitonemátodos
%sand	Porcentaje de arena		trichod	Trichoderma
RM-tot	Respiración microbiana		Matotani	# de familias de microartrópodos
IndMiner	Índice de mineralización			

Es importante resaltar que los factores biológicos son los más relacionados con la calidad y salud de los suelos en Panamá y también se destaca la importancia de los elementos Calcio y Potasio, que son altamente usados en la producción de banano en Panamá. De igual forma los fitonemátodos, específicamente *Radopholus similis* fue identificado como un problema que limita la producción.

Diagnóstico de fincas en República Dominicana

En República Dominicana, fueron analizadas 12 fincas, dentro de las cuales 8 pertenecen a sistema de producción orgánicas y 4 convencionales. El trabajo se inició con el “pre diagnóstico”, en donde se verificó la información sobre el historial de la finca y la producción *in situ* a través de los “indicadores de producción”. Una vez terminado el pre diagnóstico se clasificaron las áreas de buena y pobre productividad. Se ubicaron 8 sitios de monitoreo por finca, donde se procedió a ejecutar el “diagnóstico”. Las mini calicatas fueron el medio de captación de datos en el campo. Para el caso de las fincas orgánicas, los análisis determinaron que 12 indicadores eran responsables de la calidad y salud de suelos de las 8 fincas, lo cuales se enlistan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Selección del Conjunto Mínimo de Indicadores (GMI) de calidad y salud de suelos para las fincas orgánicas de República Dominicana.

pH	Potencial hidrógeno		Waterinf	Infiltración de agua
Ca	Calcio		Hel.m	<i>Helicotilenchus m.</i>
Ca/K	Razón de Ca sobre K		Fusar	Fusarium
M.O.	Materia orgánica		Ot-fung	Otros hongos
%sand	Porcentaje de arena		trichod	Trichoderma
RM-tot	Respiración microbiana		RT	Raíz total

Para las fincas orgánicas, es evidente que la materia orgánica (MO) es un indicador limitante e importante así como los factores biológicos que están altamente relacionados con la MO, debido a que la MO que es fuente principal de energía para las poblaciones de microorganismos.

De igual forma para las 4 fincas convencionales 45 variables activas fueron consideradas para realizar los análisis, encontrándose que también 12 indicadores estaban relacionados con la calidad y salud de suelos de esas fincas, los cuales se enlistan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Selección del Grupo Mínimo de Indicadores (GMI) de calidad y salud de suelos para las fincas convencionales de República Dominicana

pH	Potencial hidrógeno		IndMiner	Indices de mineralization
K	Potasio		RT	Raíz total
Cu	Cobre		Hel.m	<i>Helicotilenchus m.</i>
%sand	Porcentaje de arena		%fitonem	% de fitonemátodos
Pen-res	Resistencia a la penetración		Ot-fung	Otros hongos
RM-tot	Respiración microbiana		Matotani	# de familias de microartrópodos

Diagnóstico de fincas en Venezuela

Un total de 9 fincas fueron analizadas en Venezuela de las cuales seis fincas correspondientes a un régimen de producción para exportación, ubicadas en la zona central (Fincas Punta Larga 1 y Punta Larga 2) y occidental del país (Banaoro 1, Banaoro 2 y Kambuca 1, Kambuca 2). Las tres fincas restantes dedicadas a suplir el mercado nacional y ubicadas en el centro del país. En cada una, se establecieron dos lotes de aproximadamente 4 has con diferentes niveles de productividad (Bueno y Pobre). Después de los análisis correspondientes se determinó que 11 indicadores estaban relacionados con la calidad y salud de suelos en Venezuela los cuales se enlistan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Selección del Grupo Mínimo de Indicadores (GMI) de calidad y salud de suelos para Venezuela.

pH	Potencial hidrógeno		biomasaMO	Biomasa de la materia orgánica
Mg	Magnesio		PR	Peso radical
Cu	Cobre		NVLtot	Total de NVL
%sand	Porcentaje de arena		NVLbacteriof	Nematodos bacteriófagos
Pen-res	Resistencia a la penetración		Trichod (%)	% Trichoderma
RM-tot	Respiración microbiana			

En Venezuela los factores biológicos principalmente los nematodos de vida libre y respiración microbiana en combinación con factores físicos fueron los indicadores principales responsables de la calidad y salud de suelos en el país.

Análisis y discusión de los resultados obtenidos por país de la aplicación del índice de calidad y salud de suelos.

Obtenidos el grupo mínimo de indicadores para cada país así como los índices de calidad y salud de suelos para cada uno de los países socios, se llevaron a cabo reuniones con los grupos locales para realizar las siguientes actividades:

- Discutir la viabilidad de los indicadores identificados.
- Aplicar el índice construido para cada país a cada una de las fincas participantes del proyecto.

- Determinar el comportamiento de cada indicador en la parte buena y pobre de las fincas y en la parte regular (sólo en Costa Rica).
- Interpretar el comportamiento del indicador y establecer las alternativas tecnológicas más apropiadas para su corrección.
- Formular las recomendaciones tecnológicas más apropiadas para cada finca y elaborar el informe a los dueños de las fincas participantes.

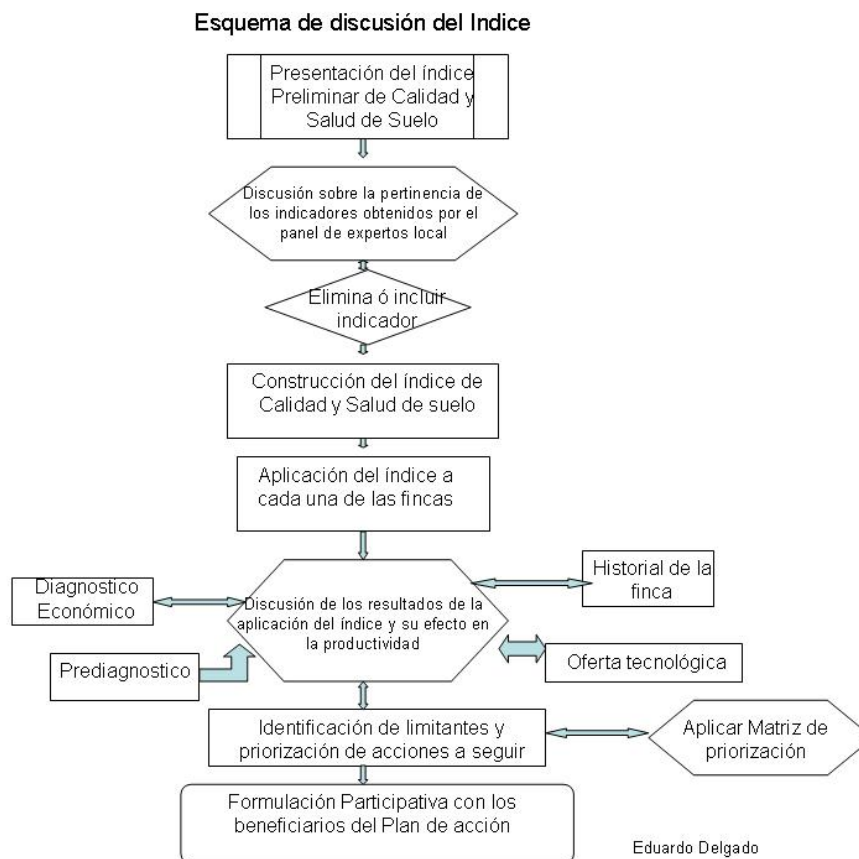


Fig. 2. Flujoograma de la metodología usada para la discusión del índice de calidad de suelos y la elaboración del plan de manejo de las fincas.

Presentación de los resultados a los productores

En todos los países socios se realizaron reuniones participativas con los productores, en la cual el equipo coordinador del proyecto conjuntamente con los grupos locales discutieron la importancia de la información recabada y la pertinencia de esta para el mejoramiento de la situación actual de las fincas bananeras estudiadas. Se dio mucha importancia a la participación de los productores ya que el productor conoce las limitantes productivas de su finca y con la ayuda de la información recopilada y los análisis hechos por los expertos se puede implementar un proceso de recuperación de su finca.

En todas las reuniones realizadas se evidenció el interés del productor en aplicar las tecnologías recomendadas, sobre todos los productores de mejor nivel económico, por su disposición de cubrir algunos costos de la implementación de las medidas correctivas (caso Costa Rica y

Venezuela). En República Dominicana el caso es aún mejor, ya que los productores miembros de empresas exportadoras como Plantaciones del Norte y Banelino, asumieron el compromiso de aplicar las alternativas con el apoyo de su personal técnico. En el caso de Panamá, el IDIAP asumió la responsabilidad de apoyar como un mandato gubernamental la situación de los productores bananeros de la región de Chiriquí.

Es importante resaltar que por primera vez a todos los dueños de las fincas se les entregó un documento que contenía todos los análisis físicos, químicos y microbiológicos realizados así como la interpretación de los resultados de cada finca.

Objetivo específico 2

Proveer y establecer alternativas tecnológicas integrales que mejoren la calidad de suelos para la recuperación y mantenimiento de la productividad de plantaciones bananeras deterioradas.

Después de finalizar el proceso de análisis y discusión con los científicos y productores en cada país se procedió a implementar las alternativas para solventar los problemas encontrados en el diagnóstico. A continuación se describen las investigaciones y resultados obtenidos en cada país.

Implementación de alternativas tecnológicas en Panamá

El uso de hongos endofíticos para el control biológico de nematodos en Panamá ha sido una tecnología validada por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) y ha sido transferida a los productores. La Fig. 3. representa el efecto de biocontrol de los hongos endofíticos *Trichoderma atroviride*, encontrándose que los microorganismos endofíticos tienen un biocontrol de nematodos estadísticamente similar que dos aplicaciones de nematicidas. Asimismo el Cuadro 6. muestra que todas las alternativas evaluadas presentan mayor peso de racimo que el testigo sin aplicación de nematicidas y de hongos endofíticos. Es importante destacar que testimonios de productores que han usado estos microorganismos señalan la importancia de esta tecnología para el manejo de los nematodos así como para mejorar la producción en Panamá (Fig. 3, Cuadro 6).

Efecto de tecnologías alternativas a los nematicidas sobre el control de nematodos en banano

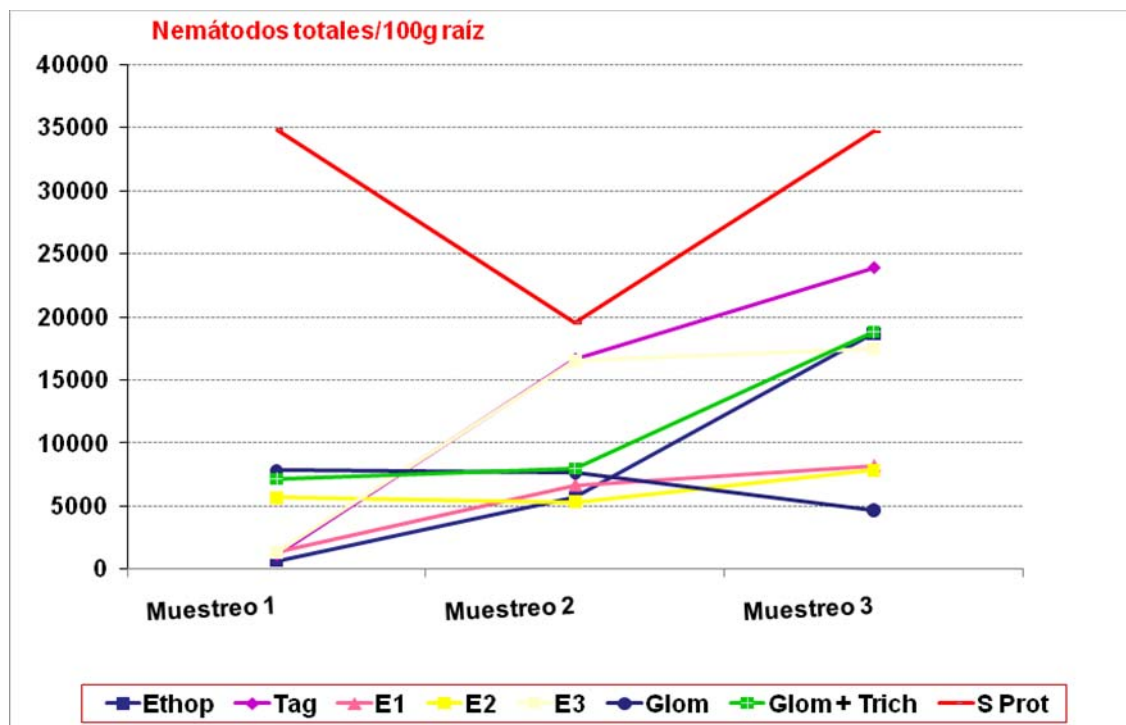


Fig. 3. Efecto de microorganismos de la rizosfera sobre la población de fitonematodos totales en condiciones de campo.

Cuadro 6. Efecto de tecnologías alternativas a los nematicidas sobre variables de Producción en banano en Panamá.

Tratamiento	Perímetro (cm)	Altura hijo (cm)	Siembra Cosecha (días)	Peso Racimo (kg)
T1. Ethoprop 15G	60.57 ab	140.52 a	279.00 a	48.26 a
T2. Tagetes erecta	63.24 a	147.56 a	274.33 a	50.84 a
T3. <i>T. atroviride</i> 1 (Guat.)	62.28 ab	150.07 a	275.00 a	48.80 a
T4. <i>T. atroviride</i> 2 (Six., CR)	61.14 ab	140.07 a	271.67 a	47.04 a
T5. <i>T. atroviride</i> 3 (Marg., PTY)	59.43 ab	138.17 a	267.67 a	47.62 a
T6. <i>Glomus</i> spp.	64.09 a	158.24 a	272.00 a	53.84 a
T7. <i>Glomus</i> spp. + <i>Trichoderma</i> spp.	62.38 ab	150.00 a	271.33 a	52.66 a
T8. Testigo	53.58 b	128.78 a	281.00 a	37.37 a

Implementación de alternativas tecnológicas en Venezuela

Considerando que los problemas que afectan la producción en Venezuela estaban relacionados con deficiencias de macro y micronutrientes, por lo tanto se realizó una investigación tendiente a mejorar la producción así como evaluar el efecto de los tratamientos sobre los indicadores microbiológicos de las fincas. Los tratamientos evaluados se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Tratamientos implementados para la evaluación del manejo de la fertilización química de banano

Tratamiento	Manejo	Dosis de nutrientes	Manejo
T1	Tradicional del productor	400 kg N ha ⁻¹ ; 65 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ ; 800 kg K ₂ O ha ⁻¹ .	Aplicación del fertilizante con fraccionamiento de la dosis, en 8 ciclos y sin incorporación del mismo.
T2	Nivel internacional	375 kg N ha ⁻¹ ; 50 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ ; 600 kg K ₂ O ha ⁻¹ .	Dosis recomendada a nivel internacional para el cultivo.
T3	Propuesta tesis	350 kg N ha ⁻¹ ; 20 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ ; 700 kg K ₂ O ha ⁻¹ ; 10 Kg Cu ha ⁻¹ ; 8 kg Fe ha ⁻¹ ; 2 Kg Mn ha ⁻¹ .	Incorporación de la primera fracción de la dosis de fertilizante, con el instrumento Hércules.
T4	Tradicional del productor mejorado	400 kg N ha ⁻¹ ; 65 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ ; 800 kg K ₂ O ha ⁻¹ ; 10 Kg Cu ha ⁻¹ ; 8 kg Fe ha ⁻¹ ; 2 kg Mn ha ⁻¹ .	Incorporación de la primera fracción de la dosis de fertilizante, con el instrumento Hércules.

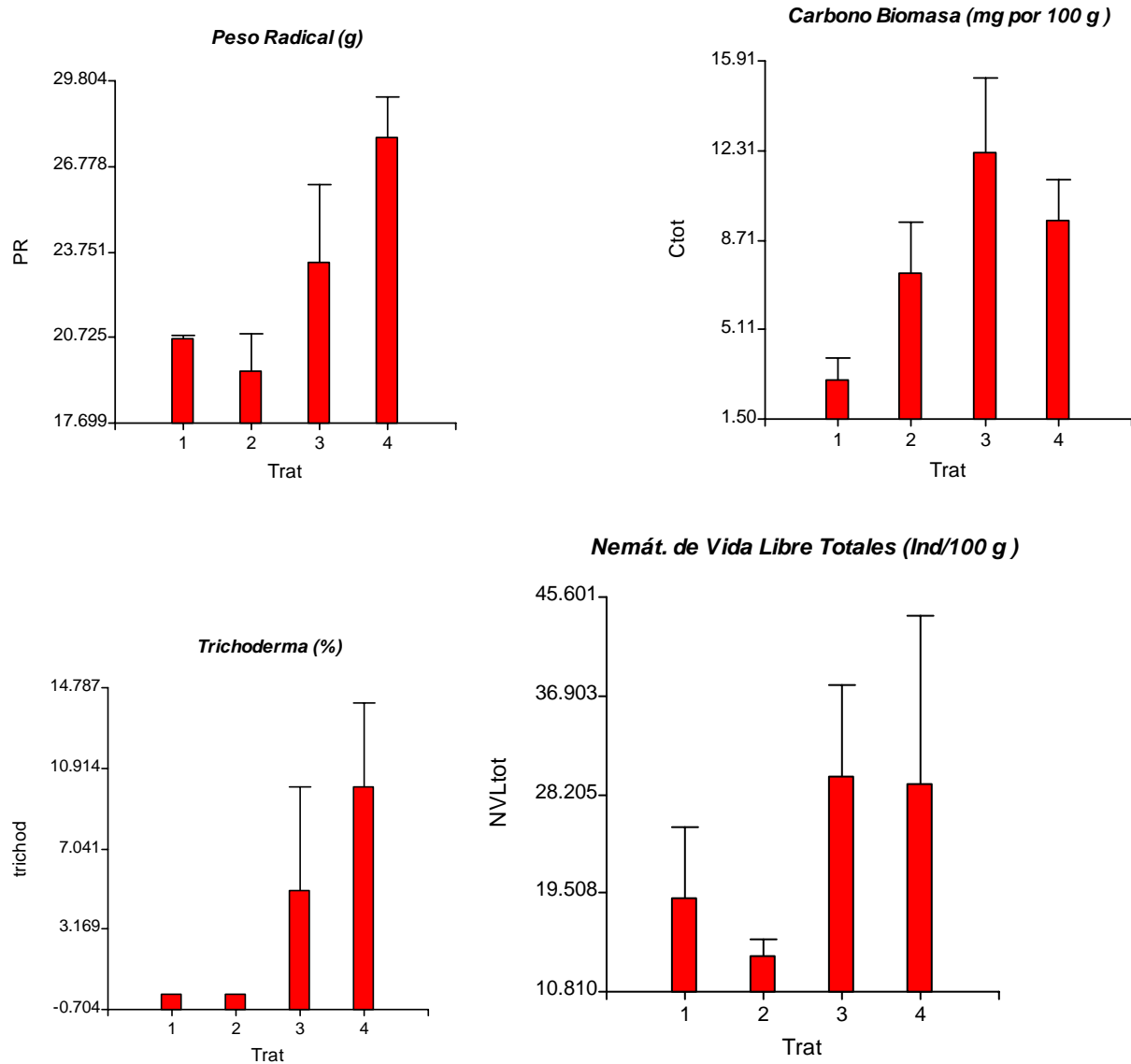


Fig. 4. Efecto de los tratamientos sobre los indicadores biológicos en la finca Punta Larga Venezuela

Los resultados indican que los tratamientos alternativos 3 y 4 tuvieron un efecto positivo en los indicadores microbiológicos del suelo, ya que los 4 indicadores tienen una curva ascendente (Fig.4). Consecuentemente se puede concluir que los indicadores biológicos fueron mejorados sustancialmente por el tratamiento 3 que es la propuesta del investigador y el tratamiento 4 que corresponde a la práctica del agricultor mejorado con la incorporación del Hércules. Estos datos coinciden con la literatura ya que al mejorar las condiciones físicas (acción del Hércules) se mejoran sustancialmente las propiedades biológicas de los suelos.

Cuadro 8. Efecto de los tratamientos sobre los indicadores de producción en finca Punta Larga

Trat.	Población	PB	PN	CN	EA	EE
T1	1800	57222	51499.8	2574.99	19.65	139.43
T2	1800	60966	54869.4	2743.47	25.20	177.72
T3	1800	59490	53541	2677.05	19.36	141.86
T4	1800	63360	57024	2851.2	21.76	129.91

T1: Tradicional del productor; T2: Nivel Internacional; T3: Propuesta tesis; T4: Tradicional del productor mejorado; Población: No. de plantas/ha; PB Producción bruta (kg/ha); PN: Producción neta (kg/ha); CN: Cajas nacionales (la finca no exporta); EA: Eficiencia agronómica (kg fruta/kg fertilizante); EE: Eficiencia Económica (Bs. ingreso / Bs. costo fertilizante).

Los resultados indicaron una mayor productividad para los tratamientos alternativos, T2, T3 y T4, que para el manejo tradicional de la fertilización usado por el productor T1 (Cuadro 8). Estos resultados indican que la producción en la finca puede ser mejorada mediante el manejo de fertilización propuesto por el proyecto.

Implementación de alternativas tecnológicas en República Dominicana

Considerando que República Dominicana es el segundo país exportador de banano orgánico y que una de las limitantes que presenta este sistema de producción es la nutrición de las plantaciones, por lo tanto el proyecto desarrollo una investigación en la cual se evaluó el compost, la gallinaza y el bocashi para mejorar la nutrición de las plantaciones orgánicas encontrándose que el compost fue la mejor fuente para incrementar la productividad en banano (Fig. 5). Adicionalmente se evaluaron diferentes dosis y frecuencias de aplicación de materia orgánica para determinar su efecto sobre la producción de banano encontrándose que el tratamiento 5 (4TM en dos aplicaciones) y el Tratamiento 9 (8TM en 3 aplicaciones) tuvieron los mejores resultados en la producción (Cuadro 9) Asimismo se determinó que las aplicaciones de materia orgánica favorecieron sustancialmente el peso radical de las plantaciones así como el crecimiento del hijo de sucesión que garantiza la próxima cosecha.

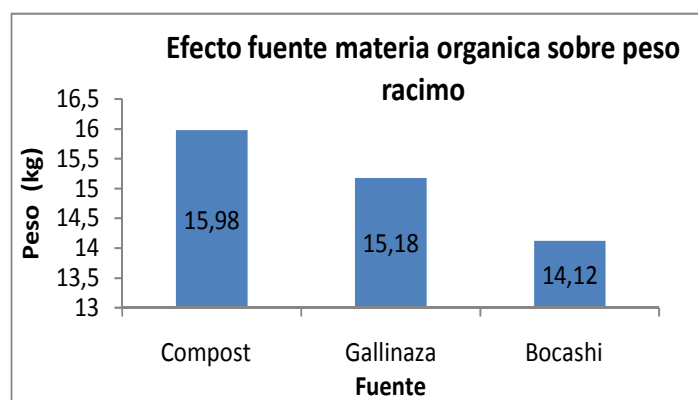


Fig. 5. Efecto de diferentes fuentes de materia orgánica sobre la producción de banano en República Dominicana.

Cuadro 9. Efecto de dosis y frecuencias de materia orgánica y aplicación de materia orgánica sobre la producción de banano en República Dominicana

Trat	Peso de Racimo (Kg)	Significancia
1	15,74	A
11	16,17	AB
6	16,98	AB
12	17,08	AB
8	17,13	AB
2	17,43	AB
3	17,87	AB
7	18,06	BC
10	18,25	BC
13	18,25	BC
4	19,09	C
9	19,26	CD
5	19,49	D

Es importante destacar que en todos los países donde se implementaron las alternativas propuestas por el proyecto no solamente se incremento la producción de las fincas sino que también se mejoraron sustancialmente las propiedades físicas, químicas y sobretodo biológicas de los suelos. Consecuentemente se espera que estas fincas tengan un sistema de producción más sostenible en el tiempo. Además es importante destacar que los propietarios de las fincas quedaron muy satisfechos con los resultados de las investigaciones y están siguiendo las recomendaciones técnicas del proyecto.

Objetivo específico 3.

Desarrollar investigación paralela y complementaria que pueda ayudar al establecimiento y difusión de las alternativas tecnológicas integradas y validadas en fincas de productores.

Durante la vida del proyecto se realizaron diferentes investigaciones bajo condiciones controladas tendientes a explicar las relaciones e interacciones que se presentan entre microorganismos colonizadores de la rizósfera del banano y su potencial efecto sobre la supresión de patógenos del suelo y sobre la calidad y salud de suelos. Estas investigaciones fueron desarrolladas por un grupo de estudiantes doctorales, de maestría y de licenciatura. A continuación se describen los principales estudios realizados:

Estudios sobre bacterias endofíticas de la rizósfera del banano para el biocontrol del nematodo barrenador *Radopholus similis*

En esta investigación se lograron recobrar un total de 242 aislamientos de bacterias endofíticas. Los géneros predominantes encontrados en la rizósfera del banano fueron: *Bacillus* spp, seguidos de *Pseudomonas*. Un total de 65 aislamientos fueron usados para seleccionar potenciales biocontroladores de nematodos de los cuales 10 aislamientos de bacterias endofíticas presentaron

reducciones que oscilaron entre 78% hasta 96% de biocontrol de *R. similis* en el cultivar Williams y entre 56% hasta 93% en el cultivar Gran Enano. En esta investigación se realizaron dos tesis ambas aprobadas, una de maestría del CATIE y una de graduación de la Universidad Nacional de Agricultura de Honduras.

Cuadro 10. Efecto de las mejores 10 bacterias de 65 evaluadas para sobre el control de *Radopholus similis*, en las variedades Gran Enano y Williams

Gran Enamor			Williams		
Código	Género	% de Biocontrol	Código	Género	% de Biocontrol
Q	Químico	93	P-52	<i>Pseudomona</i>	96
P-8	<i>Pseudomona</i>	85	Q	Químico	95
P-58	<i>Pseudomona</i>	83	B-31	<i>Bacillus</i>	96
B-21	<i>Bacillus</i>	72	P-58	<i>Pseudomona</i>	94
P-52	<i>Pseudomona</i>	69	B-23	<i>Bacillus</i>	90
B-50	<i>Bacillus</i>	68	B-21	<i>Bacillus</i>	87
B-61	<i>Bacillus</i>	68	B-50	<i>Bacillus</i>	84
B-37	<i>Bacillus</i>	68	B-37	<i>Bacillus</i>	83
B-31	<i>Bacillus</i>	66	B-61	<i>Bacillus</i>	81
B-23	<i>Bacillus</i>	59	P-8	<i>Pseudomona</i>	78
B-62	<i>Bacillus</i>	56	B-62	<i>Bacillus</i>	78

Estudios sobre mezclas de hongos endofíticos y bacterias endofíticas

Con base a los estudios realizados para seleccionar agentes biológicos de control de nematodos, se ha llegado a seleccionar un grupo de bacterias endofíticas y hongos endofíticos elite. Ambas poblaciones (bacterias y hongos elite) han sido usadas en mezclas para conocer su efecto sobre el crecimiento de la planta y su acción biocontroladora sobre el nematodo barrenador *R. similis*. Los resultados de la presente investigación indican que hubieron 10 tratamientos que redujeron estadísticamente la cantidad de *R. similis* en el sistema radical de las plantas y que el porcentaje de biocontrol osciló entre 81 y 93% y no difieren estadísticamente del control químico Terbufos 10GR que presentó 88% de biocontrol (Cuadro 11). Los resultados de esta investigación fueron publicados en la revista científica internacional SCIENTIA HORTICULTURAE 2009 VOL. 122:472-478. Ver CD1 correspondiente a anexo de publicaciones.

Cuadro 11. Selección de los mejores diez tratamientos con base en el efecto sobre el biocontrol de *Radopholus similis* en vitroplantas cv. “Gran Enano”, seis semanas después de la inoculación con nematodos

Código	Género	Peso raíz (g)	Nem. Total #	Biocontrol %	Tasa Reproducción	Densidad <i>R. similis</i> /g raíz
E1 P58	<i>T. atroviride</i> / <i>Pseudomonas</i>	10,24 abcd	128 a	93	0,26 a	13 a
E1 P52	<i>T. atroviride</i> / <i>Pseudomonas</i>	10,29 abcd	141 a	93	0,28 a	14 ab
B31	<i>Bacillus</i>	10,50 abcd	163 a	92	0,33 a	15 abc
E2 P52	<i>T. atroviride</i> / <i>Pseudomonas</i>	11,55 cd	228 ab	88	0,46 ab	20 abcd
TQ	Testigo químico	10,41 abcd	244 abc	88	0,49 abc	23 abcd
E1 B21	<i>T. atroviride</i> / <i>Bacillus</i>	9,64 abc	306 abcd	84	0,61 abcd	32 abcde
P52	<i>Pseudomonas</i>	9,55 abc	316 abcd	84	0,63 abcd	33 abcde
B21 P58	<i>Bacillus</i> / <i>Pseudomonas</i>	9,38 abc	325 abcd	83	0,65 abcd	35 abcdef
B21	<i>Bacillus</i>	9,81 abc	350 abcd	82	0,70 abcd	36 cdefg
P58	<i>Pseudomonas</i>	10,20 abcd	353 abcd	82	0,71 abcd	35 abcde
B21 P52	<i>Bacillus</i> / <i>Pseudomonas</i>	9,00 abc	369 abcd	81	0,74 abcd	41 abcdef
TR	Testigo referencial	9,08 abc	1956 j	0	3,91 j	216 i

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Estudios sobre mezclas de hongos endofíticos

Bajo la premisa que la inoculación múltiple de varios hongos endofíticos, puede conferir una protección más estable y duradera a la planta tratada, se han desarrollado investigaciones tendientes al control biológico del nematodo barrenador con mezclas de cepas no patogénicas de *Fusarium oxysporum* y cepas de *Trichoderma atroviride*. En general las mezclas de los endófitos presentaron mejor biocontrol que las aplicaciones individuales de cada aislado. Bajo esta temática se hizo la primera publicación sobre mezclas de endófitos en banano por Zum Felde, et. al. 2006 en INFOMUSA (Ver anexo de publicaciones). Adicionalmente se publicó en revista internacional un artículo en conjunto con la Universidad de Bonn, relacionado al uso de hongos endofíticos para el control de fitonematodos. Publicado en SCIENTIA HORTICULTURAE 2009 VOL. 46:15-33. Ver CD1 correspondiente a anexo de publicaciones.

Estudios sobre nematodos de vida libre como indicadores de la calidad y salud de suelos

Este estudio se desarrolló en 12 fincas comerciales de banano en Costa Rica, donde se evaluaron los sitios buenos y malos de cada finca para conocer la presencia de los nematodos de vida libre. Los resultados evidenciaron la presencia de 5 grupos tróficos de nematodos de vida libre, a saber: Fitonemátodos, Bacterívoros, Fungívoros, omnívoros y depredadores. El grupo predominante fue el de fitonemátodos, seguido de bacterívoros (Fig.6) Estos resultados también evidenciaron que las 12 fincas evaluadas son suelos altamente perturbados por el sobreuso de pesticidas. Por lo tanto, es difícil encontrar grupos tróficos benéficos predominando en los suelos, debido a que estos son los primeros en percer después de una aplicación de pesticidas. Sin embargo representantes de cada grupo trófico fueron identificados en la presente investigación (Fig. 7). Una Tesis de maestría del CATIE fue finalizada en esta temática. La tesis esta en el sitio web del proyecto de calidad y salud de suelos y además se encuentra en el anexo de publicaciones derivadas del proyecto correspondiente al CD 1 de publicaciones.

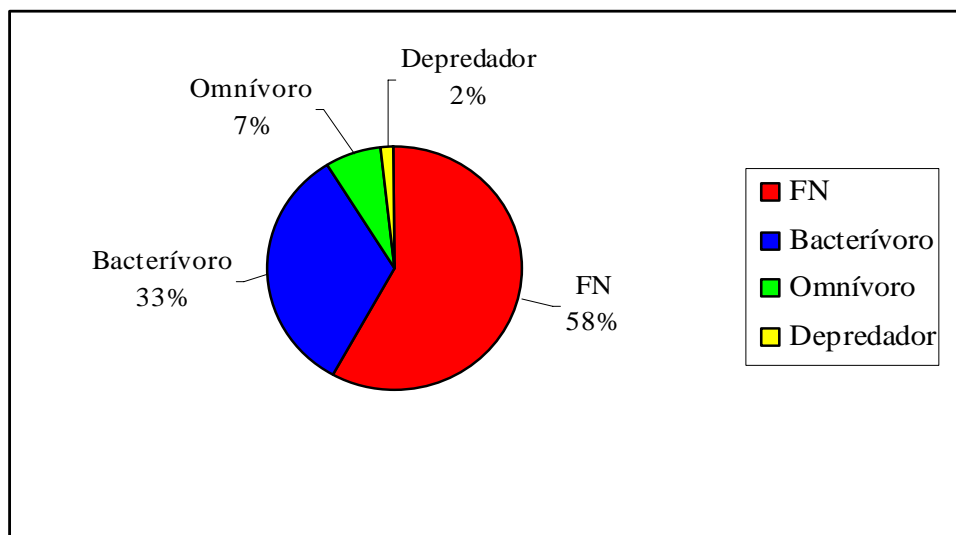


Fig. 6. Porcentajes de nematodos en los principales grupos tróficos identificados en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica.



Tylenchida (Fitonematodo)



Rhabditida (Bacterívoro)



Dorylaimida (Omnívoro)



Mononchida (Depredador)

Fig. 7. Principales grupos tróficos de nematodos identificados en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica

Estudios de Biodegradación acelerada de nematicidas

Debido a que uno de los problemas menos estudiados en las plantaciones bananeras es el proceso de biodegradación acelerada de los nematicidas, el proyecto ha realizado estudios de biodegradación acelerada del nematicida Counter que es el más usado en Costa Rica. Un total de 9 fincas han sido estudiadas, de las cuales 2 presentan problemas de biodegradación al Counter. La Figura 8 ilustra el proceso de biodegradación acelerada en la finca Calinda, donde el proceso se inicio desde el momento que se aplicó el nematicida, lo cual evidencia que este producto no ejerce ningún efecto de control sobre el nematodo. Los resultados de esta investigación han sido aceptados para ser publicados en la revista arbitrada (International Journal of Pest Management) que será publicado el próximo año. El artículo científico se encuentra en el CD1 correspondiente a publicaciones.

Es importante destacar que por primera vez se utilizó una metodología para medir biodegradación en plantas de banano, debido a que la mayoría de los estudios se habían realizado en plantas de maíz. Esta metodología es más aceptada debido a que se pone en contacto directo al patógeno con la planta hospedera y no en una planta alterna como es el maíz. Esta información es relevante para conocer el grado de efectividad del nematicida y poder tomar decisiones de manejo, lo cual sugiere eliminar el nematicida en las fincas donde hay problemas de biodegradación y continuar con el uso racional de los mismos en fincas donde no se presenta este fenómeno. En esta temática se han realizado dos investigaciones: una que finalizó con una tesis doctoral en la universidad de Bonn, Alemania y otra tesis de licenciatura de la Universidad Nacional de Agricultura UNA en Honduras.

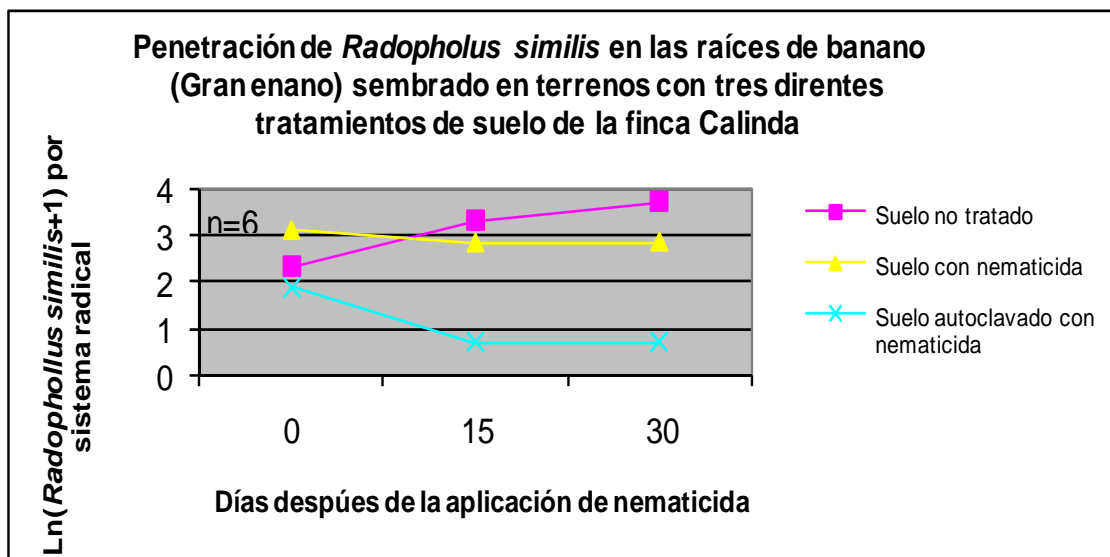


Fig. 8. Estudios de biodegradación acelerada del nematicida Terbufos (Counter) en la finca calinda

Estandarización de enmiendas orgánicas

Debido a que en la actualidad existen diferentes biofabricas que producen abonos orgánicos en la mayoría de los países y que la calidad de estos varía sustancialmente en cuanto a propiedades químicas físicas y microbiológicas se realizó una encuesta en los países socios del proyecto para realizar la estandarización de enmiendas orgánicas. Los resultados de esta actividad realizada en Colombia, Ecuador y República Dominicana fueron presentados en la XVII Reunión Internacional de ACORBAT realizada en Octubre 2006 en Brasil y el artículo científico se encuentra en el CD1 de publicaciones.

3. ANÁLISIS PROSPECTIVOS

El proyecto de calidad y salud de suelos ha tenido una serie de implicaciones y cambios de paradigmas en la agenda de investigación en banano en los 4 países donde se implementó. Es importante destacar que hubo productos que tuvieron aplicaciones a nivel regional y unos específicos a nivel de país. A continuación se presentan las implicaciones por cada país.

Análisis prospectivo de Venezuela

- En la finca Punta Larga donde se realizó la mayor parte de la investigación tanto a nivel de diagnóstico como de implementación de las alternativas tecnológicas, la calidad de la fruta se mejoro sustancialmente de tal forma que la finca fue denominada la de mejor producción y calidad a nivel nacional y le permitió asegurar el mercado en las principales ciudades de Venezuela tales como: Caracas, Maracay, Valencia y Barquisimeto. Asimismo la finca Punta Larga logro cumplir con todos los requisitos de certificación y es la primera finca de banano certificada por EUROGAP en Venezuela.
- Los resultados de las investigaciones realizadas en el marco del proyecto de calidad y salud de suelos sirvieron como base para contribuciones técnicas y científicas en el congreso internacional de calidad y salud de suelos organizado por la Universidad Central de Venezuela y el INIA. Este evento fue el primer congreso internacional de banano en Venezuela donde se abordó la temática de calidad y salud de suelos.
- La guía de calidad y salud de suelos está siendo aplicada para determinar la calidad y salud de suelos en el cultivo del plátano en la región del sur del Lago de Maracaibo.
- Las líneas de investigación abordadas en Venezuela permitieron la interacción de científicos del INIA con las universidades de la región tales como UCV, UCLA y la Universidad del Sur del Lago.

Análisis prospectivo de Panamá

Los resultados de investigación en Panamá permitieron tener impacto en la producción del banano así como en las políticas agrícolas del IDIAP. A continuación se describen las principales

- El exitoso uso de hongos endofíticos para el control biológico de nematodos en Panamá tuvo un impacto en el mejoramiento de la producción en la región (Artículo en el periódico de Panamá).
- El éxito con el uso de hongos endofíticos permitió a científicos del IDIAP usar estos microorganismos para el control de nematodos en otros cultivos tales como en papa para controlar *Globodera* spp. y en Tomate para control de *Meloidogyne* spp.
- Los científicos de IDIAP también sometieron una propuesta de investigación para el control biológico de nematodos en Papa, usando los aislamientos del proyecto de calidad y salud de suelos y la propuesta fue aprobada.
- El IDIAP oficializó como política nacional el uso de hongos endofíticos para el control de nematodos en las fincas de productores en Panamá. Esta tecnología está siendo transferida por técnicos del IDIAP.
- Integración de la universidad de Panamá y de Chiriquí en investigaciones en microbiología del suelo (trabajos pioneros) lo cual derivó en la formación académica de jóvenes científicos en el país.

Análisis prospectivo de Costa Rica

La Corporación Bananera Nacional de Costa Rica (CORBANA) experimentó cambios sustanciales en la agenda de investigación y en los servicios que ofrece a sus socios como consecuencia de la implementación de este proyecto. A continuación se describen los cambios.

- Por primera vez se realizó un diagnóstico completo de fincas de banano en Costa Rica donde se hicieran análisis físicos, químicos y sobretodo microbiológicos. Además se logró determinar los 17 indicadores relacionados con la calidad y salud de los suelos bananeros. Estos indicadores están siendo usados como estándares para evaluar las fincas comerciales en Costa Rica.
- Creación de una unidad de microbiología de suelos, lo cual generó la apertura de una nueva plaza para estudios de microartrópodos y se contrató a un experto en microartrópodos.
- Formación de capacidades: CORBANA decidió formar un científico en microbiología de suelos, enfocado a estudios de microorganismos, bacterias, hongos y actinomicetos y su relación con aspectos físicos y químicos de la rizosfera. El estudiante ha sometido su tesis a la UCR para su sustentación. Este mismo estudiante, ya tiene un cupo para realizar estudios doctorales en la Universidad de Wageningen el próximo año.

- Creación de un laboratorio de biocontrol de plagas en banano. Por influencias directas e indirectas de los resultados de investigación de poblaciones de la rizosfera en banano, se creó un laboratorio de biocontrol con un valor de más 1.5 millones de dólares americanos. Se espera que en este laboratorio se reproduzcan comercialmente hongos y bacterias endofíticas, así como otros microorganismos antagonistas de nematodos, Sigatoka e insectos.

Análisis prospectivo República Dominicana

Especial repercusión ha tenido el proyecto de calidad y salud de suelos en República Dominicana considerando que es el segundo país exportador de banano orgánico y que no existía información relacionada al estado actual de esas fincas y a la búsqueda de alternativas para mantener la producción orgánica, así como la convencional. A continuación se describen los logros.

- Determinación de indicadores de calidad y salud de suelos para fincas orgánicas y convencionales en el país
- Determinación de dosis y frecuencias de Materia Orgánica para mejorar la nutrición de las plantaciones orgánicas y convencionales en el país.
- Determinación de la fuente más importante para mejorar la nutrición de las plantaciones de banano encontrándose que el Compost es la mejor fuente seguido de Gallinaza y Bocashi.
- La guía de calidad y salud de suelos ha servido de modelo para otros cultivos que se están trabajando en el IDIAF como el arroz y el café.

Implicaciones a nivel regional

El proyecto de calidad y salud de suelos, además de haber incidido en el mejoramiento de la producción en cada país donde se ejecutó, también ha tenido implicaciones regionales en Latinoamérica y el Caribe a continuación se describen las principales

- La guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos de banano ha sido adoptada como un documento referencial en la región para determinar los problemas de producción de las fincas bananeras. Asimismo ACORBAT Internacional está interesado en hacer un tiraje de 1500 ejemplares de la guía para repartir entre sus asociados en todo Latinoamérica y el Caribe.
- La Guía ha sido traducida de español a inglés y se espera que ACORBAT Internacional haga una impresión de 500 ejemplares para ser distribuida entre los productores de habla inglesa de África y Asia. Esto refleja el impacto global que la guía tendrá.
- El uso de hongos endofíticos para el control biológico de fitonematodos fue identificado por los socios del proyecto como una de las tecnologías sobresalientes del proyecto y

existe un interés especial por los productores para que esta tecnología pueda estar al servicio del sector bananero en la región.

- Formación académica de jóvenes científicos de Latinoamérica, quienes bajo la plataforma del proyecto realizaron sus trabajos de tesis a nivel doctoral de maestría y de licenciatura. De estos estudios hay 24 tesis finalizadas y más de 10 que serán defendidas posproyecto.
- Creación de un sitio web que contiene los productos principales del proyecto así como los resultados principales de las investigaciones realizadas. A saber: guía de calidad y salud de suelos, trabajos de determinación de índices de calidad y salud de suelos, publicaciones generadas del proyecto, tesis de estudiantes del proyecto, reportes técnicos etc. Este sitio web ha sido ampliamente consultado y ha cumplido una función social importante para la comunidad bananera de la región.
- Conformación de un comité científico internacional que logro reunir la masa crítica de científicos y profesores que están trabajando en banano a nivel mundial. Cabe destacar la participación de profesores de la universidad de Bonn Alemania, DPI Australia, CORBANA Costa Rica, Dole de Latinoamérica. Un total de más de 75 científicos de diferentes países participaron en la planificación de las investigaciones así como en el análisis de la información generada.

4. PUBLICACIONES Y OTROS PRODUCTOS

Publicaciones

El proyecto realizó una serie de investigaciones en los cuatro países de las cuales se derivaron una serie de publicaciones las cuales se resumen en el cuadro 12. Además en la actualidad existe una serie de publicaciones y tesis que están en proceso y serán finalizadas pos proyecto. Debido a la alta cantidad de publicaciones generadas en este proyecto se ha generado un CD correspondiente al anexo de publicación CD 1.

Cuadro 12. Publicaciones derivadas del proyecto de calidad y salud de suelos bananeros

Tipo de publicación	Cantidad
En Revistas Internacionales	3
Artículos Científicos	36
Tesis Licenciatura	12
Tesis de Maestría	11
Tesis de Doctorado	2
Total	63

Participación en congresos científicos internacionales

Considerando el gran número de investigaciones realizadas en los 4 países donde se ejecutó el proyecto, se derivaron muchas contribuciones a nivel de charlas magistrales, presentaciones científicas y poster presentados en congresos internacionales. Un total de 36 artículos científicos han sido publicados en las memorias de los eventos en mención.

Organización de cursos de capacitación entre los países socios

Se realizaron diferentes cursos de entrenamiento para capacitar a los técnicos y científicos de los países. Entre los cuales se citan:

- Reunión de comité científico internacional donde se discutieron los protocolos de investigación para cada país.
- Taller Internacional sobre identificación de nematodos de vida libre en banano
- Taller internacional de estandarización de enmiendas orgánicas
- Taller internacional de costos de producción en banano.
- Taller de cierre del proyecto donde se discutieron los experimentos realizados así como lineamientos para preparación de informes finales.

Adicionalmente a estos cursos y talleres de capacitación, también se realizaron entrenamientos en indicadores microbiológicos en el laboratorio del CATIE, así como en técnicas de diagnóstico realizadas en fincas de CORBANA.

Otros productos

- Protocolo y metodologías de análisis multivariado para la determinación de la calidad y salud de suelos para los 4 países socios del proyecto desarrollado por el grupo de matemáticos de la UCR, el cual se anexa en el CD2.
- La guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos de banano ha sido un producto de gran importancia en el proyecto y debido a que es un documento grande se anexa en el CD3 de anexos electrónicos.
- El programa SIDICASS que se desarrollo para el análisis de la calidad y salud de suelos bananeros. Con este programa los productores de la región de Latinoamérica pueden ingresar la información mínima de los indicadores y conocer su estado actual de calidad y salud de suelos. Este programa se anexa en el CD 4
- Sistema de Análisis Económico y financiero de Fincas Bananeras (SAEFFIB) Debido a la importancia económica de la industria bananera en los países socios del proyecto, se

considero, la elaboración de una herramienta de trabajo que permita realizar un análisis económico-financiero de fincas bananeras para ser utilizado por agentes de extensión, bananeros, consultores y productores el cual se denomina "**Sistema de Análisis Económico y financiero de Fincas Bananeras**" (SAEFFIB). El programa se anexa en el CD5 y la salida del programa se ilustra en las Figura 9.



Fig. 9. Salidas del Sistema de Análisis Económico y financiero de Fincas Bananeras" (SAEFFIB).

Desarrollo del sitio Web del Proyecto Calidad y Salud de Suelos.

Sitio Web del proyecto que contiene las actividades realizadas en los países, así como documenta todas las acciones. Debido a la gran cantidad de información recaba en este proyecto, se decidió desarrollar un sitio Web que sirva de banco de datos y plataforma tecnológica de conocimiento para la comunidad bananera mundial La Figura 10 ilustra el menú principal de la página. Este sitio web puede ser visitado en la dirección de Internet <http://suelosbananeros.catie.ac.cr>

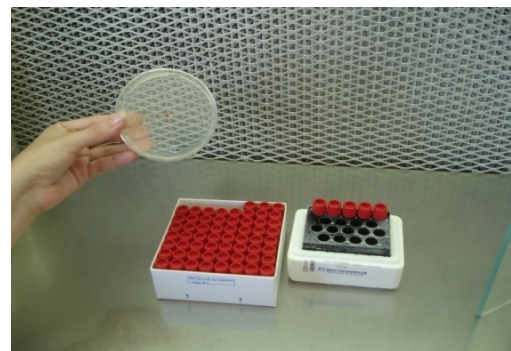


Fig. 10. Pagina web del proyecto de calidad y salud de suelos bananeros

- Colección de bacterias y hongos endofíticos. La colección de hongos endofíticos cuenta con 18 poblaciones correspondientes a 18 fincas de banano de Centroamérica, y contiene un total de 942 aislamientos. En el caso de bacterias endofíticas tiene 17 poblaciones para un total de 310 aislamientos. Con seguridad es una de las colecciones de microorganismos endofíticos más grande del mundo en banano. La Figura 11 muestra la colección de microorganismo.



A



B

Fig. 11. Colección de hongos y bacterias endofíticas de la rizosfera del banano. A. colección a mediano plazo en papel filtro B. colección a largo plazo en Cryobanco.

- Premiaciones en eventos internacionales. Se obtuvo el primer lugar en competición de poster en Tropentag, Bonn Alemania en el 2006 y el segundo lugar en competición de poster en el congreso de ONTA, en Costa Rica en el 2006.

5. EJECUCION DEL PRESUPUESTO

La ejecución del presupuesto se realizó de acuerdo a los montos aprobados para cada país. Es importante aclarar que con excepción de Panamá, todos los países ejecutaron los fondos que fueron transferidos. De un total aprobado de US\$ 500,000, se ejecutaron 496,031.17 para un porcentaje de ejecución de 99.2% (Cuadro 13). Por otra parte, el diferencial entre el monto aprobado y el transferido, fue ejecutado por Bioversity, debido a que los países miembros solicitaron apoyos puntuales con viajes de expertos a los países y para participar en la reunión de cierre del proyecto en mayo del 2009 en Costa Rica. Para mayores detalles de los gastos de cada país ver informe financiero del proyecto CD 6 de anexos.

En relación a la contraparte de las instituciones participantes en el proyecto, el monto total de la contribución fue de US\$ 662,650. Esta contribución fue cargada a los centros de costo de personal de los científicos y técnicos que participaron en el proyecto, costos operativos depreciación de equipos de campo y de laboratorio, vehículos y gastos misceláneos en cada institución. Considerando el aporte de FONTAGRO de US\$ 500,000 más la contrapartida de los socios de US\$ 662,650, el costo total del proyecto fue de US\$ 1,162,650 (Cuadro 13). Para más detalles ver informe financiero en CD6 de anexos.

Cuadro 13. Resumen sobre gastos del proyecto de calidad y salud de suelos de FONTAGRO y contrapartida de las instituciones de investigación del consorcio

CONVENIO ATN/SF-9159-RG FONTAGRO							
PROYECTO: Innovaciones Tecnológicas para el Manejo y Mejoramiento de la Calidad y Salud de Suelos Bananeros de América Latina y el Caribe							
ESTADO DE EJECUCION DE LA CONTRIBUCION DE LAS INSTITUCIONES AL PROYECTO							
CATEGORIA	Total Gastos CATIE	Total Gastos CORBANA	Total Gastos IDIAF/ CEDAF	Total Gastos IDIAP	Total Gastos INIA	Total Gastos INIBAP	TOTAL GASTOS (1+...+n)
	País Costa Rica	País Costa Rica	País República Dominicana	País Panamá	País Venezuela	País Costa Rica	
	US \$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$
TOTAL APROBADO	145,260.00	29,000.00	44,280.00	44,280.00	44,280.00	192,900.00	500,000.00
TOTAL TRANSFERIDO + CUENTAS POR PAGAR*	145,260.00	27,000.00	42,040.00	42,745.00	35,804.77	192,900.00	485,749.77
TOTAL JUSTIFICADO	145,272.02	27,102.50	44,309.51	38,860.07	37,234.35	203,252.72	496,031.17
CONTRAPARTIDA	143,650.00	132,650.00	98,500.00	77,700.00	84,300.00	125,850.00	662,650.00
TOTAL GASTOS DE PROYECTO	288,910.00	161,650.00	142,780.00	121,980.00	128,580.00	318,750.00	1,162,650.00

* Gastos de Socios hechos por Bioversity

Anexos



**Innovaciones tecnológicas para el manejo y mejoramiento de
la calidad y salud de suelos bananeros de América Latina y
el Caribe**

INFORME FINAL

**Ing. Ramón Jiménez
Ing. Domingo Rengifo
Ing. Aridio Pérez**

República Dominicana

Octubre, 2009

1) RESUMEN EJECUTIVO

Para la ejecución del proyecto “Innovaciones tecnológicas para el manejo y mejoramiento de la calidad y salud de suelos bananeros de América Latina y el Caribe (ALC), el Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), firmó un acuerdo de cooperación con Bioversity (INIBAP) a través de su coordinación regional para ALC. La propuesta básica de este proyecto fue contribuir a solucionar el problema de fincas degradadas con baja productividad, basado en el mejoramiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo, mediante el uso de innovaciones tecnológicas sostenibles que permitan incrementar la productividad y/o mantener o recuperar la calidad y salud de los suelos bananeros. Para el logro de este proyecto se fijaron tres objetivos específicos:

1. Diseñar y validar una Guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras;
2. Proveer y establecer alternativas tecnológicas integrales que mejoren la calidad de suelos para la recuperación y mantenimiento de la productividad de plantaciones bananeras deterioradas;
3. Desarrollar investigación paralela y complementaria que pueda ayudar al establecimiento y difusión de las alternativas tecnológicas integradas y validadas en fincas de productores.

A cada uno de estos objetivos corresponde una fase del proyecto. La primera y tercera fase se desarrollan en paralelo y la segunda es consecuencia de la finalización de la primera.

Este informe reporta las actividades realizadas y se presentan los resultados obtenidos en las tres fases del proyecto. Para la primera fase cuyo objetivo fue validar a nivel de campo la guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos bananeros se analizaron 12 fincas en el Cibao Central. En el análisis de las 12 fincas estudiadas (4 orgánicas y 8 convencionales), se encontró que el índice global de las fincas convencionales fue mayor que el de las fincas de manejo orgánico. En ambos sistemas, se determinó que los índices de calidad del lado de buena productividad fueron mayores que los del lado de baja productividad de la mayoría de las fincas.

En la segunda fase se seleccionaron 6 fincas de las 12 utilizadas para validar la guía de diagnóstico a nivel de campo. En estas fincas se aplicó un plan de manejo para la recuperación y/o mantenimiento de la calidad y salud de suelos en base a alternativas tecnológicas integrales.

En el 100% de los sitios de baja productividad en las fincas orgánicas y convencionales, se logró incrementar sustancialmente los valores de las variables de producción (circunferencia del seudotallo, altura del hijo de sucesión y número de manos/racimo). Además, se logró mejorar los valores de las variables de suelos (pH, Ca/K, % de arena, infiltración de agua, penetración y respiración microbiana total).

En la tercera y última fase del proyecto se realizaron investigaciones complementarias con el objetivo de contribuir al establecimiento y difusión de alternativas tecnológicas integradas y validadas en fincas de productores. Sobre este aspecto se realizaron tres trabajos de investigación sobre fuentes, dosis y distribución de materia orgánica y potasio. Los resultados de estas investigaciones evidenciaron que el compost fue la mejor fuente para incrementar la productividad en banano. Adicionalmente se determinó que 4 TM materia orgánica en dos aplicaciones y 8TM en 3 aplicaciones tuvieron los mejores resultados en la producción. Asimismo se determinó que las aplicaciones de materia orgánica favorecieron sustancialmente el

peso radical de las plantaciones así como el crecimiento del hijo de sucesión que garantiza la próxima cosecha.

Es importante resaltar que el proyecto de calidad y salud de suelos fue una plataforma de capacitación de personal científico técnico del IDIAF en diferentes disciplinas relacionadas con suelos y salud radical a saber: capacitación en identificación de nematodos de vida libre como indicadores de calidad y salud de suelos, aislamiento de hongos y bacterias endofíticas promotoras de crecimiento en banano, entrenamientos en respiración microbiana y estandarización de enmiendas orgánicas.

Especial repercusión ha tenido el proyecto de calidad y salud de suelos en República Dominicana considerando que es el segundo país exportador de banano orgánico y que no existía información relacionada a factores microbiológicos de estas fincas y a la búsqueda de alternativas para mantener la producción orgánica, así como la convencional. Dentro de las principales repercusiones se enlistan:

- Determinación de indicadores de calidad y salud de suelos para fincas orgánicas y convencionales en el país
- Determinación de dosis y frecuencias de Materia Orgánica para mejorar la nutrición de las plantaciones orgánicas y convencionales en el país.
- Determinación de la fuente más importante para mejorar la nutrición de las plantaciones de banano encontrándose que el Compost es la mejor fuente seguido de Gallinaza y Bocashi.
- La guía de calidad y salud de suelos ha servido de modelo para otros cultivos que se están trabajando en el IDIAF como ser el arroz y el café.

2) RESULTADOS OBTENIDOS Y SU INTERPRETACIÓN

PRIMERA FASE DEL PROYECTO

OBJETIVO #1

Elaboración y validación de una Guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos bananeros

En República Dominicana, la guía se probó en 12 fincas seleccionadas, las cuales tenían diferentes sistemas de producción (8 orgánicas y 4 convencionales), tamaños (grandes y pequeñas), mercado (exportación y local) y manejo agronómico. El trabajo se inició con el “prediagnóstico”, en donde se verificó la información sobre el historial de la finca y la producción *in situ* a través de los “indicadores de producción”. Una vez terminado el prediagnóstico se clasificaron las áreas en buena y pobre productividad. Se ubicaron 8 sitios de monitoreo por finca, donde se procedió a ejecutar el “diagnóstico”. Las mini calicatas fueron el medio de captación de datos en el campo.

Inmediatamente se finalizó el trabajo de campo y de laboratorio, se procedió al análisis cuantitativo de los datos usando una metodología integradora que permitiera evaluar la

efectividad y relación entre los diferentes indicadores; es decir, se procedió a evaluar el comportamiento de cada uno de los indicadores en su habilidad de “indicar” las diferencias entre sitios contrastantes dentro y entre las fincas estudiadas. Para el caso de la aplicación de la guía de calidad y salud de suelo se separaron las fincas de acuerdo a si eran convencionales u orgánicas.

RESULTADOS PRIMERA FASE

En el país se contó con 45 variables activas que formaron parte del análisis, el cual para el caso de las fincas convencionales una vez culminado los análisis correspondientes generó 11 variables: tres correspondientes a indicadores químicos (pH, K y Cu); dos a físicos (% arena y resistencia a la penetración); y seis a biológicos (respiración microbiana total, índice de mineralización, raíces totales, *Helicotylenchus multicinctus*, otros hongos y microartrópodos total de familia).

El índice global para las fincas convencionales fue de 0.522. Para el sector bueno fue de 0.557 y para el pobre 0.462. Cuando se aplicó el índice a cada una de las fincas convencionales el resultado obtenido lo podemos observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Índice de calidad y salud de suelos de las fincas convencionales

FINCA	Lado Bueno	Lado Pobre
LSRC	0.605	0.556
EMAB	0.570	0.398
PVAR	0.550	0.453
CGFM	0.604	0.442

Para el caso de las fincas orgánicas, la construcción del índice generó 11 indicadores (Cuadro 2) distribuidos de la siguiente manera: cuatro químicos (pH, Ca, Ca/K y materia orgánica); dos físicos (% arena e infiltración de agua); y cinco biológicos (respiración microbiana total, raíces totales, *Helicotylenchus multicinctus*, *Fusarium* y otros hongos) para 36%, 18% y 46% respectivamente. Para fincas orgánicas el índice global fue de 0.462. Para el sector bueno fue de 0.508 y para el pobre 0.417.

Cuadro 2.- Índice de calidad y salud de suelos de las fincas orgánicas

FINCA	Lado Bueno	Lado Pobre
LCDV	0.508	0.421
LCJP	0.506	0.547
AMMB	0.564	0.317
BMFM	0.496	0.464
BMRF	0.265	0.292
PVFR	0.528	0.367
CGFF	0.580	0.516
CGFR	0.615	0.416

De acuerdo a la información presentada en los cuadros 1 y 2 se pudo apreciar que los mejores índices se encontraron en las fincas convencionales. De las variables escogidas para la determinación del índice de calidad y salud de suelos, el pH, % arena, respiración microbiana total, raíces totales, *Helicotylenchus multicinctus* y otros hongos, participaron en ambos sistemas.

SEGUNDA FASE DEL PROYECTO

OBJETIVO #2

Establecimiento de un plan de manejo utilizando alternativas tecnológicas integrales que mejoren la calidad y salud de suelos de las fincas bajo estudio que requieren de recuperación.

De las 12 fincas utilizadas para validar la guía de diagnóstico a nivel de campo, se seleccionaron 5 (3 orgánicas y 2 convencionales) para aplicar un plan de recuperación y/o mantenimiento de la calidad y salud de suelos en base a alternativas tecnológicas integrales. Las fincas fueron las siguientes:

1. Finca orgánica Darío Vargas ubicada en La Caída, Montecristi (LCDV)
2. Finca orgánica Rainieri ubicada en Cerro Gordo, Montecristi (CGFR)
3. Finca orgánica Fernández ubicada en Cerro Gordo, Montecristi (CGFF)
4. Finca orgánica Mota ubicada en Cerro Gordo, Montecristi (CGFM)
5. Finca convencional Ángel Regalado ubicada en Palo Verde, Montecristi (PVAR)

De las fincas seleccionadas, se escogieron 6 sitios, 5 de baja productividad y 1 de buena. En la finca (LCDV) se trabajó en ambos sitios. El plan de manejo se inició con la realización de una serie de actividades y/o prácticas no contempladas, o realizadas inadecuadamente por los productores (Cuadro3). La segunda parte del plan consistió en la aplicación de materia orgánica, utilizando gallinaza como fuente. Se aplicaron 10 toneladas por hectárea de materia orgánica, distribuida en dos aplicaciones a un intervalo de cinco meses.

Cuadro 3. Prácticas realizadas

Finca	Prácticas realizadas
LCDV. Sitio pobre	Construcción de muros y drenajes
LCDV. Sitio bueno	Construcción de muros y drenajes
CGFR. Sitio pobre	Renovación de plantación Nivelación con rayo laser Riego subfoliar Construcción de muros y drenajes
CGFF. Sitio pobre	Construcción de muros y drenajes
CGFM. Sitio pobre	Construcción de muros y drenajes
PVAR. Sitio pobre	Construcción de muros y drenajes

En las fincas en recuperación se midieron las variables de desarrollo y producción de las plantas (circ. seudotallo, altura de hijo y número de manos/racimo), las variables químicas (pH, Ca, K, Ca/K, Cu y materia orgánica), las variables físicas (% arena e infiltración de agua y resistencia a la penetración) y las variables microbiológicas (respiración microbiana total, índice de mineralización, raíces totales, *Helicotylenchus multicinctus*, *Fusarium* y otros hongos)

RESULTADOS SEGUNDA FASE

En los sitios de baja productividad de todas las fincas, orgánicas y convencionales, se logró mejorar los valores de las variables de desarrollo y producción: circunferencia del seudotallo de la planta madre, altura del hijo de sucesión y número de manos/racimo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores de crecimiento y producción

Durante el diagnóstico				Posterior a la aplicación del plan de manejo		
Fincas	Circ. Seudotallo (cm)	Aturahijo (m)	Número de manos/racimo	Circ. Seudotallo (cm)	Atura hijo (cm)	Número de manos/racimo
LCDV(p)	49.90	159.75	5.55	59.10	202.80	7.90
LCDV(b)	65.84	165.69	8.85	53.05	153.65	7.00
CGFR(p)	48.99	169.50	5.94	56.10	174.80	8.10
CGFF(p)	52.03	165.50	7.43	65.75	191.75	8.45
CGFM(p)	50.36	175.88	5.36	62.90	171.6	9.00
PVAG(P)	45.66	197.88	6.10	61.70	136.95	9.40

En las seis fincas en recuperación, la variable química (pH) en el diagnóstico registró un valor por encima de 7. Sin embargo, después de la aplicación del plan de recuperación este valor se redujo por debajo de 7 en la totalidad de las fincas. Considerando que un valor de pH cercano a 6 manifiesta un alto índice de calidad de suelos en función a esta variable, se puede decir que el cambio de pH contribuyó a mejorar la calidad de estos suelos (Cuadros 5, 6 y 7).

En relación a las variables químicas Calcio (Ca), materia orgánica (MO), potasio (K) y cobre (Cu), sus valores no variaron de manera sustancial, de forma que se movieran ni hacia dentro ni hacia fuera del valor del rango ideal. En consecuencia, no tuvieron efecto en mejorar ni desmejorar la calidad de los suelos en lo que las mismas fueron consideradas (Cuadros 5, 6 y 7).

En cuanto a la variable relación calcio potasio (Ca/K), en las fincas LVDV (P) y (CGFR), su valor cambió hacia el rango ideal (10-20), por lo que contribuyó a mejorar la calidad de los suelos de estas fincas en función a dicha variable. En las demás fincas no hubo cambio en el valor de esta variable hacia dentro ni hacia fuera del valor del rango ideal (Cuadros 5, 6 y 7).

Cuadro 5. Valores de las variables en el diagnóstico y posterior a la aplicación del plan derecuperación en las fincas LCDV (p) y LCDV (b)

Variables	Valores del el diagnóstico		Valores posterior a la aplicación del plan de recuperación	
	LCDV(P)	LCDV(b)	LCDV(P)	LCDV(b)
pH	7.02	8.05	6.90	7.7 0
Ca	16.94	34.93	13.93	34.45
Ca/K	45.44	39.03	9.26	27.18
OM	2.66	4.53	2.16	4.27
% arena	31.62	13.62	38.00	24.00
Infiltración de agua	24.14	11.69	11.21	28.71
RM-Total	48.00	56.10	31.89	22.63
RT	89.50	101.25	83.00	71.00
Hel.m	0.00	0.00	8400	11,400.00
fusar	0.75	0.25	4.05	1.65
ot-fung	2.25	3.25	2.40	1.19

La variable infiltración de agua en las fincas LCDV (P) y CGFR manifestó cambio en su valor hacia el rango de valor ideal (5-16). De esta forma contribuyó a mejorar la calidad de los suelos de estas fincas en función a dicha variable. Sin embargo, esta misma variable cambió su valor desmejorando la calidad de suelos de la finca LCDV (b) (Cuadros 5 y 6).

Los valores de la variable respiración microbiana total (RM Total), en las fincas LCDV (b), CGFM y PVAR cambiaron hacia el rango ideal (20-30). De forma que esta variable contribuyó con el mejoramiento de la calidad de suelos de estas fincas. Sin embargo, el valor de esta variable produjo un desmejoramiento en la calidad de la finca CGFR. (Cuadros 5, 6 y 7).

Cuadro 6. Valores de las variables en el diagnóstico y posterior a la aplicación del Plan de recuperación en las fincas CGFF Y CGFR

Variables	Valores durante el diagnóstico		Valores posterior a la aplicación del plan de recuperación	
	CGFF	CGFR	CGFF	CGFR
pH	8.06	7.95	7.40	7.00
Ca	16.97	16.50	19.17	12.83
Ca/K	25.50	27.90	23.66	13.64
OM	2.85	2.48	3.01	1.89
% arena	5.84	6.84	10.00	16.00
Infiltración de agua	6.88	3.47	13.98	7.19
RM-Total	38.32	34.05	22.27	17.10
RT	98.75	109.75	75.00	50.00
Hel. m	550.00	700.00	5,000.00	0.00
fusar	0.50	0.75	0.85	1.70
ot-fung	3.75	3.50	4.05	5.50

La variable resistencia a la penetración (pen-res) en las fincas convencionales CGFM y PVAR, experimentó cambio en sus valores hacia el rango considerado ideal (0.10 -0.25). De manera que contribuyó a mejorar la calidad de suelos de estas fincas. (Cuadro 7).

La variable microbiológica peso total de raíces (RT) manifestó cambio en sus valores hacia fuera del rango considerado ideal (90-120) en el 66% de las fincas. Esta variable no contribuyó a mejorar y/o mantener la calidad de los suelos de las fincas en recuperación. Con relación a la variable *Helicotylenchus multicinctus* (Hel.m), en las fincas CGFM Y CGFR sus valores cambiaron hacia fuera del rango ideal (350-900). En las demás fincas en las que se consideraba esta variable no se manifestó ningún cambio (Cuadro 7).

Para la variable microbiológica *Fusarium* (fusar) en las fincas CGFR y LCDV (p) sus valores cambiaron hacia fuera del rango ideal (0.5 -1.50). Los valores de estas variables produjeron un desmejoramiento en la calidad de los suelos de estas fincas. En las demás fincas en las que se consideraba esta variable no hubo ningún cambio (Cuadro 5 y 6).

Cuadro 7. Valores de las variables en el diagnóstico y posterior a la aplicación del Plan de recuperación en las fincas CGFFM Y PVAR

Variables	Valores durante el diagnóstico		Valores posterior a la aplicación del plan de recuperación	
	CGFM	PVAR	CGFM	PVAR
pH	7.83	8.02	6.80	7.60
K	2.70	0.84	1.99	0.66
Cu	2.40	14.00	3.10	12.40
% arena	10.48	14.48	12.50	16.00
Pen-res.	0.27	0.38	1.15	2.18
RM-Total	63.40	62.03	21.08	46.93
Ind Min.	0.600	0.55	0.40	0.80
R T	130.00	104.30	100.00	182.00
Hel.m	1,200.00	1600.00	2,400.00	0.00
ot-fung	5.25	6.00	3.80	3.05

TERCERA FASE DEL PROYECTO

OBJETIVO #3

Desarrollar investigación paralela y complementaria que pueda ayudar al establecimiento y difusión de las alternativas tecnológicas integradas y validadas en fincas de productores.

EVALUACIÓN DE FUENTES Y DOSIS DE MATERIA ORGÁNICA

El ensayo se condujo en una plantación establecida perteneciente al productor Darío Vargas, miembro de la asociación Bananos ecológicos del Cibao (Banelino). Está ubicada en La Caída, Montecristi (71° 11' 32 ''W, 19°34'45'' N). El periodo de ejecución fue de septiembre de 2007 hasta marzo de 2009.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial de tratamientos modificado (3x3+1) con 3 repeticiones. Los factores en estudio fueron: fuente de materia orgánica (compost, bocashi y gallinaza) y dosis de aplicación (4, 8 y 12 ton/ha). Los tratamientos evaluados fueron el resultado de la combinación de los factores y un testigo que consistió en la no aplicación de abono.

Se utilizaron parcelas experimentales de 5 hileras con 9 plantas cada una, utilizando un marco de plantación de 2.5m. x 2.0m. La unidad de análisis en la que se realizaron las mediciones estuvo constituida por una muestra al azar de 15 plantas.

Se analizaron las fuentes para determinar el porcentaje de materia orgánica, su contenido nutricional y microbiológico. Se usó el contenido de materia orgánica para determinar la cantidad a aplicar por tratamiento.

Se realizaron análisis químicos, físicos y microbiológicos de muestras de suelo tomadas en el primer horizonte del perfil de suelo de cada una de las parcelas. Para verificar el comportamiento de las variables, se realizaron análisis de suelo, antes de la aplicación de los tratamientos y al final del ciclo de cosecha.

Las variables químicas y físicas medidas fueron: pH, materia orgánica (%), Ca, Ca/K y arena (%). Las variables microbiológicas fueron: Respiración microbiana total (mg 100 g⁻¹ 10 días⁻¹), Peso total de raíces (g), *Helicotylenchus multicinctus* (cantidad), *Fusarium* (total hongos aislados) y otros hongos (total hongos aislados). Además, se midieron las variables de desarrollo y producción: circunferencia del seudotallo (cm), altura del hijo de sucesión (cm), altura de plantas, número de manos, largo del fruto (cm), grosor del fruto (cm), peso de racimo (Kg) y peso del raquis (kg).

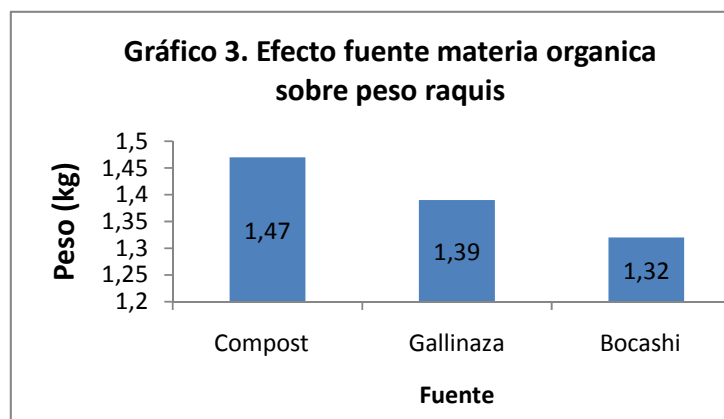
Para el análisis de los datos se realizaron análisis de varianza, y de regresión de acuerdo a la estructura de los tratamientos.

RESULTADOS

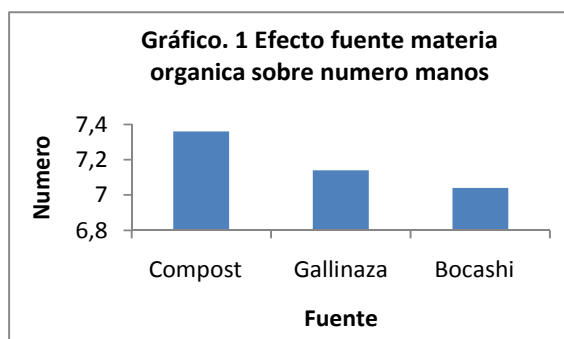
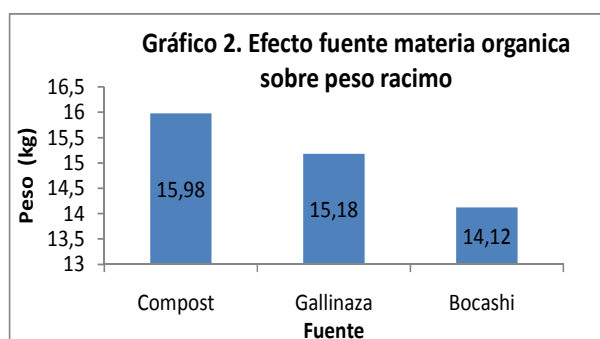
Los resultados mostraron que al aplicar materia orgánica se aumentaron ligeramente los valores de todas las variables de desarrollo y producción, excepto la longitud del fruto que permaneció igual (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre las variables de desarrollo y producción

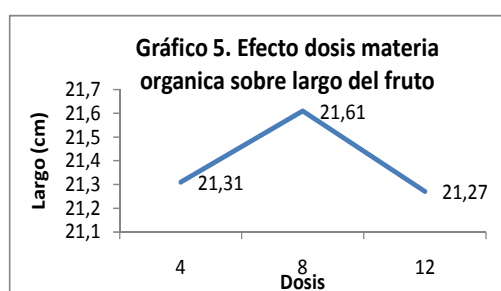
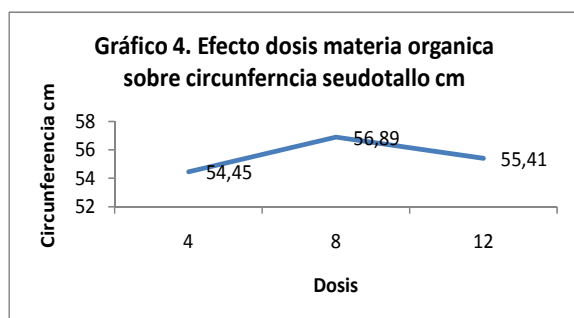
Variable	Sin aplicación de materia orgánica	Con aplicación de materia orgánica
Altura de plantas	2.58	2.60
Circunferencia seudotallo (cm)	53.71	56.62
Altura hijo de sucesión (cm)	1.45	1.59
Número de manos	6.84	7.17
Largo del fruto (cm)	21.41	21.41
Grosor fruto (cm)	11.37	11.57
Peso racimo (Kg)	13.64	15.07
Peso raquis (kg)	1.37	1.41



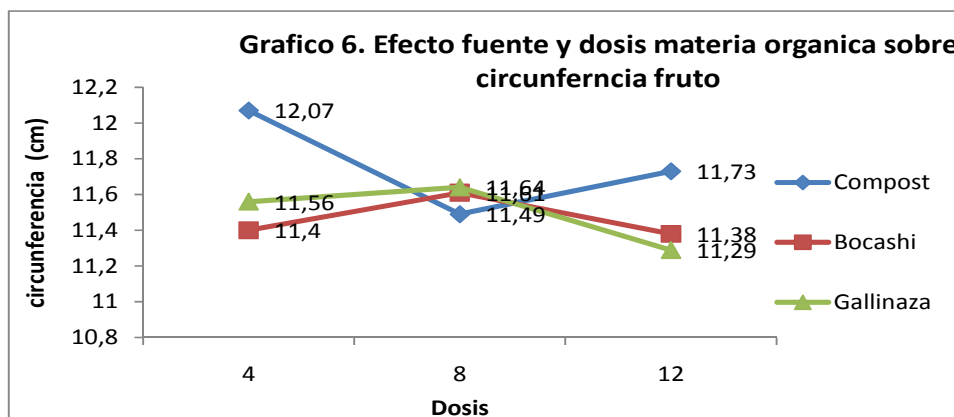
En cuanto a las variables de desarrollo y producción, se registraron diferencias significativas entre las fuentes en el número de manos, peso de racimo y peso del raquis. (Gráfico 1, 2 y 3). En todos los casos el compost fue superior a la gallinaza y al bocashi.



En relación a las dosis, se observó diferencia significativa en la circunferencia delseudotallo y el largo del fruto. En ambos casos los valores de las variables aumentaron al cambiar de 0 a 4 ton/ha, y disminuyeron al pasar de 8 a 12 ton/ha (grafico 4 y 5).



Sólo se encontraron diferencias significativas en la interacción entre fuente y dosis en la variable circunferencia del fruto. Mientras el compost se comportó mejor en las dosis 4 y 12 ton/ha, el bocashi y la gallinaza lo superaron en la dosis de 8 ton/ha (Gráfico 6).



Al comparar los resultados de los análisis de laboratorio de las muestras tomadas antes y después de la aplicación de los tratamientos, se observó que la aplicación de materia orgánica fue efectiva para cambiar los valores obtenidos en todas las variables químicas y físicas medidas. Las mismas aumentaron su valor, excepto la relación Ca/K que disminuyó probablemente debido a que se registró un mayor aumento en el contenido de potasio (K) que el ocurrido en el contenido de Ca.

Cuadro 9. Comportamiento de las variables químicas y físicas antes y después de la aplicación de fuentes y dosis de materia orgánica

Tratamientos		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Fuente	Dosis	pH	pH	% arena	% arena	Ca/K	Ca/K	MO	MO	Ca	Ca
Compost	4	6.90	7.50	42.57	45.00	20.17	13.41	2.45	2.58	11.06	11.53
Compost	8	6.91	7.37	42.16	41.67	27.63	20.88	2.56	2.80	12.11	12.39
Compost	12	6.83	7.53	36.57	42.65	19.41	16.33	2.56	2.68	10.88	12.25
Bocashi	4	6.89	7.33	43.91	42.33	24.17	10.54	2.20	2.69	12.39	11.05
Bocashi	8	6.93	7.70	40.57	44.33	18.04	20.41	2.41	2.47	10.29	11.53
Bocashi	12	6.76	7.53	39.91	40.33	24.78	12.37	2.45	2.58	12.56	12.73
Gallinaza	4	6.93	7.50	40.16	34.32	19.44	19.74	2.77	2.94	12.83	13.29
Gallinaza	8	6.97	7.43	45.24	42.32	22.21	7.77	2.27	2.65	11.89	11.32
Gallinaza	12	6.91	7.60	40.57	44.00	24.28	18.94	2.38	2.36	10.17	11.67

Hubo un incremento en el valor de las variables pH, % de materia orgánica, Ca, % de arena, respiración microbiana, peso total de raíces, *Helicotylenchus multicinctus*, *Fusarium* y otros hongos. En cambio hubo una disminución en el valor de la relación Ca/K (Cuadro 9). Todas las variables microbiológicas incrementaron su valor, posiblemente como consecuencia del aumento en la dinámica microbiana ocasionada por la aplicación de materia orgánica.

Cuadro 10. Comportamiento de las variables microbiológicas antes y después de la aplicación de fuentes y dosis de materia orgánica

Tratamientos		Peso total raíz		<i>Hel mult. **</i>		<i>Fusarium</i>		otros hongos	
Fuente	Dosis	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Compost	4	83.00	148.00	1,866.67	9,000.00	0.13	0.80	2.13	3.93
Compost	8	102.33	151.67	3,933.33	3,066.67	0.20	0.67	2.07	3.40
Compost	12	91.33	118.33	4,800.00	4,400.00	0.53	0.20	1.93	3.67
Bocashi	4	66.67	153.67	2,466.67	8,466.67	0.07	0.53	0.53	2.87
Bocashi	8	82.67	144.00	2,466.67	4,400.00	0.20	1.13	2.00	4.27
Bocashi	12	102.00	158.33	1,400.00	7,666.67	0.87	1.33	2.20	3.00
Gallinaza	4	157.00	142.00	4,800.00	8,133.33	0.53	0.93	2.33	2.87
Gallinaza	8	108.67	167.67	1,866.67	17,533.33	0.80	0.87	1.87	4.20
Gallinaza	12	103.33	152.33	3,066.67	3,533.33	0.10	0.67	3.20	2.80

CONCLUSIÓN

Estos resultados podrían ser una evidencia del efecto positivo del aporte de la materia orgánica en el mejoramiento de las propiedades químicas, físicas y microbiológicas del suelo. Los cambios registrados en estas propiedades, probablemente fueron las causas del incremento registrado en las variables de desarrollo y producción del cultivo.

El compost fue la fuente de materia orgánica que más influenció en el buen comportamiento de los componentes de producción.

Se espera que a largo plazo, con la aplicación sistemática de enmiendas orgánicas se puedan obtener mejores respuestas que contribuyan al mejoramiento y/o mantenimiento de la fertilidad perdida de las plantaciones bananeras.

EVALUACIÓN DE DOSIS Y DISTRIBUCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

El experimento se realizó en una de las 12 fincas bananeras, en las cuales se validó la “Guía de diagnóstico de calidad y salud de suelo”. Es una plantación establecida perteneciente al productor Darío Vargas, miembro de la asociación Bananos ecológicos del Cibao (Banelino). Ubicada en La Caída, Montecristi (71° 11' 32 ''W, 19°34'45'' N), con pluviometría promedio anual de 684mm y temperatura promedio anual de 27°C. La región se clasifica como bosque seco subtropical. El período de ejecución fue de septiembre de 2007 hasta marzo de 2009.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial de tratamientos modificado (4x3+1) con 3 repeticiones. Los factores en estudio fueron: dosis de materia orgánica (4, 8 y 12 ton/ha) y distribución de dosis de materia orgánica (1, 2, 3 y 4 aplicaciones de materia orgánica por ciclo de cosecha). Los tratamientos evaluados fueron el resultado de la combinación de los factores y un testigo que consistió en la no aplicación de materia orgánica.

Se utilizaron parcelas experimentales de 5 hileras con 9 plantas cada una, utilizando un marco de plantación de 2.5m. x 2.0m. La unidad de análisis en la que se realizaron las mediciones estuvo constituida por una muestra al azar de 15 plantas.

La gallinaza

Se utilizó la gallinaza como fuente de materia orgánica, la cual fue analizada para determinar el porcentaje de materia orgánica y contenido nutricional y microbiológico. Se usó el contenido de materia orgánica para determinar la cantidad a aplicar.

Se realizaron análisis químicos, físicos y microbiológicos de muestras de suelo tomadas en el primer horizonte del perfil de suelo de cada una de las parcelas. Para verificar el comportamiento de las variables, se realizaron análisis de suelo antes de la aplicación de los tratamientos y al final del ciclo de cosecha.

Las variables químicas y físicas medidas fueron: pH, materia orgánica (%), Ca, Ca/K y arena (%). Las variables microbiológicas fueron: Respiración microbiana total (mg 100 g⁻¹ 10 días⁻¹), Peso total de raíces (g), *Helicotylenchus multicinctus* (cantidad), *Fusarium* (Total hongos aislados) y otros hongos (Total hongos aislados). Además, se midieron las variables de desarrollo y producción: circunferencia del seudotallo (cm), altura del hijo de sucesión (cm), altura de plantas, número de manos, largo del fruto (cm), grosor del fruto (cm), peso de racimo (kg) y peso del raquis (kg).

Para el análisis de los datos se realizaron análisis de varianza, y de regresión de acuerdo a la estructura de los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de desarrollo y producción

Se obtuvo diferencias significativas en 5 de las 7 variables de desarrollo y producción. Sin embargo, al comparar los tratamientos (con materia orgánica) con el testigo (sin materia orgánica), se observó diferencias únicamente para las variables: circunferencia de la planta madre (Gráfico 8), número de manos por racimo (Gráfico 9) y peso de racimo (Gráfico 10). Estos resultados indican claramente el efecto positivo de la materia orgánica en las principales variables asociadas a la productividad en cultivo de banano.

Gráfico 8. Efecto de tratamientos en circunferencia seudotallo

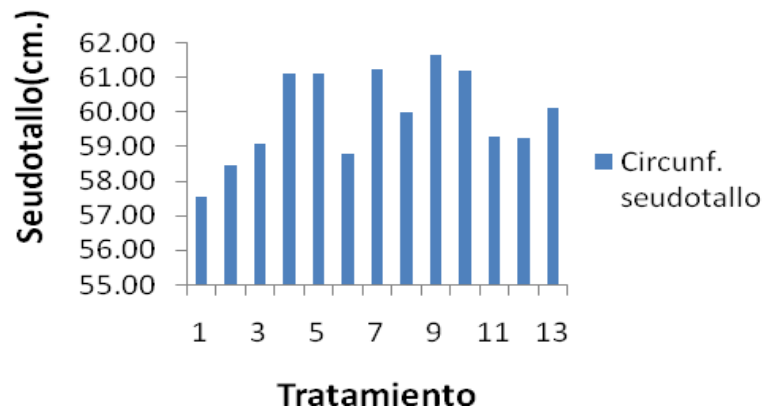


Gráfico 9. Efecto de tratamientos en manos /racimo

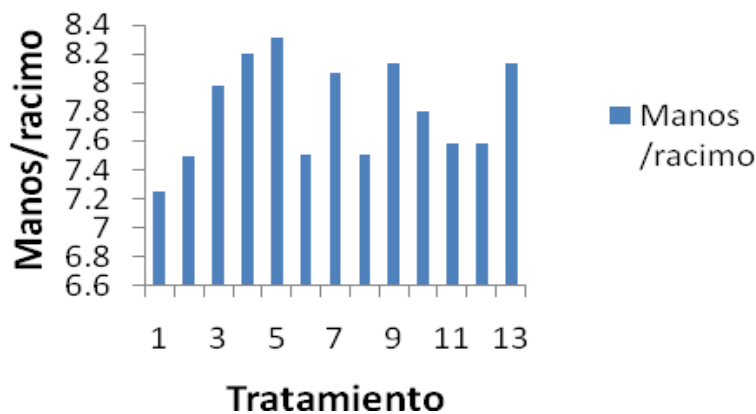
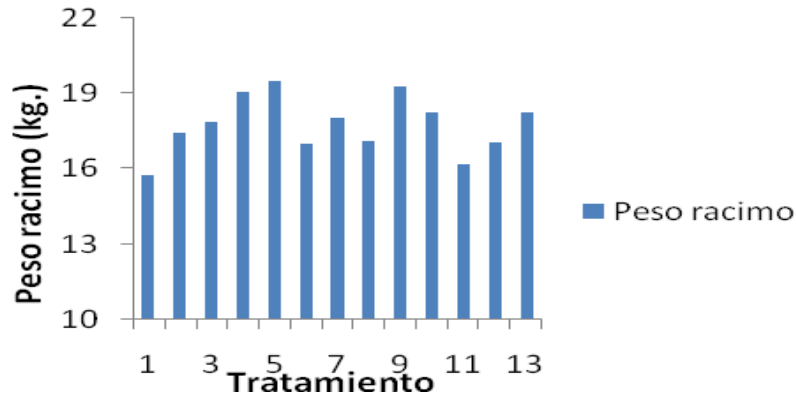


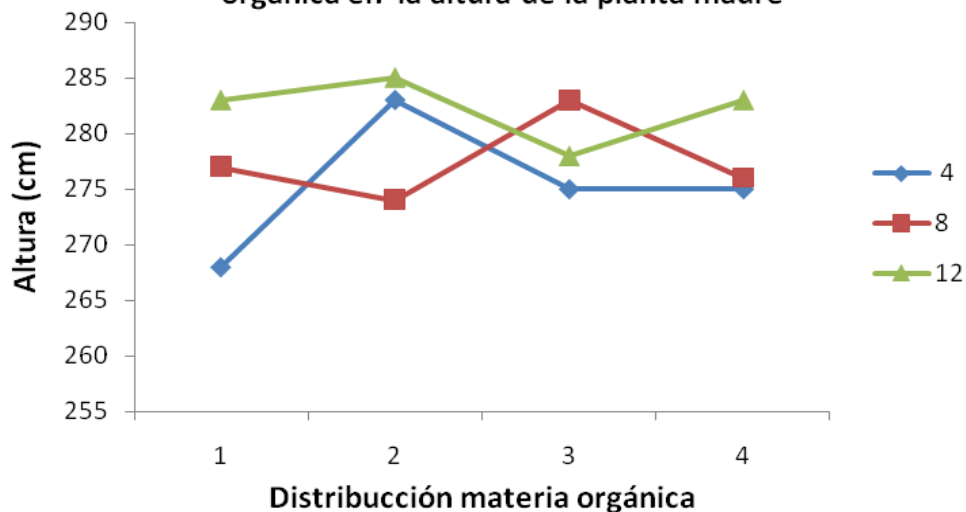
Gráfico 10. Efecto de tratamientos en peso racimo



Se encontraron diferencias significativas en la interacción entre dosis y distribución de materia orgánica para las variables de desarrollo y producción (altura de la planta madre, altura del hijo de sucesión y número de manos por racimo).

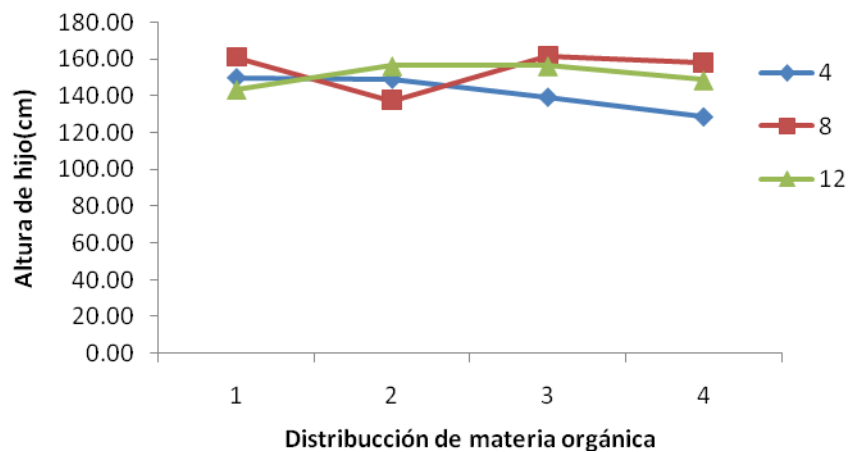
Para la altura de la planta madre se apreció que mientras las dosis de 4 y 12 t/ha presentaron mayor altura cuando la dosis se distribuyó en 2 aplicaciones por ciclo de producción, en la dosis de 8 t/ha la mayor altura ocurrió en 3 aplicaciones (Gráfico11).

Gráfico 11. Efecto de dosis y distribución de materia orgánica en la altura de la planta madre

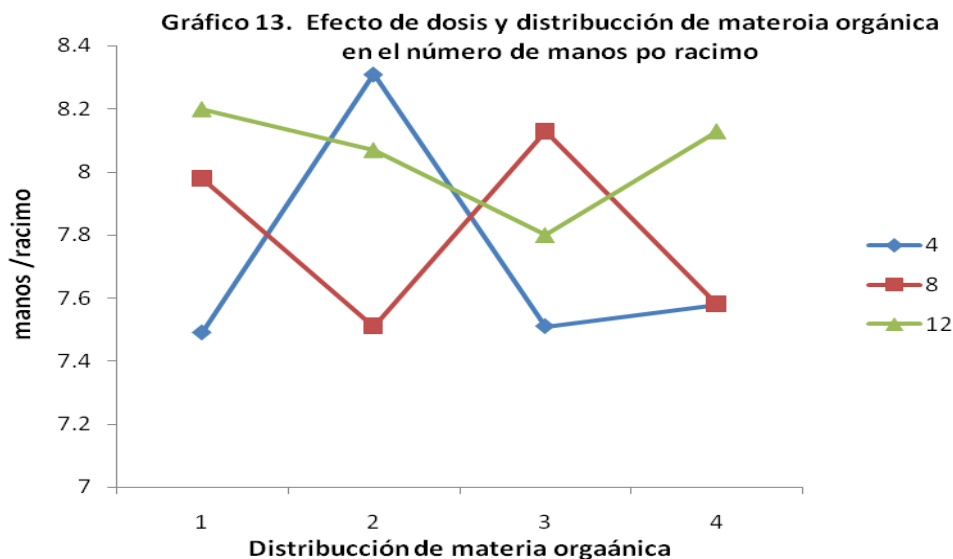


Con las dosis de 4 y 8 t/ha se manifestó la mayor altura del hijo de sucesión cuando se hizo una única aplicación de la dosis, mientras que con la dosis de 12 t/ha se obtuvo cuando la dosis se distribuyó en 2 aplicaciones (Gráfico 12).

Gráfico 12. Efecto de dosis y distribución de materia orgánica en la altura del hijo de sucesión

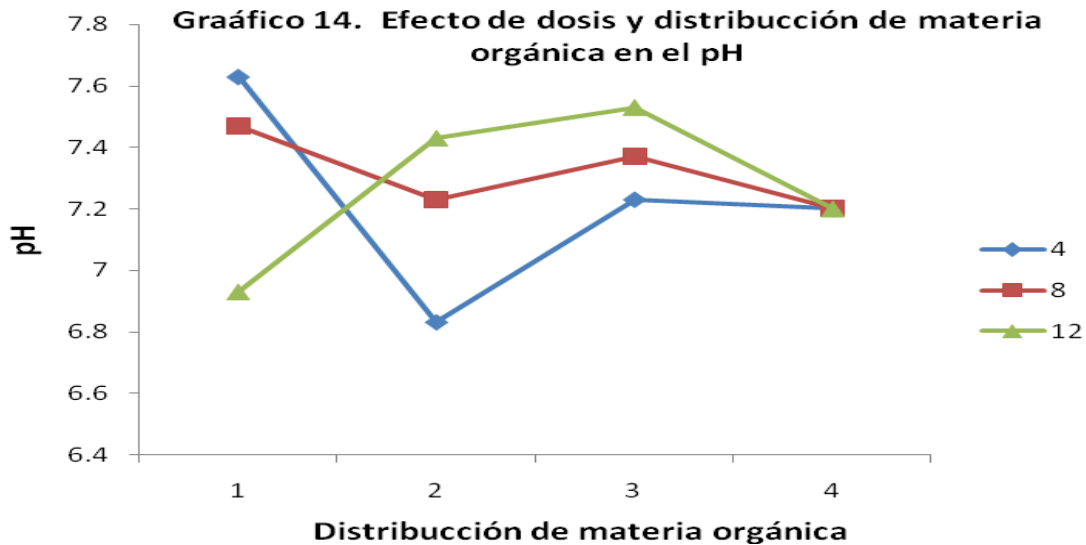


Con la dosis de 4t/ha se logró el mayor número de manos por racimo cuando la dosis se distribuyó en dos aplicaciones por ciclo de cosecha, mientras que con la dosis de 8 t/ha lo mejor se obtuvo con 3 aplicaciones, sin embargo, con la dosis de 12 t/ha el mejor comportamiento se manifestó con una única aplicación (Gráfico 13).



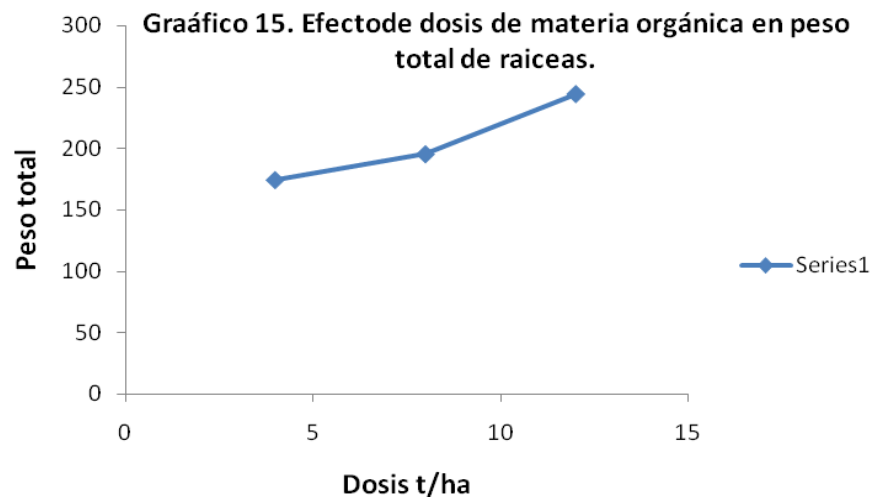
Variables químicas y físicas

Los resultados muestran que las dosis y distribución de materia orgánica se relacionan para influenciar únicamente en la variable química pH. Para las dosis de 4 y 8 t/ha los pH más altos se obtuvieron con una única aplicación de materia orgánica. Sin embargo, para la dosis de 12 t/ha, el pH más alto se obtuvo distribuyendo la dosis en 4 aplicaciones (Gráfico 14).



Variables microbiológicas

No hubo relación entre la dosis y la distribución de materia orgánica para ninguna de las variables microbiológicas. El factor dosis fue el único que mostró diferencias significativas sobre el peso total de raíces. Los valores de esta variable aumentaron a medida que se incrementaba la dosis (Gráfico15).



CONCLUSIÓN

- La aplicación de materia orgánica tuvo un efecto positivo en las variables relacionadas con la productividad del cultivo de banano.
- Hay relación entre la dosis de materia orgánica y el número de aplicaciones en que se distribuye, en variables relacionadas con la productividad del cultivo de banano.
- La dosis de materia orgánica tiene un gran efecto en los componentes de productividad del cultivo de banano.
- A largo plazo, la aplicación sistemática de materia orgánica es una opción viable en el mejoramiento de las condiciones químicas, físicas y microbiológicas del suelo.

EVALUACIÓN DE DOSIS DE POTASIO CON Y SIN MATERIA ORGÁNICA

El ensayo se condujo en una plantación establecida perteneciente a Plantaciones del norte (Finca Mota), manejada bajo el sistema convencional, ubicada en Cerro Gordo, Montecristi (71018'15.6'' W, 19039'30.9'' N). La investigación se inició en enero de 2008 y terminó en febrero de 2009.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un diseño de parcelas divididas. La parcela grande correspondió al factor materia orgánica. En las parcelas pequeñas se ubicó el factor dosis de potasio. La plantación tenía un marco de siembra de 2.5m x 2.0m. La unidad de análisis en la que se realizaron las mediciones estuvo constituida por 15 plantas seleccionadas al azar. Se realizaron análisis de varianza tomando en consideración la estructura de los tratamientos. Se utilizó el paquete estadístico Infostat.

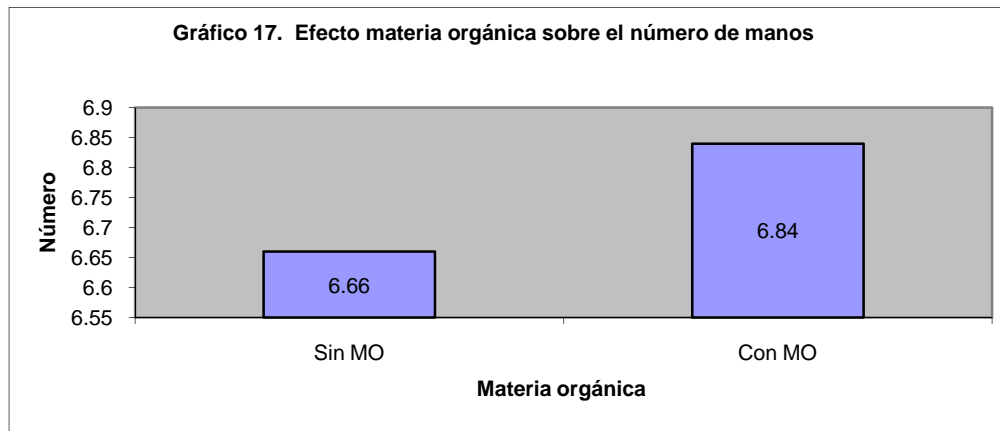
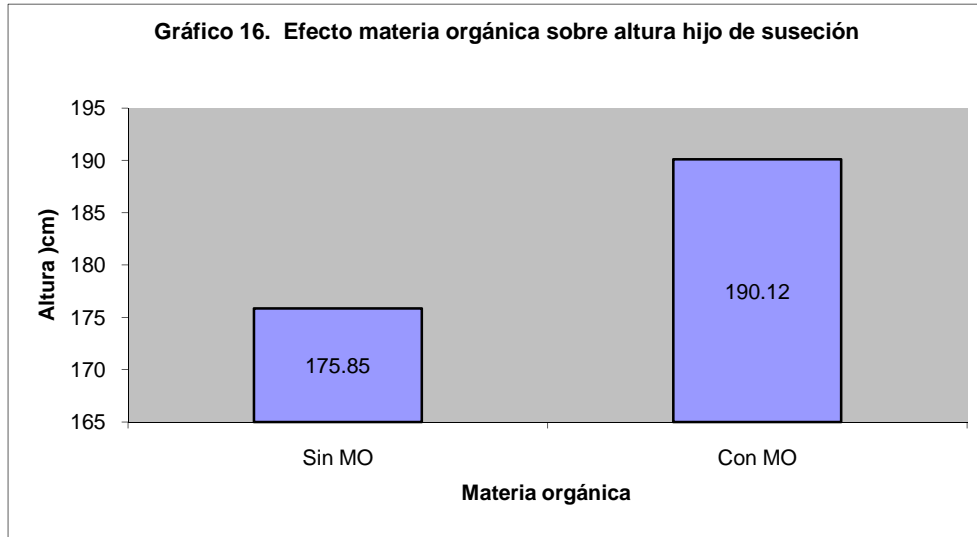
Se utilizaron 2 niveles de materia orgánica (0 y 15 TM/ha), para lo cual se aplicó 30 TM/ha de gallinaza en el tratamiento correspondiente. Mientras que de potasio (K^2O) se aplicaron 4 niveles, 0, 300, 600 y 900kg/ha. Las dosis de aplicación de ambos productos se dividieron en dos aplicaciones (50% en la primera aplicación y el 50% restante 90 días después de la primera aplicación). La cosecha fue realizada en 18 cortes, hasta completar 15 racimos en cada parcela. Se utilizó como abono orgánico gallinaza compostada y sulfato de potasio como fuente de potasio.

RESULTADOS

Variables del desarrollo

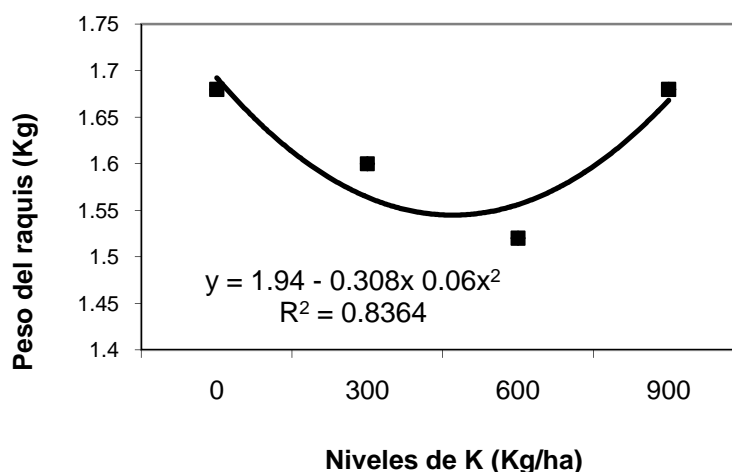
En el análisis de varianza se observa que ni la aplicación de materia orgánica ni los niveles de potasio afectaron significativamente la circunferencia del seudotallo, largo de dedos, la circunferencia del dedo ni la altura de la planta madre. La aplicación de potasio tampoco afectó la variable número de manos.

Sin embargo, se observó que la materia orgánica afectó significativamente la altura del hijo de sucesión y el número de manos por racimo, con la aplicación de materia orgánica se produjeron hijos con mayor altura y mayor número promedio de manos por racimo (Gráfico 16 y 17).



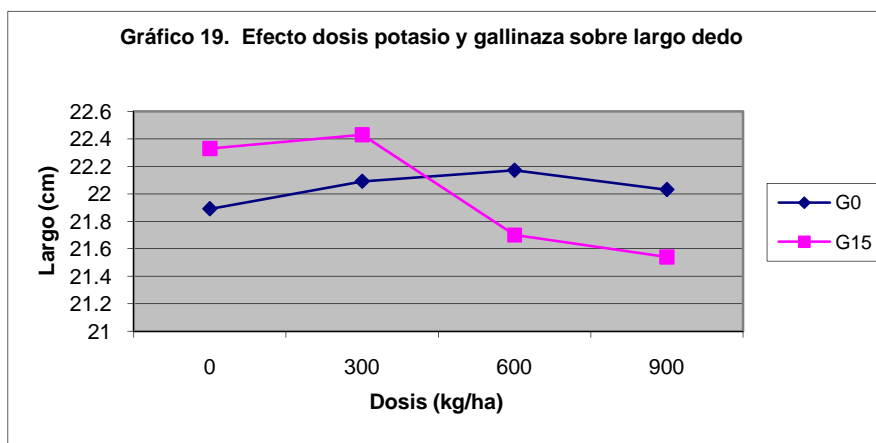
Las dosis de potasio afectaron significativamente el peso del raquis. Se observó una tendencia a la disminución de peso con el incremento de los niveles de potasio, esto podría explicarse en razón de que en esta plantación los suelos presentan un alto contenido de potasio (1.13 meq/100 g de suelo), ver gráfico 18.

Gráfico 18. Efecto dosis de potasio sobre el peso de raquis



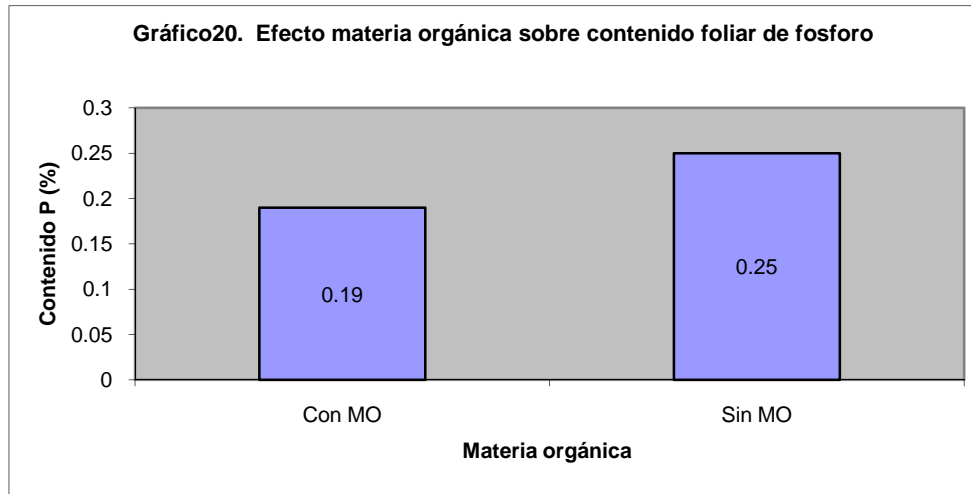
Se encontró diferencia significativa para la interacción de la dosis de potasio con la aplicación de materia orgánica en la variable largo del dedo. Se observa que cuando se aplica gallinaza, se registra un incremento en el largo del dedo al pasar de 0 a 300 kg/ha. A partir de esta dosis, la aplicación de mayores cantidades de potasio disminuye el largo del dedo. En el caso de no aplicar gallinaza, se observó que a medida que se incrementa la dosis de potasio de 0 a 600 kg/ha, se registra un aumento en el largo del dedo. Sin embargo, se nota una tendencia a disminuir el largo del dedo a medida que se aplican dosis mayores de 600 kg/ha.

Los mejores resultados se obtuvieron aplicando 300 kg/ha de potasio cuando se aplica materia orgánica. En cambio, cuando no se usa materia orgánica el mejor resultado se obtuvo al aplicar 600 kg/ha de potasio (Gráfico 19).



Resultados de análisis foliares

Se encontró que ni la aplicación de materia orgánica, ni los niveles de potasio afectaron las variables contenidos de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc. En el caso del fósforo, la materia orgánica afectó significativamente su contenido foliar (Gráfico 20).

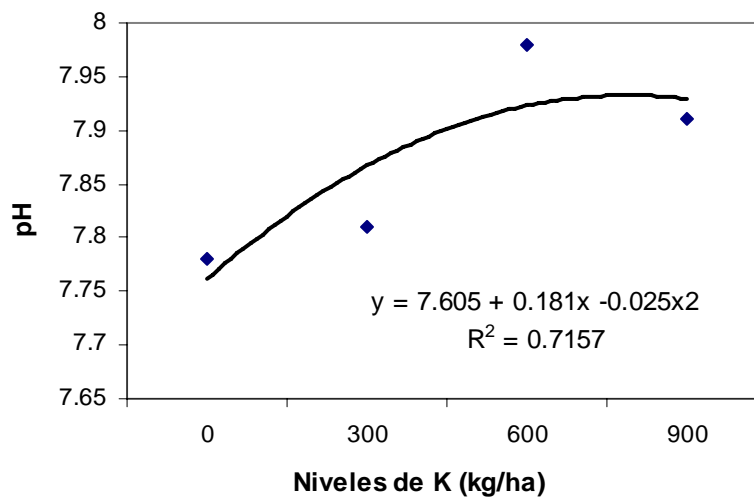


En lo que respecta a los niveles de potasio, los mismos no afectaron significativamente los contenidos de nutrientes foliares.

Resultados de análisis de suelo

En el análisis de varianza se observó que la aplicación de materia orgánica no afectó las variables contenidos de potasio y de cobre (Cu). Sin embargo, las dosis de potasio afectaron significativamente la variable pH. Se observó que los valores de pH se incrementaron a medida que se aumentó la dosis de potasio (Gráfico 21).

Gráfico 21. Efecto de dosis de potasio sobre el pH



Variables microbiológicas

En los análisis de varianzas se observó que ni la aplicación de materia orgánica ni los niveles de potasio afectaron las variables peso total de raíces, respiración microbiana total y *Helicotylenchus multicinctus*.

CONCLUSIÓN

- La aplicación de materia orgánica influyó el comportamiento de las variables de desarrollo y producción de altura del hijo de sucesión y el número de manos por racimos.
- La aplicación de materia orgánica influyó el comportamiento del pH del suelo y del contenido foliar de fósforo.
- La interacción de la dosis de potasio con la aplicación de materia orgánica afectó el largo del dedo. La mayor longitud del dedo se obtuvo al aplicar 300 kg/ha y 30 t/ha de materia orgánica. En cambio, cuando no se usa materia orgánica el mejor resultado se obtuvo al aplicar 600 kg/ha de potasio.

3) ANÁLISIS PROSPECTIVO

Especial repercusión ha tenido el proyecto de calidad y salud de suelos en República Dominicana considerando que es el segundo país exportador de banano orgánico y que no existía información relacionada al estado actual de esas fincas y a la búsqueda de alternativas para mantener la producción orgánica, así como la convencional. A continuación se describen los logros.

- Determinación de indicadores de calidad y salud de suelos para fincas orgánicas y convencionales en el país
- Determinación de dosis y frecuencias de Materia Orgánica para mejorar la nutrición de las plantaciones orgánicas y convencionales en el país.
- Determinación de la fuente más importante para mejorar la nutrición de las plantaciones de banano encontrándose que el Compost es la mejor fuente seguido de Gallinaza y Bocashi.
- La guía de calidad y salud de suelos ha servido de modelo para otros cultivos que se están trabajando en el IDIAF como ser el arroz y el café.

4) PUBLICACIONES Y OTROS PRODUCTOS

1. Pocasangre, L. E.; A. Martinuz; J. Muñoz; P. Suarez; A. zum Felde, T. Pattison; R. A. Sikora. (2008). Current Status of the Management of Plant Parasitic Nematode on Bananas and Plantain In Latin America: Biological Control and Agronomic Management for Sustainable Productions Systems. In 5 International Meeting of the Nematology Society. Brisbane, Australia. 14-18 July, 2008. pp.82

2. Pocasangre, L.E. zum Felde A., Cañizares, C., Muñoz, J., Suarez, P., Jimenez, R., A.S. Riveros, Rosales F.E. and Sikora R.A. 2007. Field evaluation of the antagonistic activity of endophytic fungi towards the burrowing nematode, *Radopholus similis* in plantain in banana in Latin America. In proceedings of Recent advances in banana crop protection for sustainable production and improved livelihoods. Greenway Woods Resorts, White River, South Africa. Pp 64.
3. Riveros, A. S.; Rosales, F. E., Romero, J.; Jimenez, M. I; Jimenez, R.; Acuña, O.; Tabora, P.; Segura, R.; Pocasangre, L. E.; Villalobos M. 2006. Estandarización de enmiendas orgánicas para banano en América Latina y El Caribe. En Memorias de ACORBAT, Joinville, Santa Catarina, Brasil, 20 al 26 Octubre, 2006. pp. 234-240.

Otros Productos:

- Presentaciones de resultados del proyecto en reunión de cierre del proyecto
- Presentaciones en seminarios internos de IDIAF
- Presentación de resultados a los productores de banano de República Dominicana.

5) EJECUCIÓN DEL PRESUPUESTO

FONTAGRO aprobó un presupuesto total para República Dominicana de US\$ 44, 280,00. En el caso de RD se contrataron laboratorios privados para realizar ciertos análisis. Además se contrató consultores para trabajos específicos de análisis microbiológicos. Asimismo la mayoría de los fondos fueron gastados en costos operativos, resaltándose el costo de los combustibles. El total del monto transferido fue de US\$ 42,040 de los cuales se ejecutaron US\$ 44,309.51. Para más detalles sobre los gastos de República Dominicana consultar el informe financiero final correspondiente al CD 6 de anexos.

El total de la contrapartida de República Dominicana estuvo compartida por dos instituciones el IDIAF con un monto de US\$ 60,000 y el CEDAF con US\$38,500 para un total de US\$ 98,500. Los gastos corresponden principalmente a costos del personal científico y técnico involucrado en la ejecución de actividades del proyecto. Asimismo se cargaron costos operativos y de depreciación de equipo, gastos misceláneos y publicaciones. Para más detalles de los gastos de contrapartida de República Dominicana consultar informe financiero CD6 de anexos.



**Innovaciones tecnológicas para el manejo y mejoramiento de
la calidad y salud de suelos bananeros de América Latina y
el Caribe**

INFORME FINAL

**Gustavo Martínez
Juan Carlos Rey
Deyanira Lobo**

**Venezuela
Octubre, 2009**

1) RESUMEN EJECUTIVO

El uso irracional de insumos agrícolas (fertilizantes, pesticidas y otros), ha sido condición inherente a sistemas de producción de banano para exportación, bajo la presunción de obtener mejoras en la respuesta del cultivo (producción y rendimiento). Sin embargo, un deterioro acelerado de factores físicos, químicos y biológicos del suelo, ha sido evidente en los últimos años. Las explicaciones a este comportamiento han sido sustentadas sólo en las propiedades físicas y químicas del mismo, obviando las biológicas y el desarrollo radical. Venezuela, al igual que otros países de América Latina y El Caribe, no escapa a esta realidad.

Con base en esta problemática, el proyecto se planteó el objetivo de mejorar la productividad de las plantaciones bananeras de Venezuela, mediante innovaciones tecnológicas sostenibles que permitan incrementar la calidad y salud del suelo. Para ello se establecieron las siguientes metas:

- Diseñar y validar una Guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras;
- Proveer y establecer alternativas tecnológicas integrales que mejoren la calidad de suelos para la recuperación y mantenimiento de la productividad de plantaciones bananeras deterioradas;
- Desarrollar investigación paralela y complementaria que pueda ayudar al establecimiento y difusión de las alternativas tecnológicas integradas y validadas en fincas de productores.

El cumplimiento de estas metas se desarrolló mediante la ejecución de dos fases:

Fase I: Diagnóstico de los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo relacionados con la productividad del banano.

Fase II: Evaluación de alternativas tecnológicas para el mejoramiento de la productividad de las fincas de banano.

En la Fase I fueron seleccionadas seis fincas con régimen de producción para exportación, ubicadas en la zona central (Fincas Punta Larga 1 y Punta Larga 2) y occidental del país (Banaoro 1, Banaoro 2 y Kambuca 1, Kambuca 2); y tres fincas pequeñas para mercado nacional, ubicadas en el centro del país. En cada una, se establecieron dos lotes de aproximadamente 4 has con diferentes niveles de productividad (Bueno y Pobre). En cada lote se seleccionaron cuatro áreas representativas (1000m² c/u) donde se realizaron mini calicatas, para caracterizar y clasificar el suelo. Adicionalmente, se determinó la población total de plantas y vigor del cultivo; así como el índice de salud y necrosis de las raíces. Un total de 60 indicadores de suelo (químicos, físicos y biológicos) fueron estudiados. La población osciló entre 1800 a 2000 plantas/ha. Los suelos de las fincas Punta Larga 1 y 2 son de origen lacustrino, con altas proporciones de carbonato de calcio; mientras que los suelos de las fincas pequeñas y los de la zona occidental son de origen aluvial. Sin embargo, el pH de los suelos fue de ligera a moderadamente alcalino en todas las fincas, ocurriendo localmente problemas relacionados con la toxicidad de sodio. De los 60 indicadores edáficos evaluados, solo 11 resultaron ser determinantes en la discriminación de los suelos de alta y baja productividad (pH, magnesio, cobre, porcentaje de arena, resistencia a penetración, respiración microbiana total, biomasa de la materia orgánica, peso radical, total de nematodos de vida libre, total de nematodos bacteriófagos y porcentaje de *Trichoderma* sp.); destacando la presencia de más de 50% de indicadores biológicos, poco considerados en

investigaciones previas. Estos 11 indicadores fueron utilizados para la construcción de un Índice de calidad y salud de suelos bananeros que refleja en un solo número el nivel de productividad de la finca.

Con base en el índice de calidad y salud de suelos y su relación con la productividad, en la Fase II se procedió al diseño de estrategias en campo. El grupo de asesores del país, en correspondencia directa con el equipo central de Bioversity - Costa Rica y expertos internacionales del proyecto, contribuyeron para la determinación de las estrategias a seguir en trabajos de campo para la aplicación de las alternativas formuladas de acuerdo a los problemas detectados, con la participación de estudiantes de pre-grado y maestría. Las alternativas de manejo se basaron en estrategias de fertilización para superar las limitaciones generadas por los altos pH y deficiencias en el suelo y tejido del cultivo y el uso del Hércules para la aireación del suelo y la incorporación más eficiente del fertilizante.

Aún cuando se realizó la planificación de los ensayos en las fincas de régimen de exportación, de acuerdo a los indicadores más relevantes en la discriminación de suelos buenos y malos de las fincas y con base en un chequeo previo de suelos y tejidos para el establecimiento de los tratamientos; en las fincas Banaoro y Kambuca no se pudieron llevar a cabo, debido a que los dueños de las fincas perdieron el control sobre sus tierras, pasando a administración de cooperativas de pequeños productores, que impidieron la ejecución de las actividades planteadas. Mientras que en las fincas de mercado nacional, no se ejecutó la aplicación de alternativas de manejo por falta de disponibilidad de fuentes de fertilizantes. De esta manera, el ensayo de innovaciones tecnológicas sólo se llevó a cabo en la Finca Punta Larga.

El diseño para la aplicación de las alternativas de manejo se basó en cuatro tratamientos: Manejo tradicional del productor (T1), dosis recomendada a nivel internacional (T2), dosis propuesta basada en análisis de suelo y tejido foliar que incluye microelementos y utilización del Hércules (T3), y dosis propuesta por el productor incluyendo microelementos y Hércules (T4). Los parámetros evaluados antes y durante la ejecución del ensayo fueron: para el caso del suelo, se cuantificaron los 11 indicadores relacionados con el vigor del cultivo antes y después del ensayo; en el caso del desarrollo del cultivo, se evaluó el nivel nutricional del cultivo, número de hojas activas a floración y el perímetro del pseudotallo en la etapa de floración; mientras que en la fase de cosecha se midió el número de manos por racimo, longitud y calibre del dedo central de la segunda y última mano, longitud y peso del racimo. Finalmente, se evaluaron parámetros de productividad del cultivo como el número de cajas exportables, eficiencia agronómica y económica.

Los resultados en la Finca Punta Larga indicaron una mayor productividad para los tratamientos alternativos de manejo (T2, T3 Y T4), destacando la propuesta internacional (T2). De manera más específica, los indicadores biológicos de suelo fueron los más sensibles a la aplicación de prácticas alternativas de manejo, observándose incrementos en el peso de raíces, respiración y carbono microbiano, nematodos de vida libre y *Trichoderma*, principalmente en los tratamientos que involucran la utilización del Hércules.

Evaluando las condiciones de la finca desde el inicio del proyecto (fase diagnóstico) y el final del ensayo, vale la pena mencionar que se observó un mejoramiento en la calidad y salud de los suelos en el sitio pobre, relacionado con acciones de los dueños de la finca (mejoramiento del drenaje y ajuste de la fertilización) y los tratamientos propuestos en el ensayo. Este mejoramiento de la calidad de suelos se apreció en una disminución del pH, lavado de excesos de sodio,

aumento de la disponibilidad de cobre y en especial incremento en indicadores biológicos como carbono microbiano y *Trichoderma*. Estas mejoras en la calidad de los suelos están relacionadas con mayor vigor y producción del cultivo, aumentando el índice de calidad de suelos desde 0.35 a 0.38.

Los impactos de la ejecución del proyecto se pueden resumir en la generación de la guía de calidad y salud de suelos bananeros y la aplicación del índice de calidad para la definición de alternativas de manejo agronómico, que permiten el incremento de la eficiencia agronómica y económica en la producción de banano; y la consecuente generación de mayor empleo.

En este sentido, el equipo del proyecto hizo énfasis en poner a la disposición de los usuarios, a través de la difusión y de una plataforma de conocimiento, los resultados obtenidos. Se ha participado en diferentes eventos científicos con este objetivo; a esto se suma la participación de estudiantes de pre-grado y maestría en diferentes tópicos bajo la coordinación del equipo del proyecto. Se indica la presentación y defensa de tres tesis a nivel de pregrado, una a nivel de maestría, diez trabajos presentados en congresos, y la organización del I Simposio Internacional de Calidad y Salud de Suelos Bananeros, con la participación de productores de todo el país.

2) RESULTADOS OBTENIDOS Y SU INTERPRETACIÓN

FASE I

En la Fase I fueron seleccionadas seis fincas con régimen de producción para exportación, ubicadas en la zona central (Fincas Punta Larga 1 y Punta Larga 2) y occidental del país (Banaoro 1, Banaoro 2 y Kambuca 1, Kambuca 2); y tres fincas pequeñas para mercado nacional, ubicadas en el centro del país. En cada una se establecieron dos lotes de aproximadamente 4 has con diferentes niveles de productividad (Bueno y Pobre). En cada lote se seleccionaron cuatro áreas representativas (1000m² c/u) donde se realizaron mini calicatas para caracterizar y clasificar el suelo. Adicionalmente, se determinó la población total de plantas y vigor del cultivo; así como el índice de salud y necrosis de las raíces. Un total de 60 indicadores de suelo (químicos, físicos y biológicos) fueron estudiados. La población osciló entre 1800 a 2000 plantas/ha. Los suelos de las fincas Punta Larga 1 y 2 son de origen lacustrino, con altas proporciones de carbonato de calcio; mientras que los suelos de las fincas pequeñas y los de la zona occidental son de origen aluvial. Sin embargo, el pH de los suelos fue de ligera a moderadamente alcalino en todas las fincas, ocurriendo localmente problemas relacionados con la toxicidad de sodio. De los 60 indicadores edáficos evaluados, sólo 11 resultaron determinantes en la discriminación de los suelos de alta y baja productividad (pH, magnesio, cobre, porcentaje de arena, resistencia a penetración, respiración microbiana total, biomasa de la materia orgánica, peso radical, total de nematodos de vida libre, total de nematodos bacteriófagos y porcentaje de *Trichoderma* sp.); destacando la presencia de más de 50% de indicadores biológicos poco considerados en investigaciones previas. Estos 11 indicadores fueron utilizados para la construcción de un Índice de calidad y salud de suelos bananeros que refleja en un sólo número el nivel de productividad de la finca. En el Cuadro 1 se presentan los resultados del Índice de calidad y salud de suelos para las fincas estudiadas en Venezuela:

Cuadro 1. Índice de calidad y salud de suelos para las fincas de Venezuela

Finca	Régimen de Producción	Índice	
		Sitio Bueno	Sitio Pobre
Banaoro 1	Exportación	0.711	0.632
Banaoro 2	Exportación	0.666	0.709
Kambuca 1	Exportación	0.641	0.682
Kambuca 2	Exportación	0.583	0.413
Punta Larga 1	Exportación	0.286	0.432
Punta Larga 2	Exportación	0.396	0.360
San Mateo	Mercado Nacional	0.740	0.445
Sr. Paz	Mercado Nacional	0.735	0.353
Sr. Charles	Mercado Nacional	0.695	0.666

A continuación se detallan los resultados para cada finca en particular.

Fincas Kambuca 1 y 2:

- Se observaron claras diferencias en cuanto al vigor y rendimiento del cultivo en el lote Bueno de Kambuca 1, en comparación al resto de los lotes evaluados, de lo cual se infiere unas mejores condiciones edáficas para el desarrollo del cultivo en dicho lote.
- Las mejores condiciones de salud y desarrollo radical se presentaron en el lote Bueno de Kambuca 1, comparadas con el resto de los lotes.
- En cuanto a las propiedades físicas del suelo, se observaron las mayores limitantes en el lote Pobre de Kambuca 2 en cuanto a la penetración y movimiento del agua. Igualmente, en dicho lote se presentaron altos valores de resistencia a la penetración y módulo de ruptura, aún cuando la densidad aparente no es limitante de acuerdo con la clasificación textural de estos suelos. Estas características están asociadas a problemas en el desarrollo y distribución del sistema radical y por consiguiente sobre el rendimiento del cultivo.
- Las variables químicas más relacionadas con los niveles de productividad fueron el pH y los desbalances nutricionales en las relaciones Ca/Mg, Ca/K y Mg/K. El pH fue muy alto en suelos malos, lo cual se relacionó con deficiencia de Fe y Zn.
- Las variables biológicas presentaron una relación menos consistente con los niveles de productividad del banano, que en el caso de las variables físicas y químicas. Sin embargo, se destaca una mayor población de bacterias y hongos en los suelos buenos, asociados a una mayor presencia de carbono microbiano; así como la mayor proporción de fitonematodos en los suelos de menor productividad.

Fincas Banaoro 1 y 2:

- El lote Bueno de Banaoro 1 presentó las mejores condiciones de desarrollo (vigor) del cultivo en comparación a los otros tres lotes evaluados; sin embargo, la diferencia entre pesos del racimo (estimados) fue muy poca, lo cual sugiere algunas deficiencias en cuanto a la nutrición

del cultivo, que implican que la fruta no alcance un llenado adecuado y por ende, bajos pesos del racimo.

- Las mejores condiciones de salud y desarrollo radical se presentaron en el lote Bueno de Banaoro 1, siendo considerablemente superiores al resto de los lotes evaluados, indicando así una mayor proporción de factores limitantes en los lotes pobres que provocan un menor desarrollo radical.
- En cuanto a las variables físicas, en líneas generales se observaron fuertes limitantes, las cuales se acentúan en los lotes pobres con respecto a los buenos. Dichas limitantes están asociadas fundamentalmente a susceptibilidad, a compactación y sellado superficial, así como restricción para la penetración y movimiento del agua en el suelo. Del mismo modo, se observaron altos niveles de módulo de ruptura en rango limitante para el cultivo.
- Las variables químicas más relacionadas con los niveles de productividad fueron el pH, las bajas relaciones Ca/K y Mg/K y los bajos niveles de NO₃. El pH fue muy alto en todos los suelos, lo cual se relacionó con altos niveles de Na y deficiencia de Fe. Las deficiencias de NO₃ se presentan en todos los suelos, posiblemente por las pérdidas por escorrentía y volatilización asociado a mal manejo del riego.
- Las variables biológicas presentaron una relación menos consistente con los niveles de productividad del banano, que en el caso de las variables físicas y químicas. Sin embargo, se destaca una mayor población de bacterias y hongos en los suelos buenos, asociados a una mayor presencia de carbono microbiano; así como la mayor proporción de fitonematodos y hongos fitopatógenos en los suelos de menor productividad.

Finca Punta Larga 1 y 2:

- El vigor del cultivo tiene una estrecha relación con los niveles de productividad preestablecidos. Sin embargo, el desarrollo radical presentó una tendencia contraria, observándose mayor peso y número de raíces en los lotes de más baja productividad.
- Las variables físicas más relacionadas con los niveles de productividad del cultivo fueron la densidad aparente y la porosidad, encontrándose los mayores valores de densidad aparente y los menores valores de porosidad en los lotes de más baja productividad, lo cual influyó en los parámetros de penetración y movimiento de agua en el suelo.
- Las variables químicas más relacionadas con los niveles de productividad fueron el pH, los niveles de Ca, Mg, K, Na; así como las relaciones entre ellos y el contenido de algunos micronutrientes. El pH fue muy alto en los sitios malos, lo cual se relacionó con altos niveles de Na y deficiencia de Fe y Mn. Por otra parte, las características particulares del material parental de los suelos genera niveles muy altos de Ca, lo cual se asocia con muy altas relaciones Ca/Mg, Ca/K e incluso existen altas relaciones Mg/K, que provocan desbalances nutricionales y dificultan la absorción de estos elementos.
- Las variables biológicas presentaron una relación menos consistente con los niveles de productividad del banano, que en el caso de las variables físicas y químicas. Sin embargo, se destaca una mayor respiración microbiana en los suelos buenos; así como la mayor proporción de fitonematodos y hongos fitopatógenos en los suelos de menor productividad.

Fincas de Mercado Nacional:

- Los resultados indicaron una alta relación de los niveles de productividad con los parámetros de circunferencia de la madre y el número de manos. De la misma manera, se apreció una relación de la productividad con el desarrollo radical.
- Las variables físicas de mayor relación con la productividad del banano fueron la textura (suelos buenos con texturas livianas), módulo de ruptura, resistencia a la penetración, infiltración y movimiento de agua en el perfil.
- En relación a las variables químicas, se encontró relación con la productividad del cultivo para el pH, contenidos de nitrógeno, magnesio, potasio, hierro y las relaciones Ca/Mg, Ca/K y Mg/K.
- Por último, las variables biológicas más relacionadas con la productividad fueron carbono microbiano, nematodos de vida libre y porcentaje de *Trichoderma*.

FASE II

Con base en el índice de calidad y salud de suelos y su relación con la productividad, en la Fase II se procedió al diseño de estrategias en campo. El grupo de asesores del país, en correspondencia directa con el equipo central de Bioversity-Costa Rica y expertos internacionales del proyecto, contribuyeron para la determinación de las estrategias a seguir en trabajos de campo para la aplicación de las alternativas formuladas de acuerdo a los problemas detectados, con la participación de estudiantes de pre-grado y maestría. Las alternativas de manejo se basaron en estrategias de fertilización para superar las limitaciones generadas por los altos pH y deficiencias en el suelo y tejido del cultivo y el uso del Hércules para la aireación del suelo y la incorporación más eficiente del fertilizante.

Aún cuando se realizó la planificación de los ensayos en las fincas de régimen de exportación de acuerdo a los indicadores más relevantes en la discriminación de suelos buenos y malos, en las fincas Banaoro y Kambuca no se pudieron llevar a cabo los experimentos, debido a que los dueños perdieron el control sobre sus tierras, pasando a administración de cooperativas de pequeños productores, que impidieron la ejecución de las actividades planteadas. Mientras que en las fincas de mercado nacional, no se ejecutó la aplicación de alternativas de manejo por falta de disponibilidad de fuentes de fertilizantes. De esta manera, el ensayo de innovaciones tecnológicas sólo se llevó a cabo en la Finca Punta Larga.

Antes de comenzar la fase II, se realizó un muestreo de suelos y tejido vegetal para conocer la disponibilidad de nutrimentos en el suelo y el estado nutricional del cultivo, estos resultados fueron utilizados para establecer las alternativas de manejo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Diagnóstico del nivel nutricional del cultivo, considerando los niveles críticos en planta y suelo

Nutrimento	Normal (N) /Deficiente (D)	Observación
N	D	Fertilizar
P	Alto	Fertilización de mantenimiento
K	D	Fertilizar
S	D	
Ca	N	No fertilizar
Mg	N	
Cu	N - D	Fertilizar
Fe	N - D	
Mn	N - D	
Zn	N	No fertilizar
Na	N	

Con base en los resultados de la fase I (diagnóstico) y del muestreo de suelos y cultivo, se diseñó la propuesta de alternativas de manejo, resumida en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Tratamientos implementados para la evaluación del manejo de la fertilización química de banano

Tratamiento	Manejo	Dosis de nutrimentos	Manejo
T1	Tradicional del productor	400 kg N ha ⁻¹ ; 65 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ ; 800 kg K ₂ O ha ⁻¹ .	Aplicación del fertilizante con fraccionamiento de la dosis, en 8 ciclos y sin incorporación del mismo.
T2	Nivel internacional	375 kg N ha ⁻¹ ; 50 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ ; 600 kg K ₂ O ha ⁻¹ .	Dosis recomendada a nivel internacional para el cultivo.
T3	Propuesta tesis	350 kg N ha ⁻¹ ; 20 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ ; 700 kg K ₂ O ha ⁻¹ ; 10 Kg Cu ha ⁻¹ ; 8 kg Fe ha ⁻¹ ; 2 Kg Mn ha ⁻¹ .	Incorporación de la primera fracción de la dosis de fertilizante, con el instrumento Hércules.
T4	Tradicional del productor mejorado	400 kg N ha ⁻¹ ; 65 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ ; 800 kg K ₂ O ha ⁻¹ ; 10 Kg Cu ha ⁻¹ ; 8 kg Fe ha ⁻¹ ; 2 kg Mn ha ⁻¹ .	Incorporación de la primera fracción de la dosis de fertilizante, con el instrumento Hércules.

Se evaluaron parámetros del suelo y del cultivo (Cuadro 4), con la finalidad de determinar el tratamiento con mejor comportamiento y evaluar el comportamiento del cultivo al manejo de la fertilización química.

Cuadro 4. Parámetros evaluados antes y durante el desarrollo del ensayo

Parámetro	Variable	Época
Suelo	Cuantificación de indicadores relacionados con el vigor del cultivo	Antes y después del ensayo
Desarrollo del cultivo	Nivel nutricional del cultivo. Número de hojas activas a floración. Perímetro del pseudotallo.	Etapa de floración
Rendimiento del cultivo	Número de manos por racimo, longitud y calibre del dedo central de la segunda y última mano, longitud y peso del racimo.	Etapa de cosecha
Productividad del cultivo	Cajas exportables, eficiencia agronómica y económica.	Al final del ensayo.

Los resultados en la Finca Punta Larga indicaron una mayor productividad para los tratamientos alternativos de manejo de la fertilización (T2, T3 Y T4), destacando la propuesta internacional (T2). De manera más específica, los indicadores biológicos de suelo fueron los más sensibles a la aplicación de prácticas alternativas de manejo, observándose incrementos en el peso de raíces, respiración y carbono microbiano, nematodos de vida libre y *Trichoderma*, principalmente en los tratamientos que involucran la utilización del Hércules.

Evaluando las condiciones de la finca desde el inicio del proyecto (fase diagnóstico) y el final del ensayo, vale la pena mencionar que se observó un mejoramiento en la calidad y salud de los suelos en el sitio pobre, relacionado con acciones de los dueños de la finca (mejoramiento del drenaje y ajuste de la fertilización) y los tratamientos propuestos en el ensayo. Este mejoramiento de la calidad de suelos se apreció en una disminución del pH, lavado de excesos de sodio, aumento de la disponibilidad de cobre y en especial incremento en indicadores biológicos como carbono microbiano y *Trichoderma*. Estas mejoras en la calidad de los suelos están relacionadas con mayor vigor y producción del cultivo, aumentando el índice de calidad de suelos desde 0.35 a 0.38 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Indicadores de calidad y salud de suelos por variable y total para los cuatro tratamientos aplicados

Variable	T1	T2	T3	T4
pH	0.54	0.56	0.52	0.49
Magnesio	0.66	0.46	0.53	0.46
Cobre	0	0	0	0
Porcentaje de arena	0.74	0.81	0.58	0.81
Resistencia a la penetración	0.29	0.29	0.38	0.25
Respiración microbiana	0.97	0.96	0.97	0.95
Biomasa de la Materia Orgánica	0.19	0.76	0.98	0.92
Peso radical	0.01	0.01	0.03	0.1
NVL Total	0.03	0.02	0.06	0.06
NVL, Bacteriófagos	0.01	0.01	0.02	0.01
<i>Trichoderma</i>	1	1	0.5	0
Total	0.353	0.3831	0.3742	0.3496

T1: Tradicional del productor; T2: Nivel Internacional; T3: Propuesta tesis; T4: Tradicional del productor mejorado.

Adicionalmente, el análisis de tejido de cultivos evidenció un efecto de los tratamientos, principalmente en los macronutrientes, mostrando mayores niveles nutricionales de P, K, Ca y Mg en los tratamientos alternativos. Los niveles de N y K fueron deficientes en las plantas, a pesar de los niveles de fertilización; evidenciando un problema para la absorción de estos elementos (altos contenidos de Ca). Para el caso de los microelementos, el Cu, Mn y Zn mostraron mayores niveles en las plantas para los tratamientos T3 y T4, como respuesta a la aplicación foliar.

En relación a los indicadores de cultivo, se apreció una respuesta a los tratamientos en las variables medidas en floración, como la circunferencia de la madre y altura de las plantas; así como para las variables medidas en la cosecha, entre las cuales destacaron el calibre de dedo inferior y superior, largo y peso del racimo y el número de manos por racimo, donde se apreciaron diferencias significativas. Lo obtenido para el peso y largo del racimo, indica el efecto beneficioso del Hércules (T3 y T4), y al relacionarlo con el calibre del dedo, se observa que esta práctica contribuye a mejorar el cultivo.

Los resultados indicaron una mayor productividad para los tratamientos alternativos de manejo de la fertilización (T2, T3 y T4), destacando la propuesta internacional (T2), que aún cuando no coincide con la mayor producción de cajas por hectárea (T4), las dosis más bajas de fertilizante y los menores costos hacen que el T2 tenga una mayor eficiencia agronómica y económica (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estimación de los indicadores de producción

Trat.	Población	PB	PN	CN	EA	EE
T1	1800	57222	51499.8	2574.99	19.65	139.43
T2	1800	60966	54869.4	2743.47	25.20	177.72
T3	1800	59490	53541	2677.05	19.36	141.86
T4	1800	63360	57024	2851.2	21.76	129.91

T1: Tradicional del productor; T2: Nivel Internacional; T3: Propuesta tesis; T4: Tradicional del productor mejorado; Población: No. de plantas/ha; PB Producción bruta (kg/ha); PN: Producción neta (kg/ha); CN: Cajas nacionales (la finca no exporta); EA: Eficiencia agronómica (kg fruta/kg fertilizante); EE: Eficiencia Económica (Bs. ingreso / Bs. costo fertilizante).

Los impactos de la ejecución del proyecto son: la generación de la guía de calidad y salud de suelos bananeros y la aplicación del índice de calidad para la definición de alternativas de manejo agronómico que permiten el incremento de la eficiencia agronómica y económica en la producción de banano y la consecuente generación de mayor empleo.

3) ANÁLISIS PROSPECTIVO

En el mercado internacional, las principales frutas que conforman el movimiento diario, están representadas por el banano. En términos de volumen, representan las primeras frutas de exportación y ocupan el segundo lugar, después de las cítricas, en términos de valor; y corresponde a 12 % del volumen total de frutas producidas en el mundo (Espinal *et al.* 2006; FAO 2006).

El banano representa un producto de consumo de importancia para los países en desarrollo, conjuntamente con el trigo, el arroz y el maíz (FAO 2006); por ello, se consideran como producto de gran impacto económico, social, ambiental y político, considerándose que esta industria es un importante recurso de ingreso y empleo para muchos países exportadores, mayormente en Latinoamérica y el Caribe, así como Asia y África.

Por las características nutricionales de la fruta, el banano se ha mantenido por muchos años como la principal fruta de consumo de la población de esos países. Sin embargo, su consumo puede ser sustituido por otro tipo de alimento o fruta, en momentos en que los precios sean demasiado altos o por bajas sensibles en los volúmenes de producción de esta fruta, por lo que no es considerado como producto básico dentro de la dieta de la población (Arias *et a.* 2004; Espinal *et al.* 2006).

A nivel mundial, dentro del proceso productivo del cultivo de banano, en los últimos años, se ha puesto en evidencia un deterioro de los factores físicos, químicos y biológicos del suelo; como consecuencia del uso indiscriminado, de manera constante y acumulada, de productos agrícolas (fertilizantes, pesticidas, y otros), exigidos en alta proporción por sistemas de producción intensivos y/o destinados a la exportación, con el fin de generar incremento en la producción y calidad de la fruta. Dicho comportamiento se ha originado en muchos países de América Latina, incluyendo Venezuela, donde se puede apreciar a partir del año 2003, una considerable disminución de la producción, aproximadamente 50% con respecto a 1994, lo cual afectó drásticamente el volumen de exportación reportado, observándose para el año 2005, que solo logró exportar 8444 millones de toneladas, que representa el 1,5% del total producido; y para el primer semestre del año 2006 se reporta 6134 t (FEDEAGRO 2006).

Ante esta problemática, el proyecto se planteó el objetivo de mejorar la productividad de las plantaciones bananeras de Venezuela, mediante innovaciones tecnológicas sostenibles que

permitan incrementar la calidad y salud del suelo. Para ello, se establecieron las siguientes metas: diseñar y validar una Guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras; proveer y establecer alternativas tecnológicas integrales que mejoren la calidad de suelos para la recuperación y mantenimiento de la productividad de plantaciones bananeras deterioradas; y desarrollar investigación paralela y complementaria que pueda ayudar al establecimiento y difusión de las alternativas tecnológicas integradas y validadas en fincas de productores.

Los impactos de la ejecución del proyecto conllevaron a la generación de la guía de calidad y salud de suelos bananeros y la aplicación del índice de calidad para la definición de alternativas de manejo agronómico que permiten el incremento de la eficiencia agronómica y económica en la producción de banano; y la consecuente generación de mayor empleo.

Fue evidente la poca eficiencia de la forma, cantidad y aplicación de los nutrientes necesarios, suministrados a través del sistema de manejo tradicional utilizado en el ámbito nacional.

La mayor producción de frutas correspondió al tratamiento 4 (400 kg N ha⁻¹; 65 kg P₂O₅ ha⁻¹; 800 kg K₂O ha⁻¹; 10 Kg Cu ha⁻¹; 8 kg Fe ha⁻¹; 2 kg Mn ha⁻¹), con la incorporación del fertilizante mediante el uso del Hércules, lo cual denota alta eficiencia de conversión o por lo menos de mejoras en el suelo a través de la práctica, contribuyendo a un mejor aprovechamiento de los nutrimentos. Estas respuestas corresponden a mejoras en la Eficiencia Agronómica.

No obstante, se observó que la mayor Eficiencia Económica correspondió al tratamiento 2 (375 kg N ha⁻¹; 50 kg P₂O₅ ha⁻¹; 600 kg K₂O ha⁻¹), equivalente a la dosis Internacional, sin utilización del Hércules. A diferencia de lo observado en los tratamientos 3 y 4 con la aplicación de Hércules, que implica incremento en costos operativos.

Especial atención merecen estas respuestas, debido que al utilizar el Hércules como herramienta en la incorporación de los fertilizantes se favorece las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo, que deben ser monitoreadas en el segundo ciclo del cultivo; lo cual implica beneficios para la unidad de producción, para el productor y para el empleo de mano de obra, que se puede interpretar como impacto económico, social y ambiental al hacer uso eficiente de los insumos.

4) PUBLICACIONES Y OTROS PRODUCTOS

Trabajos de Grado. Pre-Grado:

- RELACIÓN ENTRE LA PRODUCTIVIDAD DEL BANANO (*Musa AAA*) Y LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS ALUVIALES EN EL MUNICIPIO LA CEIBA, ESTADO TRUJILLO – VENEZUELA. Autor: Henry Ramírez. Tutor: Juan Carlos Rey. Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Agronómica. Ibagué – Colombia.
- RELACIONES ENTRE LA PRODUCTIVIDAD DEL BANANO (*Musa AAA*) Y PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS LACUSTRINOS DE LA DEPRESIÓN DEL LAGO DE VALENCIA. Autor: Manfred Sapucky. Tutor: Juan Carlos Rey. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay – Venezuela.
- SALUD Y DESARROLLO RADICAL DE BANANO (*Musa AAA*) EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN “SAN MATEO” ESTADO ARAGUA. Autora: Yelitza Abreu. Tutor: Gustavo Rodríguez. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay – Venezuela.

Trabajos presentados en congresos:

- SALUD RADICAL DE BANANO EN LOTES DE DIFERENTE PRODUCTIVIDAD EN UN SUELO DE LA COSTA ORIENTAL DEL LAGO DE MARACAIBO, VENEZUELA. Gustavo Rodríguez; María Núñez; Deyanira Lobo; Gustavo Martínez; Juan Rey; José Gregorio Espinoza; Nelly Muñoz; María González; Franklin Rosales; Luis Pocasangre y Eduardo Delgado. XVII Reunión Internacional ACORBAT. Joinville, Brasil. 15 al 20 de Octubre de 2006.
- APTITUD DE LOS SUELOS PARA EL CULTIVO DE BANANO EN VENEZUELA, Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCTIVIDAD. Juan Carlos Rey; Mayra Chacín; Manfred Sapucky; Elena Núñez; Gustavo Martínez; Gustavo Rodríguez; José Espinoza; Marco Arturo; Luis Pocasangre; Eduardo Delgado y Franklin Rosales. XVII Reunión Internacional ACORBAT. Joinville, Brasil. 15 al 20 de Octubre de 2006.
- ASPECTOS SOBRE CALIDAD Y SALUD DE SUELOS BANANEROS EN VENEZUELA, Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCTIVIDAD - RESULTADOS PRELIMINARES. Gustavo Martínez; Juan Carlos Rey; Gustavo Rodríguez; Renato Crozzoli; Ricardina Colmenarez; Deyanira Lobo; María González; María Rodríguez; María Núñez; Adriana Cortéz; Luis Pocasangre; Eduardo Delgado; Franklin Rosales. XVII Reunión Internacional ACORBAT. Joinville, Brasil. 15 al 20 de Octubre de 2006.
- RELACIONES ENTRE EL VIGOR DEL BANANO (*Musa* AAA) Y PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS LACUSTRINOS DE LA DEPRESIÓN DEL LAGO DE VALENCIA. Juan Carlos Rey; Manfred Sapucky; Mayra Chacín; Elena Núñez; Gustavo Martínez; Gustavo Rodríguez; Marco Arturo; Luis Pocasangre; Eduardo Delgado y Franklin Rosales. XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León Guanajuato, México. 17 al 21 de Septiembre de 2007.
- ASPECTOS SOBRE CALIDAD Y SALUD DE SUELOS BANANEROS EN VENEZUELA. Resultados preliminares año 2007. Martínez, G; Rey, JC; Rodríguez, G; Lobo, D; Crozzoli, R; Colmenares, R; González, M; Rodríguez, M; Pocasangre, L; Delgado, E; Rosales, F; Trejos, J; Villalobos, M; Pargas, R; Núñez, E; Sapucky, M; Chacín, M; Arturo, M; Espinoza, J. XVIII Reunión Internacional ACORBAT. Guayaquil, Ecuador. 10 al 14 de Noviembre de 2008.
- RELACIONES ENTRE EL DESARROLLO Y SALUD RADICAL EN BANANO (*Musa* AAA) CON ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN EL ESTADO ARAGUA, VENEZUELA. Rodríguez, G; Abreu, Y; Rey, JC; Martínez, G; Muñoz, N; Lobo, D; Pocasangre, L; Rosales, F; Delgado, E. XVIII Reunión Internacional ACORBAT. Guayaquil, Ecuador. 10 al 14 de Noviembre de 2008.
- RELACIÓN ENTRE EL VIGOR DEL BANANO (*Musa* AAA) Y LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS ALUVIALES DEL MUNICIPIO LA CEIBA, ESTADO TRUJILLO. Henry Ramírez, Juan Carlos Rey, Mayra Chacín, Manfred Sapucky, Elena Núñez, Gustavo Martínez, Gustavo Rodríguez, Deyanira Lobo, José Espinoza, Luis Pocasangre, Eduardo Delgado, Franklin Rosales. XVIII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Santa Bárbara del Zulia, Venezuela. 9 al 13 de Marzo de 2009.

- MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN Y EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL BANANO (*Musa* AAA) EN UN SUELO DE LA DEPRESIÓN DEL LAGO DE VALENCIA. Jeglay Cruz, Eduardo Casanova, Deyanira Lobo, Juan C. Rey, Gustavo Rodríguez, Rafael Pargas, Manfred Sapucky, Marcos Arturo, Henry Ramírez. XVIII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Santa Bárbara del Zulia, Venezuela. 9 al 13 de Marzo de 2009.

Otros:

Organización del I SIMPOSIO INTERNACIONAL CALIDAD Y SALUD DE SUELOS BANANEROS. Junio 2008. Auditorium Economía Agrícola Fac. Agronomía. UCV. Maracay. Venezuela.

5) EJECUCIÓN DEL PRESUPUESTO

La ejecución del presupuesto se realizó de acuerdo a los montos aprobados para cada país. FONTAGRO aprobó un presupuesto total para Venezuela de US\$ 44 280,00 para ser ejecutados en 3 años. La mayoría de los fondos fueron gastados en actividades de apoyo de campo y laboratorios, así como en costos operativos. De este monto fue transferido US\$ 35,804.77 de los cuales se ejecutaron US\$ 37,234.35. Es importante notificar que en la reunión de cierre del proyecto participaron 4 científicos de Venezuela y los costos fueron cargados a la reunión de cierre del proyecto de calidad y salud de suelos, realizada en Costa en mayo 2009. Para más detalles sobre los gastos de Venezuela consultar el informe financiero final correspondiente al CD 6 de anexos.

Con relación a la contribución de contrapartida del INIA el monto total fue de US\$ 84,300, correspondiente principalmente a costos del personal científico y técnico involucrado en la ejecución de actividades del proyecto. Asimismo se cargaron costos operativos y de depreciación de equipo, gastos misceláneos y publicaciones. Para más detalles de los gastos de contrapartida de Venezuela consultar informe financiero CD 6 de anexos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, C; Dankers, P; Liu, P; Pilkauskas. 2004 La economía mundial del banano 1985-2002.

Estudios FAO Productos Básicos 1. FAO. 2004. Roma.

<http://www.fao.org/docrep/007/y5102s/y5102s09.htm#TopOfPage>

Espinal, C; Martinez, H; Peña, Y. 2006. LA CADENA DEL BANANO EN COLOMBIA. UNA MIRADA GLOBAL DE SU ESTRUCTURA Y DINÁMICA. 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia. Documento de Trabajo No. 101 <http://www.agrocadenas.gov.co/agrocadenas@iica.int>

FAO. 2006. Banano, notas sobre productos básicos: situación del mercado del banano en 2005 y comienzos de 2006. . <http://www.fao.org> (visitada Enero,2007).

FEDEAGRO. <http://www.fedeagro.org/comercio/default.asp> (visitada febrero 2006)



**Innovaciones tecnológicas para el manejo y mejoramiento de
la calidad y salud de suelos bananeros de América Latina y
el Caribe**

INFORME FINAL

Maritza Domínguez

Panamá

Octubre, 2009

1) RESUMEN EJECUTIVO

El Proyecto de **innovaciones tecnológicas para el manejo y mejoramiento de la calidad y salud de suelos bananeros de América Latina y el Caribe** financiado por FONTAGRO, en lo subsiguiente llamado proyecto de calidad y salud de suelos bananeros planteó contribuir a solucionar el problema de fincas bananeras degradadas, con baja producción y productividad en América Latina y el Caribe (ALC), basado en el mejoramiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo, mediante el uso de innovaciones tecnológicas sostenibles que permitirían incrementar o recuperar la calidad y salud de los suelos bananeros. Para el caso particular de Panamá, se fijaron dos objetivos específicos: 1) Diseñar y validar una guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras; 2) Proveer y establecer alternativas tecnológicas integrales que mejoraran la calidad de suelos para la recuperación y mantenimiento de la productividad de plantaciones bananeras deterioradas.

El objetivo 1 tuvo como metas: a) la identificación de indicadores de salud y calidad de suelos, considerando las propiedades físicas, químicas y enfatizando las biológicas b) la producción y distribución de la guía de diagnóstico de calidad y vida de suelos, para su uso y evaluación c) la edición final de la guía de diagnóstico de indicadores de calidad y salud de suelos bananeros.

Para la consecución de las metas señaladas se inició con la identificación y ordenamiento de la oferta tecnológica, cuyo producto es un *Dossier* con la oferta tecnológica aplicada en las fincas bananeras del área del Pacífico de Panamá. Luego se procedió con la fase I que tuvo dos etapas a) la implementación del Pre diagnóstico, que dio como resultado el historial de 12 fincas bananeras en cuanto a suelo, manejo, tecnología utilizada, prácticas fitosanitarias y datos de producción. La segunda etapa consistió en la implementación del diagnóstico *per se* mediante el cual se obtuvo los resultados de los indicadores físicos, químicos y biológicos de suelos. Como resultado de estos análisis y con el apoyo del grupo matemático de la UCR y la opinión de los expertos se logró la determinación del índice de calidad y salud de 12 fincas bananeras, en función de trece indicadores finales de Panamá (pH, Ca, K, MO, % Arena, Respiración Microbiana total, Índice de Mineralización, Raíz Total, *Radopholus similis* (log), *Trichoderma*, Microartrópodos, # total de familias, Nematodos de vida libre total, % fitonematodos) para los suelos en Panamá

El producto de estas actividades en Panamá y los otros países socios fue la Guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos bananeros, acompañada con un programa de cómputo para el análisis de datos de la Guía, el SIDICASS (Sistema para el Diagnóstico de la Calidad y Salud de Suelos Bananeros) Asimismo se realizó el Diagnóstico Económico y Financiero de 12 fincas bananeras, utilizando el programa: Sistema de análisis económico y financiero de fincas bananeras (SAEFFIB), instrumento que permite recopilar toda la información económica y social de las fincas bananeras.

La fase 2 que es producto de la finalización de la fase 1 que comprende la implementación de las alternativas tecnológicas para solventar los problemas encontrados en el diagnóstico. En esta fase se ejecutaron tres actividades:

- a) Diseño de alternativas tecnológicas sitio-país específicas, en las que se determinaron los factores críticos de las fincas Santa Cecilia y Javillo, para diseñar las actividades de investigación. En Panamá, se realizaron reuniones participativas con los productores, en las cuales el equipo coordinador del proyecto, conjuntamente con el equipo técnico discutió la

importancia de la información recabada y la pertinencia de ésta para el mejoramiento de la situación actual de las fincas en estudio. En el IDIAP se asumió la responsabilidad de apoyar como un mandato gubernamental la situación de los productores bananeros de Chiriquí.

b) Establecimiento y seguimiento en fincas experimentales: se ejecutaron 4 actividades en Barú y Alanje:

- i) Respuesta de plantaciones establecidas de banano a la aplicación de calcio,
- ii) Respuesta de plantaciones establecidas de banano a la aplicación de potasio,
- iii) Efecto de los nematodos fitoparásitos y su control en las variables biométricas del banano (*Musa sapientum* L.) de una plantación comercial,
- iv) Identificación de la importancia relativa de macro y micro nutrientes para dos suelos de fincas bananeras.

c) Capacitación de investigadores socios y estudiantes del proyecto: la capacitación se centró principalmente en el uso adecuado de la Guía de Diagnóstico y las evaluaciones de campo y laboratorio de todos los indicadores bajo estudio. Se participó en los siguientes talleres:

- i) Taller de estandarización de enmiendas orgánicas,
- ii) Taller para el diseño de un sistema de análisis económico y financiero para fincas bananeras,
- iii) Taller de inducción al prediagnóstico y diagnóstico,
- iv) Taller internacional de nematodos de vida libre como indicadores de calidad y salud de suelos.

En el marco del Proyecto se realizaron una serie de investigaciones en diferentes temáticas que han derivado en publicaciones en memorias y carteles:

- Respiración microbiana en el suelo asociada a la microfauna en plantaciones de banano;
- Estructura de la comunidad edáfica de *Collembola* (insecta), en áreas productoras de banano, Panamá;
- Innovaciones tecnológicas para el manejo y mejoramiento de la calidad y salud de los suelos bananeros de América Latina y el Caribe;
- Calidad de suelos bananeros de Panamá;
- Cuantificación de poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos en 12 suelos bananeros en la provincia de Chiriquí;
- Determinación del carbono asociado a la biomasa en suelos de fincas bananeras;
- Identificación de fitonematodos y nematodos de vida libre en suelos bananeros;
- Análisis físico-químico de suelos de 12 fincas bananeras del pacífico panameño como indicadores de la calidad de suelo;
- Sistema para el análisis económico y financiero de fincas bananeras

Asimismo en el marco del proyecto se realizaron una serie de participaciones en congresos y eventos nacionales e internacionales donde se presentaron resultados de las investigaciones ejecutadas a saber:

- I Congreso Internacional de Banano y Plátano, Panamá, 2007;
- III Congreso Científico de Investigación e Innovación, Panamá, 2008;

- III Expo Científica Agropecuaria, Panamá, 2007;
- Taller sobre formulación de alternativas tecnológicas para los suelos bananeros y diseño del plan de acción para las fincas bananeras, Panamá, 2006

De igual forma de las investigaciones realizadas se derivaron seis tesis de licenciatura:

- Determinación de la respiración microbiana en los suelos de doce fincas bananeras de la Provincia de Chiriquí;
- Estimación cuantitativa de la población de microorganismos en suelos de doce fincas bananeras de la Provincia de Chiriquí;
- Determinación del carbono asociado a la biomasa microbiana en suelos de doce fincas bananeras de la Provincia de Chiriquí;
- Respuesta de plantaciones establecidas de banano, a la aplicación de calcio, en Barú y Divalá, Chiriquí, Panamá;
- Respuesta de plantaciones establecidas de banano, a la aplicación de potasio, en Barú y Divalá, Chiriquí, Panamá;
- Evaluación de agentes biológicos para el manejo de fitonematodos y su efecto en las variables biométricas de plantaciones de banano, variedad Cavendish.

Esto se logró en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, consolidando un grupo multidisciplinario con actuación interdisciplinaria, que enfocó el problema desde un punto de vista holístico, ofreciendo recomendaciones ambientalmente seguras y económicamente sostenibles, para devolver el potencial productivo al suelo y por ende mejorar las plantaciones deterioradas de Panamá.

2) RESULTADOS OBTENIDOS Y SU INTERPRETACIÓN

OBJETIVO #1

Diseñar y validar una guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras.

Resumen del análisis estadístico del diagnóstico para Panamá

Doce fincas comerciales de banano para exportación fueron analizadas a saber: Margarita (MR), Los Ángeles (LA), Mango (MG), Balsas (BL), Palo Blanco (PB), Higuito (HG), Caoba (CB), Jagua (JG), Javillo (JV), San Antonio (SA) y Santa Cecilia (SC); no se usaron los datos de Tadeo (TD) pues mostraron inconsistencia con el resto de las fincas. Con base a los resultados del diagnóstico en Costa Rica se determinó que el sitio intermedio traslapaba información entre el sitio bueno y el malo. Por lo tanto en Panamá solamente se seleccionaron dos tipos de sitios por finca: bueno y pobre, según criterio experto basado en el historial de productividad de la finca, y en cada sitio se hicieron 4 réplicas de las mediciones, en calicatas suficientemente espaciadas. De estos 68 indicadores, se seleccionaron 49 como variables activas, de los cuales 3

son indicadores de productividad: circunferencia del seudotallo de la planta madre, altura del hijo, número de manos.

La figura 1 ilustra todo el proceso realizado para la determinación del conjunto mínimo de datos (indicadores) responsables de la calidad y salud de suelo. Después de los respectivos análisis se llegó a la selección 13 indicadores relacionados con la calidad y salud de suelos de banano de Panamá, que se describen en el cuadro 1.

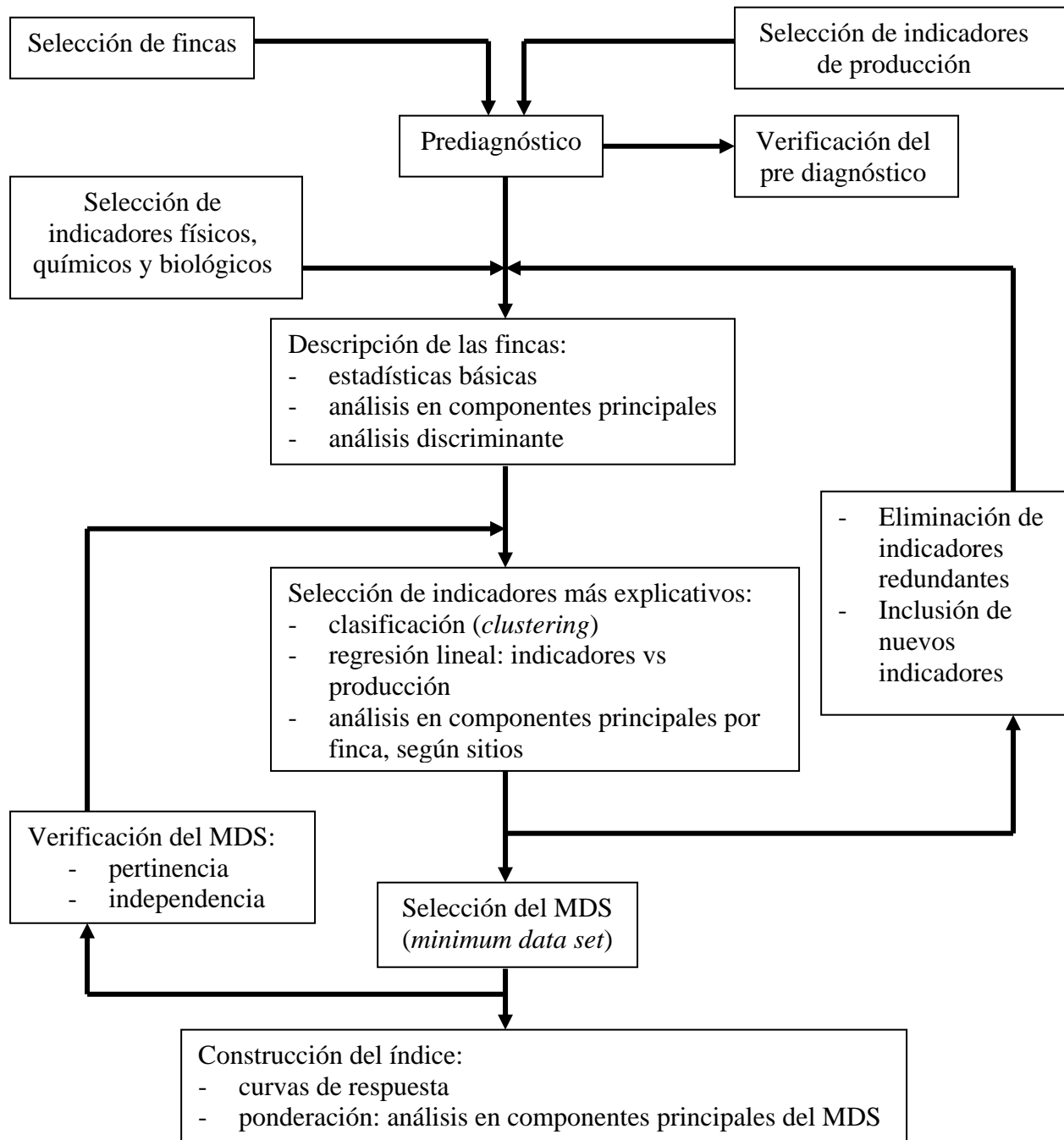


Fig. 12. Flujograma que ilustra el procedimiento para la construcción del índice de Calidad y salud de suelos/

Cuadro 1. Selección del Grupo Mínimo de Indicadores (GMI) de calidad y salud de suelos para Panamá.

pH	Potencial hidrógeno		RT	Raíz total
Ca	Calcio		L-Rad.s	<i>Radopholus similis</i> (log)
K	Potasio		NVLtot	Total de NVL
M.O.	Materia orgánica		%fitonem	% de fitonemátodos
%sand	Porcentaje de arena		Trichod	Trichoderma
RM-tot	Respiración microbiana		Matotani	# de familias de microartrópodos
IndMiner	Índice de mineralización			

Determinación de curvas de respuesta de los indicadores

Según las indicaciones de los expertos en cada área, se construyeron curvas de respuesta teóricas, de acuerdo con los rangos por ellos indicados. Estas curvas tienen alguna de las formas siguientes:

- Curvas logísticas crecientes, entre 0 y 1.
- Curvas logísticas decrecientes, entre 1 y 0.
- Curvas tipo campana, con máximo valor 1.

Los valores de estos parámetros para cada una de las curvas de respuesta están dados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Determinación de la curva respuesta de los indicadores para Panamá

Indicador	Media	m	b	Tipo de curva
pH	6.0	0.094	1.456	Campana
Ca	15.0	0.303	-4.551	Logística decreciente
K	0.8	122.368	1.456	Campana
OM	2.0	3.034	-6.069	Logística creciente
%sand	45.0	0.000	1.456	Campana
RM-Total	350.0	0.010	-3.540	Logística creciente
indMiner	0.6	298.751	1.456	Campana
RT	105.0	0.101	-10.620	Logística creciente
L-Rad.s	6000.0	0.000	0.500	Logística decreciente
NVL-tot	145.0	0.101	-14.666	Logística creciente
%fitonem	65.0	-0.303	19.723	Logística decreciente
Trichod	5.0	1.517	-7.586	Logística creciente
MA-tot-fam	7.0	0.759	-5.310	Logística creciente

La determinación de las curvas respuesta de los indicadores es importante para conocer el comportamiento positivo o negativo del indicador. Por ejemplo las logísticas crecientes indican que entre más alto es el número del indicador mejor es su comportamiento (mas es mejor). Por ejemplo el indicador *Trichoderma* spp. entre más aislamientos existen mejor es el estado de calidad y salud de suelos. Por el contrario en la curva logística decreciente (menos es mejor). Por

ejemplo el fitonematodo *R. similis* entre menor cantidad de nematodos es mejor para el sistema. En el caso de la curva de respuesta campana, existe un valor óptimo y tiene un mínimo y un máximo. Por ejemplo el pH, que lo ideal es 6.0, pero valores muy bajos debajo de 4 es malo para el sistema y valor más altos de 8 también es negativo.

METAS

- Identificación de indicadores de salud y calidad de suelos, considerando las propiedades físicas, químicas y enfatizando las biológicas.
- Edición final de la Guía de diagnóstico de indicadores de calidad y salud de suelos bananeros.
- Elaboración de la Guía de análisis económico y financiero de fincas bananeras.

RESULTADOS

- Se identificaron 13 indicadores de calidad y salud de suelos bananeros (participaron 6 fincas independientes, Alanje y 6 de la COOSEMUPAR, Barú) para Panamá: calcio, potasio, materia orgánica, % arena, respiración microbiana total, raíz total, *Radopholus similis*, nematodos de vida libre total, % de fitonematodos, *Trichoderma* sp., microartrópodos familias total.
- Se determinó el índice de calidad y salud de suelos de 12 fincas bananeras, de Barú y Alanje.
- Se elaboró y distribuyó la Guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos bananeros, acompañada de un programa de cómputo para el análisis de la guía, SiDiCaSS (Sistema para el diagnóstico de la calidad y salud de suelos).
- Se elaboró y distribuyó el programa para computadoras: SAEFFIB (Sistema de análisis económico y financiero de fincas bananeras), con el cual se realizaron estudios de factibilidad económica a 12 fincas bananeras del área de Barú y Divalá.
- Se construyó el sitio Web: <http://suelosbananeros.catie.ac.cr>, donde se encuentra disponible toda la información generada por el proyecto.

OBJETIVO #2

Proveer y establecer alternativas tecnológicas integrales que mejoren la calidad de suelos para la recuperación y mantenimiento de la productividad de plantaciones bananeras deterioradas.

METAS

- Diseñar alternativas tecnológicas para el manejo de fitonematodos y que mejoren la productividad de las fincas y la calidad y salud del suelo en Panamá
- Respuesta de plantaciones establecidas de banano a la aplicación de calcio en Barú y Alanje, Chiriquí, Panamá;
- Respuesta de plantaciones establecidas de banano a la aplicación de potasio en Barú y Alanje, Chiriquí, Panamá;

Implementación de alternativas tecnológicas

Después de finalizar el proceso de análisis y discusión con los científicos y productores en Panamá se procedió a implementar las alternativas para solventar los problemas encontrados en el diagnóstico. A continuación se describen las investigaciones y resultados obtenidos en Panamá

El uso de hongos endofíticos para el control biológico de nematodos en Panamá ha sido una tecnología validada por el Instituto de Investigaciones Agropecuaria de Panamá (IDIAP) y ha sido transferida a los productores. La Fig. 2. representa el efecto de biocontrol de los hongos endofíticos *Trichoderma atroviride*, encontrándose que los microorganismos endofíticos tienen un biocontrol de nematodos estadísticamente similar que dos aplicaciones de nematicidas. Asimismo el Cuadro 3 muestra que todas las alternativas evaluadas presentan mayor peso de racimo que el testigo sin aplicación de nematicidas y de hongos endofíticos. Es importante destacar que testimonios de productores que han usado estos microorganismos señalan la importancia de esta tecnología para el manejo de los nematodos así como para mejorar la producción en Panamá (Fig. 2, Cuadro 3).

Efecto de tecnologías alternativas a los nematicidas sobre el control de nematodos en banano

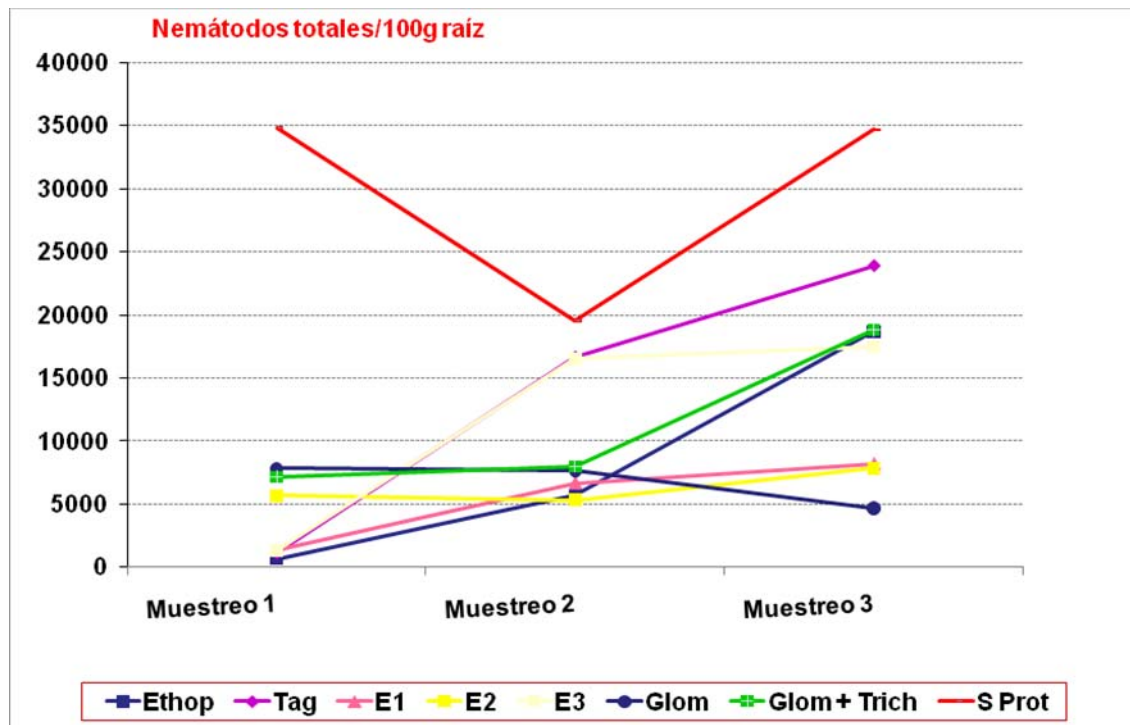


Fig. 2. Efecto de microorganismos de la rizosfera sobre la población de fitonematodos totales en condiciones de campo.

Cuadro 3. Efecto de tecnologías alternativas a los nematicidas sobre variables de Producción en banano en Panamá.

Tratamiento	Perímetro (cm)	Altura hijo (cm)	Siembra Cosecha (días)	Peso Racimo (kg)
T1. Ethoprop 15G	60.57 ab	140.52 a	279.00 a	48.26 a
T2. Tagetes erecta	63.24 a	147.56 a	274.33 a	50.84 a
T3. <i>T. atroviride</i> 1 (Guat.)	62.28 ab	150.07 a	275.00 a	48.80 a
T4. <i>T. atroviride</i> 2 (Six., CR)	61.14 ab	140.07 a	271.67 a	47.04 a
T5. <i>T. atroviride</i> 3 (Marg., PTY)	59.43 ab	138.17 a	267.67 a	47.62 a
T6. <i>Glomus</i> spp.	64.09 a	158.24 a	272.00 a	53.84 a
T7. <i>Glomus</i> spp. + <i>Trichoderma</i> spp.	62.38 ab	150.00 a	271.33 a	52.66 a
T8. Testigo	53.58 b	128.78 a	281.00 a	37.37 a

Resultados

- El diseño de alternativas tecnológicas, para las fincas Majagua, Higuito, Santa Cecilia y Javillo, se dio a través de los factores críticos encontrados, con el establecimiento y seguimiento en las fincas bananeras de 5 actividades ejecutadas y orientadas a solucionar los factores críticos (calcio, potasio, fitonematodos), un estudio de invernadero (sobre macro y micro nutrientes).
- Utilización de hongos endofíticos y micorrizas para el manejo de fitonematodos en plantaciones comerciales de Panamá.
- Respuesta de plantaciones establecidas de banano a la aplicación de calcio, en Barú y Alanje, Chiriquí, Panamá;
- Respuesta de plantaciones establecidas de banano a la aplicación de potasio, en Barú y Alanje, Chiriquí, Panamá;

Los resultados de los ensayos de fertilización indican que no hubo respuesta en el rendimiento a las diferentes dosis de CaCO₃ y KCl, aplicados en las plantaciones de banano ya establecidas; en consecuencia, los productores no tienen que invertir en aplicar Ca y K, logrando un mejor aprovechamiento de la fertilización y una disminución en los costos de producción; en cuanto al indicador fitonematodos, se cuenta con tecnología lista para ser utilizada sobre el uso de bioproductos con potencial biocontrolador y promoción de calidad en banano, a base de hongos endofíticos y endomicorrizas, para el manejo de los fitonematodos.

3) ANÁLISIS PROSPECTIVO

Los resultados de investigación en Panamá permitieron tener impacto en la producción del banano así como en las políticas agrícolas del IDIAP. A continuación se describen las principales

- Aplicación de la guía de calidad y salud de suelos bananeros a las condiciones de Panamá. En la actualidad esta guía está siendo usada para determinar la calidad y salud de suelos de las fincas plataneras en Panamá
- Determinación del índice de calidad y salud de suelos en 12 fincas comerciales de banano.
- El exitoso uso de hongos endofíticos para el control biológico de nematodos en Panamá tuvo un impacto en el mejoramiento de la producción en la región (Artículo en el periódico de Panamá).
- El éxito con el uso de hongos endofíticos permitió a científicos del IDIAP usar estos microorganismos para el control de nematodos en otros cultivos tales como en papa para controlar *Globodera* spp. y en Tomate para control de *Meloidogyne* spp.
- Los científicos de IDIAP también sometieron una propuesta de investigación para el control biológico de nematodos en Papa, usando los aislamientos del proyecto de calidad y salud de suelos y la propuesta fue aprobada.
- El IDIAP oficializó como política nacional el uso de hongos endofíticos para el control de nematodos en las fincas de productores en Panamá. Esta tecnología está siendo transferida por técnicos del IDIAP.
- Se determinó que el cultivo de banano no responde a la aplicación de potasio y que las cantidades usadas en la actualidad son demasiado altas. Este hallazgo puede reducir sustancialmente los costos de producción en la zona.
- Integración de la universidad de Panamá y de Chiriquí en investigaciones en microbiología del suelo (trabajos pioneros) lo cual derivó en la formación académica de jóvenes científicos en el país.

4) PUBLICACIONES Y OTROS PRODUCTOS

1. Blanca Hernández; Humberto Cornejo; Benjamín Name, Eric Candanedo. Respiración microbiana en el suelo asociada a la microfauna en plantaciones de banano. I Congreso Internacional de Banano y Plátano. Panamá, 2007.
2. Bruno Zachrisson; José Lezcano; Gabriela Castaño-Meneses; Gregorio Aranda. 2006. Estructura de la comunidad edáfica de *Collembola* (insecta), en áreas productoras de banano, Panamá. I Congreso Internacional de Banano y Plátano. Panamá, 2007.
3. Domínguez, Maritza. Innovaciones tecnológicas para el manejo y mejoramiento de la calidad y salud de los suelos bananeros de América Latina y el Caribe. III Expo Científica Agropecuaria. Panamá, 2007.
4. José Villarreal; Lwonel Agudo; Jhon Villalaz, Roger Concepción, Juan T. Arosemena; Franklin Rosales; Luis Pocasangre; Eduardo Delgado; Maritza Domínguez. Calidad de suelos bananeros de Panamá. I Congreso Internacional de Banano y Plátano. Panamá, 2007.

5. Humberto Cornejo. 2008. Cuantificación de poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos en 12 suelos bananeros en la provincia de Chiriquí. III Congreso Científico de Investigación e Innovación. Panamá, 2008.
6. Humberto Cornejo. 2008. Determinación del carbono asociado a la biomasa en suelos de fincas bananeras. III Congreso Científico de Investigación e Innovación. Panamá, 2008.
7. Jorge Muñoz. Identificación de fitonematodos y nematodos de vida libre, en suelos bananeros. Chiriquí, Panamá. III Congreso Científico de Investigación e Innovación. Panamá, 2008.
8. Lwonel Agudo. Análisis físico-químico de suelos de 12 fincas bananeras del pacífico panameño como indicadores de la calidad de suelo. III Congreso Científico de Investigación e Innovación. Panamá, 2008.
9. Maritza Domínguez H. Sistema para el análisis económico y financiero de fincas bananeras. Modalidad Cartel. III Congreso Científico de Investigación e Innovación. Panamá, 2008.

Tesis

Para optar por el título de Licenciatura en Biología, con especialización en Microbiología. Universidad de Panamá.

1. Determinación de la respiración microbiana en los suelos de doce fincas bananeras de la Provincia de Chiriquí.
2. Estimación cuantitativa de la población de microorganismos en suelos de doce fincas bananeras de la Provincia de Chiriquí.
3. Determinación del carbono asociado a la biomasa microbiana en suelos de doce fincas bananeras de la Provincia de Chiriquí.

Para optar por el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Universidad de Panamá.

1. Respuesta de plantaciones establecidas de banano a la fertilización con potasio en plantaciones establecidas, en Barú y Divalá, Chiriquí.
2. Efecto de la aplicación de diferentes niveles de calcio, sobre una plantación establecida de banano, en Barú y Divalá, Chiriquí.

Otros productos

Capacitación de personal

- Capacitación de investigadores, socios-productores estudiantes del Proyecto:
 - Taller: Estandarización de enmiendas orgánicas. Costa Rica, 2005.
 - Taller: Diseño de un sistema de análisis económico y financiero para fincas bananeras. Costa Rica, 2005.
 - Taller: Inducción al pre diagnóstico y diagnóstico. Costa Rica, 2005.

- Taller internacional: Nematodos de vida libre como indicadores de calidad y salud de suelos. Costa Rica, 2005.
- Participación en eventos de difusión:
 - I Congreso Internacional de Banano y Plátano. Panamá, 2007
 - III Expo Científica Agropecuaria. Panamá, 2007
 - III Congreso Científico de Investigación e Innovación. Panamá, 2008
 - Taller: Formulación de alternativas tecnológicas para los suelos bananeros. Chiriquí, 2006.

5) EJECUCIÓN DEL PRESUPUESTO

La ejecución del presupuesto se realizó de acuerdo a los montos aprobados para cada país. FONTAGRO aprobó un presupuesto total para Panamá de US\$ 44 280,00 para ser ejecutados en 3 años. La mayoría de los fondos fueron gastados en actividades de apoyo de campo y laboratorios, así como en costos operativos. De este monto fue transferido US\$ 42,745 de los cuales se han justificado 38,860.07 quedando pendientes por justificar US\$3,884.93. Para más detalles sobre los gastos de panamá consultar el informe financiero final correspondiente al CD 6 de anexos.

Con relación a la contribución de contrapartida del IDIAP el monto total fue de US\$ 77,700, correspondiente principalmente a costos del personal científico y técnico involucrado en la ejecución de actividades del proyecto. Asimismo se cargaron costos operativos y de depreciación de equipo y gastos misceláneos. Para más detalles de los gastos de contrapartida consultar informe financiero CD 6 de anexos.



**Innovaciones tecnológicas para el manejo y mejoramiento de
la calidad y salud de suelos bananeros de América Latina y
el Caribe**

INFORME FINAL

**Costa Rica
Octubre, 2009**

1) RESUMEN EJECUTIVO

La Industria bananera tiene un impacto relevante en el desarrollo económico y social de los países de América Latina y el Caribe. A pesar de que es un cultivo con un uso intensivo de insumos y técnicas de alto costo, la productividad ha sufrido disminuciones considerables, debidas, en parte, a cambios y deterioros en los factores químicos, físicos y biológicos de los suelos. Por estas razones, en diferentes eventos internacionales en el año 2003, se recomendó trabajar en el mejoramiento del sistema radical y la generación de innovaciones tecnológicas que aseguren la calidad (o salud) de los suelos dedicados al cultivo de banano.

El objetivo general del Proyecto fue: Mejorar la productividad de las plantaciones bananeras de América Latina y el Caribe, mediante innovaciones tecnológicas sostenibles que permitan incrementar la calidad y salud del suelo. Los objetivos específicos fueron: Diseñar y validar una Guía de diagnóstico de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras, proveer y establecer alternativas tecnológicas integrales que mejoren la calidad de suelos para la recuperación y mantenimiento de la productividad de plantaciones bananeras y desarrollar investigación paralela y complementaria que pueda ayudar al establecimiento y difusión de las alternativas tecnológicas integrales y validadas en fincas de productores.

Uno de los resultados más importantes en Costa Rica fue la determinación del grupo mínimo de indicadores de calidad y salud de suelos que fue de 17 indicadores, de los cuales la mayoría pertenecen a variables microbiológicas. De igual forma, se logró por primera vez determinar los índices de calidad y salud de suelos para las 6 fincas en estudio, lo cual permitió encontrar los factores limitantes de la producción en las fincas en mención. Es importante destacar que los propietarios de las fincas quedaron muy satisfechos con los resultados de los análisis realizados por el proyecto y sobre todo con las bases de datos de los factores microbiológicos, ya que nunca habían sido considerados en los análisis rutinarios de las fincas.

En relación a la investigación sobre la acidez inducida, la cual se realizó en tres sitios (rizosfera, banda y entrecalle), se logró determinar que la banda presenta los niveles de pH más bajos, indicando que la acidez es inducida por el uso de los fertilizantes nitrogenados. Asimismo, los niveles de Aluminio fueron también más altos en la banda que en la rizosfera y la entrecalle.

En relación a la articulación de las instituciones de investigación en el país, es importante destacar que el proyecto jugó un papel importante y además logró conformar grupos de discusión que aún siguen trabajando en la temática. Por otra parte, la influencia del proyecto en las líneas de investigación de CORBANA ha sido notoria, destacándose la contratación de un microbiólogo de suelos y la formación de un estudiante de maestría y doctoral en el área de calidad y salud de suelos.

Finalmente, es importante puntualizar que el proyecto enfatizó en el manejo de plagas del suelo con un enfoque integral y dando prioridad a alternativas al uso de los pesticidas, tal como el combate de nematodos con microorganismos. Esta línea de investigación ha sido reforzada por CORBANA y ha culminado con la creación de un moderno laboratorio de biocontrol con un costo aproximado de 1,5 millones de dólares americanos. Se espera que este laboratorio pueda multiplicar microorganismos antagonistas que puedan controlar las principales plagas del banano tales como fitonematodos, Sigatoka negra y plagas del fruto.

FASE PRE-DIAGNÓSTICO

Para lograr los objetivos propuestos, la primera fase consistió en un pre diagnóstico en la zona bananera Caribe de Costa Rica. Esta fase incluyó la elección, mediante los registros históricos de producción, de 6 fincas a muestrear. Con tal objetivo y tomando en cuenta las características de las dos grandes zonas edafoclimáticas en que se dividen las plantaciones bananeras del Caribe de Costa Rica (Fig. 1), se eligieron tres fincas de la zona ubicada al oeste del río Reventazón y tres al este de dicho río. Entre las dos zonas se concentra la presencia de más del 95% de las fincas bananeras costarricenses.

Con base en los historiales de productividad de todas las fincas costarricenses se establecieron tres ámbitos de productividad, de acuerdo con el promedio de cajas exportadas de banano (18,14 kg cada una) por hectárea por año (cajas ha⁻¹ año⁻¹). Los ámbitos de productividad fueron: alta (3000-3500 cajas ha⁻¹ año⁻¹), media (2500-2900 cajas ha⁻¹ año⁻¹) y baja (2000- 2200 cajas ha⁻¹ año⁻¹). En cada ámbito y región se seleccionó una finca con historial de manejo conocido para un total de seis (Anexo 1). Al Oeste del Río Reventazón se seleccionaron las fincas Cartagena (alta productividad), Calinda (productividad media) y Las Juntas (productividad baja) y al este del Reventazón se seleccionaron las fincas Palo Verde 1 (alta), El Esfuerzo (media) y San Pablo (baja). Cada finca escogida se visitó en compañía del personal de la Dirección de Asistencia Técnica de CORBANA y se seleccionaron bloques de 4 ha de vigor contrastante (bueno, medio y pobre) corroborando los registros del productor con mediciones de campo.

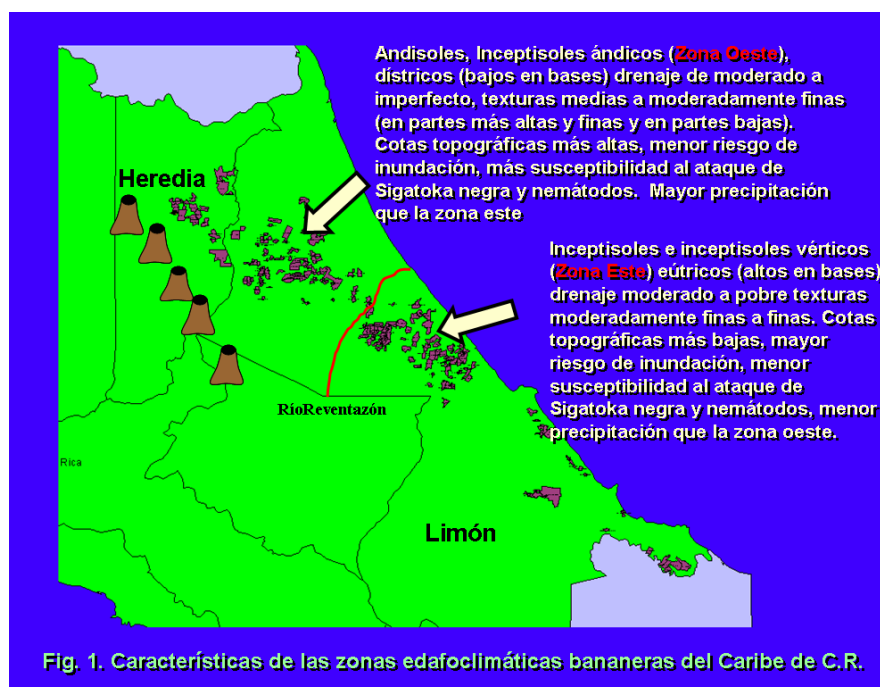


Figura 1. Regiones edafoclimáticas de la zona bananera de Costa Rica

2) RESULTADOS OBTENIDOS Y SU INTERPRETACIÓN

FASE DIAGNÓSTICO

Esta fase incluye el muestreo en las fincas y la determinación en laboratorio de los indicadores físicos, químicos y microbiológicos de suelo; bióticos de nematodos y biométricos de vigor de plantación. Para la descripción de los indicadores físico-químicos de estos sitios de vigor diferente se abrieron 12 minicalicatas (4 por tipo de vigor) de 60cm ancho x 60cm largo x 60cm fondo en la banda de fertilización de plantas de banano recién florecidas (Fig. 2). En un área de 1000m² aledaña a la mini calicata se registraron los datos biométricos de vigor; altura del hijo, circunferencia de pseudotallo (tomada a 1m de altura) y número de manos de 10 plantas de las tres últimas cintas próximas a ser cosechadas. Para la determinación de los indicadores microbiológicos: respiración microbiana a los 10 días de incubación y unidades formadoras de colonias se muestreó la banda de fertilización de 5 plantas de 0 a 15cm de profundidad. También alrededor de la mini calicata se determinaron las poblaciones de nemátodos y contenido de raíces en un cubo de 15cm de ancho x 15cm de largo x 30cm (6750cm³) frente al hijo de sucesión en 5 plantas recién florecidas. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio Analítico de Suelos y Foliare y de Nematología de CORBANA; y al Laboratorio de Bioquímica de procesos orgánicos del CIA.

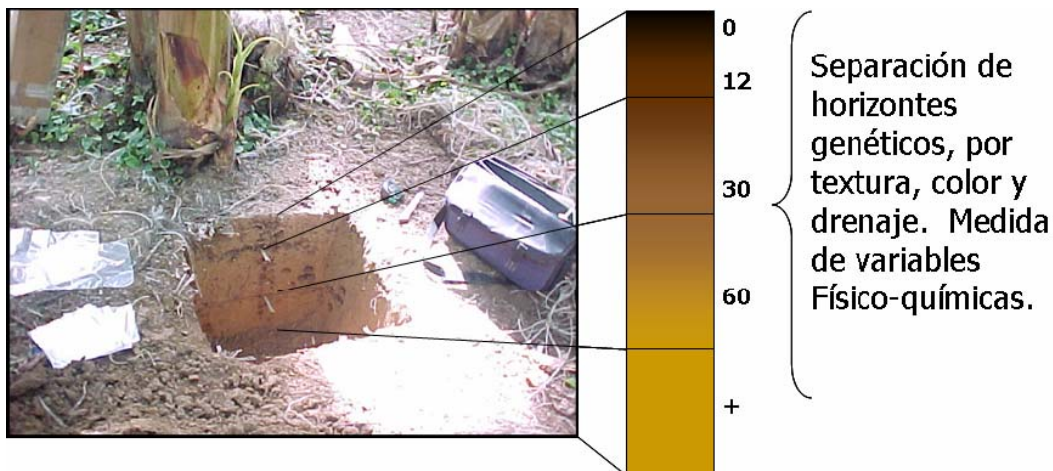


Figura 2. Mini calicata usada para realizar muestreo de química y física de suelos

Procedimiento metodológico para la obtención de los indicadores de calidad y salud de suelos para Costa Rica.

Seis fincas comerciales de banano fueron analizadas en Costa Rica a saber: Calinda, Las Juntas, Cartagena, San Pablo, El Esfuerzo y Palo Verde. En cada finca se seleccionaron tres sitios: Bueno, Medio y Pobre, basado en el historial de productividad de la finca, y en cada sitio se hicieron 4 réplicas. Se estudiaron tres tipos de indicadores: químicos, físicos y microbiológicos, para un total de 83 indicadores medidos o calculados. De estos 83 indicadores, se seleccionaron 63 como variables activas, de los cuales 3 son indicadores de productividad: circunferencia del pseudotallo de la madre, altura del hijo, número de manos. Con base en los análisis estadísticos y matemáticos presentados anteriormente se llegó a la determinación del grupo mínimo de indicadores de calidad y salud de suelos para Costa Rica que se describe en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Selección del Grupo Mínimo de Indicadores (GMI) de calidad y salud de suelos para Costa Rica

pH	Potencial hidrógeno		L-bat	Bacterias (log)
EA	Acidez intercambiable		L-fung	Hongos (log)
P	Fósforo		IndMiner	Índice de mineralización
Mg/K	Razón de Mg sobre K		PR	Peso radical
Ca/Mg	Razón de Ca sobre Mg		L-Rad.s	<i>Radopholus similis</i> (log)
PhosRet	Retención de fósforo		NVLgen	# géneros de nemátodos de vida libre
Porocity	Porosidad		% fitonem	% de fitonemátodos
Waterinf	Infiltración de agua		NVLfuNAP	NVL fungívoros + asociados a plantas
MAtotani	Total de microartrópodos			

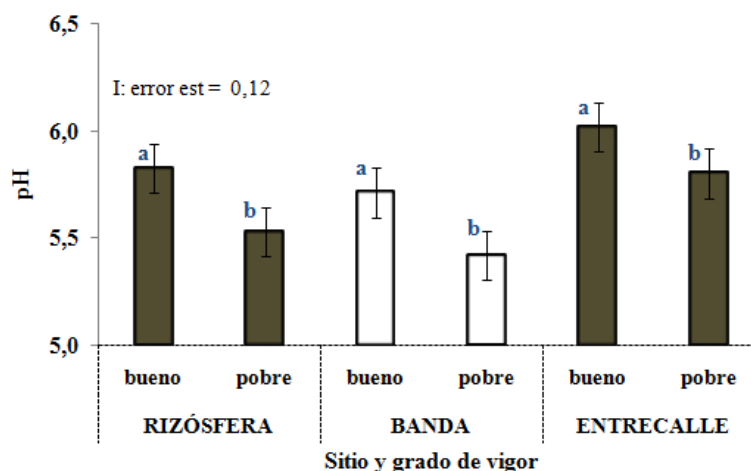
Es importante destacar que la mayoría de los indicadores relacionados con la calidad y salud de suelos de Costa Rica están más concentrados en el componente microbiológico que en el físico y el químico.

Mediante análisis estadísticos y matemáticos de los resultados obtenidos, se determinó como indicadores de calidad de suelos, pues se relacionaron con el vigor del banano, a las variables químicas e indicadores químicos: acidez intercambiable, pH, Al^{+3} , relaciones de bases (Ca/Mg, Mg/K, % Sat. K y % Sat. Ca), retención de fosfatos y contenido de P. Las variables físicas establecidas como indicadores fueron la infiltración básica y el % de porosidad. El conteo de unidades formadoras de colonias de bacterias, hongos y actinomicetes, además del índice de mineralización de la materia orgánica, fueron los indicadores microbiológicos de mayor peso encontrados.

Con esta información se realizaron presentaciones a los productores involucrados, donde se elaboraron recomendaciones para mejorar las condiciones de las variables que limitan el vigor y la productividad de las plantaciones. Dentro de lo recomendado se incluyó la corrección de la acidez y el pH de los suelos mediante encalado y forqueo y la estimulación de la actividad microbiológica de los suelos mediante la incorporación de enmiendas orgánicas. También, los resultados de esta fase fueron ampliamente difundidos por medio de publicaciones en congresos y revistas especializadas.

La segunda fase de la investigación se enfocó en corroborar la validez de los indicadores encontrados, así como en profundizar en aspectos químicos y microbiológicos de la rizósfera en el cultivo de banano, un aspecto poco investigado. Las fincas y la metodología de muestreo fue la misma que en la primera fase. Se hicieron algunos ajustes como eliminar el vigor medio de plantación pues no aportó mayor información en la primera fase. Además, el muestro de suelo incluyó la entrecalle de la plantación y la rizósfera. Se muestreó además la raíz extraída en áreas de vigor bueno y pobre.

Los resultados corroboraron la importancia del pH de los suelos como indicador de calidad de suelos y de vigor de la plantación de banano (Fig. 3). Además, se determinó que la rizosfera presenta características bioquímicas diferentes al resto del suelo y que su condición se relaciona con el vigor de la planta de banano. Por otra parte, se estableció que las raíces de banano de plantas con vigor pobre son diferentes en aspectos químicos y microbiológicos de raíces de un vigor bueno.



Diferencias según prueba DMS $\alpha=0,05$.

Figura 3. Medias de pH en rizosfera, banda y entrecalle de acuerdo con el vigor de plantas de banano en seis fincas costarricenses, Proyecto de calidad de suelos, Fase 2.

Cuadro 2. Medias de pH, Al, acidez extractable (A.E), Ca, Mg, K, P, Fe, Cu, Zn, Mn, M.O. evaluadas en tres sitios: banda, entrecalle y rizosfera. Los datos provienen de seis fincas representativas de Costa Rica, Proyecto calidad de suelos, fase 2.

Sitio de muestreo	pH	cmol (+) L ⁻¹					mg L ⁻¹					M.O. %
		Al	A.E	Ca	Mg	K	P	Fe	Cu	Zn	Mn	
Rizósfera	5,68 b	0,41 a	0,54 a	15,0 b	4,82 ab	0,81 c	39 c	195 c	5 a	8 b	58 a	3,94 a
Banda	5,57 b	0,49 a	0,63 a	16,8 a	4,76 b	1,07 a	74 a	208 a	4 b	14 a	65 a	4,05 a
Calle	5,91 a	0,46 a	0,59 a	15,0 b	5,03 a	1,00 b	57 b	206 b	5 a	10 b	63 a	4,16 a

Diferencias según prueba DMS												
Rizósfera- Banda	0,106	0,431	0,475	0,003	0,632	0,003	<0,000	0,003	0,018	<0,000	0,078	0,607
Rizósfera- Calle	0,000	0,625	0,668	0,941	0,111	0,032	0,003	0,018	0,673	0,310	0,210	0,315
Banda- Calle	<0,000	0,763	0,775	0,002	0,039	0,038	0,002	0,052	0,051	0,003	0,606	0,623
Error estándar	0,068	0,105	0,133	0,549	0,130	0,085	5,595	4,311	0,148	1,329	4,152	0,217

El cuadro 2 muestra que la banda de fertilización presentó los menores valores del pH. Así como el nivel más alto de Aluminio, que son los indicadores de la acidez de los suelos. Estos resultados evidencian el efecto de acidez inducida por los fertilizantes nitrogenados en las fincas evaluadas. Los resultados obtenidos permiten establecer medidas eficientes para corregir limitantes de

calidad de suelos en la producción. Al mismo tiempo provee al productor de tecnología que le permite ser más eficiente en el uso de los recursos. Esto promueve un manejo sostenible de la producción bananera con un menor impacto ambiental y con el consiguiente beneficio social derivado de una actividad estable y económicamente rentable.

Los resultados obtenidos indicaron que, efectivamente, existen variables químicas, físicas y microbiológicas de los suelos que indican su estado de salud y calidad. Además, que la respuesta en vigor y producción del cultivo del banano responde a las condiciones de esas variables en el suelo. El pH y la acidez, junto con desbalances en contra del calcio, por una saturación alta de potasio en los suelos y la retención de fosfatos en el primer horizonte fueron determinados como los principales indicadores químicos de la calidad de los suelos bananeros.

De todas y las que se presentaron con mayor recurrencia como determinantes la acidez y el pH de los suelos, pues a partir de los cambios en estas variables, se modificaron otras variables químicas y microbiológicas de los suelos. Además, el pH se relacionó con el vigor de las plantas en todos los sitios de muestreo (rizosfera, banda y entrecalle).

Se atribuyó al manejo histórico con una alta aplicación de fertilizantes sintéticos, principalmente nitrogenados de reacción ácida, la acumulación de acidez inducida y el bajo pH de los suelos. Este efecto causa desbalances por pérdidas de calcio y de magnesio; agravadas por una alta acumulación de potasio, otro elemento aplicado en altas cantidades en las plantaciones bananeras costarricenses. Al mismo tiempo, las poblaciones de microorganismos se ven limitadas por el efecto que el pH tiene sobre ellas, pues la actividad microbiológica se realiza en rangos determinados de pH.

En la segunda fase, a pesar de que los valores de pH de las fincas subieron respecto de la primera, posiblemente por la implementación de las recomendaciones del proyecto, siempre esta variable se relacionó con el vigor y la producción del cultivo. Además, se estableció que su impacto se da en todo el suelo de la plantación bananera. Por otra parte, se corroboró que mayores poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos se relacionan con un mayor vigor de la plantación bananera.

Desde el punto de vista de manejo de la plantación, se fortalecieron los criterios de manejo integrado de los programas de fertilización. Donde se incluyen medidas correctivas a problemas como la acidez inducida de los suelos, mediante la aplicación de enmiendas cálcico- magnésicas; así como medidas para incrementar la actividad microbiológica de los suelos como la incorporación de compost y bocashi. Otras medidas recomendadas son de carácter preventivo, como la aplicación de fertilizantes nitrogenados con baja acidez residual.

En función de los objetivos del proyecto se elaboraron varias publicaciones entre las que se encuentra una Guía de diagnóstico de la calidad y salud de suelos bananeros, además de tres artículos y ponencias en el congreso ACORBAT 2006, que se realizó en Brasil. Los datos de la segunda fase forman parte de una tesis de maestría pronta a ser publicada.

La difusión a nivel latinoamericano de la información generada en este proyecto es de alto impacto positivo, pues la tecnología generada puede ser adaptada a cada realidad de la producción bananera de Latinoamérica y el Caribe con el consiguiente beneficio económico, social y ambiental. Por otra parte, los logros de este proyecto permiten visualizar nuevas líneas de investigación para la generación de tecnología que asegure a futuro un manejo más sostenible del cultivo de banano.

3) ANALISIS PROSPECTIVOS

En Costa Rica se consolidó una alianza estratégica entre instituciones de investigación y universidades tales como la Corporación Bananera Nacional de Costa Rica (CORBANA), Universidad De Costa Rica (UCR) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Especial importancia tuvo el rol de CORBANA, debido a que el personal científico de esta institución realizó la mayoría de las actividades de campo y análisis de laboratorio relacionados con el diagnóstico de las fincas. Asimismo, CORBANA experimentó cambios sustanciales en la agenda de investigación y en los servicios que ofrece a sus socios como consecuencia de la implementación de este proyecto. A continuación se describen los cambios:

- Por primera vez se realizó un diagnóstico completo de fincas de banano en Costa donde que hiciera análisis físicos, químicos y sobretodo microbiológicos. Además se logró determinar los 17 indicadores relacionados con la calidad y salud de los suelos bananeros. Estos indicadores están siendo usados como estándares para evaluar las fincas comerciales en Costa Rica.
- Creación de una unidad de microbiología de suelos, lo cual generó la apertura de una nueva plaza para estudios de micro artrópodos y se contrató un experto en micro artrópodos.
- Formación de capacidades. CORBANA decidió formar un científico en microbiología de suelos, enfocado a estudios de microorganismos, bacterias, hongos y actinomicetos y su relación con aspectos físicos y químicos de la rizosfera. El estudiante ha sometido su tesis a la UCR para su sustentación. Este mismo estudiante ya tiene un cupo para realizar estudios doctorales en la Universidad de Wageningen el próximo año.
- Creación de un moderno laboratorio de biocontrol de plagas en banano. Por influencias directas e indirectas de los resultados de investigación de poblaciones de la rizosfera en banano, se creó un laboratorio de biocontrol con un valor de más 1.5 millones de dólares americanos. Se espera que en este laboratorio se reproduzcan comercialmente hongos y bacteria endofíticas, así como otros microorganismos antagonistas de nematodos, Sigatoka e insectos.

4) PUBLICACIONES Y OTROS PRODUCTOS

- 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. *In* Soprano, E; Adami, F; Lichtemberg, L; Silva, M. eds. XVII Reunión Internacional ACORBAT (2006, Joinville, Brasil). Joinville, Brasil. p. 207- 221.
- Acuña, O; Peña, W; Serrano, E; Pocasangre, L; Delgado, E; Trejos, J; Segura, A. 2006. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de los suelos. *In* , E; Adami, F; Lichtemberg, L; Silva, M. eds. XVII Reunión Internacional ACORBAT (2006, Joinville, Brasil). Joinville, Brasil. p. 222- 233.
- Riveros, A; Rosales, F; Romero, J; Romero, C; Jiménez, M; Jiménez, R; Acuña, O; Tabora, P; Segura, R; Pocasangre, L; Villalobos, M. 2006. Estandarización de enmiendas orgánicas para banano en América Latina y el Caribe. *In* Soprano, E; Adami, F;

Lichtemberg, L; Silva, M. eds. Memorias de la XVII Reunión Internacional ACORBAT, realizada en Joinville, Brasil, 15-20 de octubre de 2006. p. 234- 240.

- Rosales, F; Pocasangre, L; Trejos, J; Serrano, E; Peña, W. 2008. Guía de diagnóstico de la calidad y salud de suelos bananeros.. Rosales, F. ed. San José, Costa Rica. 79 p.

5) EJECUCIÓN DEL PRESUPUESTO

FONTAGRO aprobó un presupuesto total a CORBANA de US\$ 29,000. Considerando que CORBANA, realizó la mayoría de las actividades de pre diagnóstico y diagnóstico de adjudicó el 100% de los fondos a la primera fase del proyecto. El presupuesto transferido a CORBANA fue de US\$ 27,000 y se gastó en actividades relacionadas con el pre diagnóstico y diagnóstico de las fincas, así como en apoyo de campo y laboratorio, y estudiantes sumando un subtotal de USD \$17,102.5. Adicionalmente se gastó, materiales y reactivos para análisis de laboratorio la suma de US\$10,000 para un total de USD\$27,102.5. Por lo tanto, hubo una ejecución del 100% de los fondos transferidos y con un gasto adicional de US\$102.5. El diferencial de lo aprobado y lo transferido se utilizó para la participación de 2 científicos de CORBANA en la reunión de cierre del proyecto realizada en mayo del 2009 en el CATIE.

En relación a la contrapartida o contribución de CORBANA a la ejecución del proyecto fue de un total de US\$132,650. Principalmente este monto fue cargado a los centros de costo de personal científico y técnico, costos operativos, depreciación de equipos, gastos misceláneos y publicaciones. Para más detalles del gasto de ejecución del presupuesto de informes financieros del proyecto ver CD 6.

DATOS DE PASAPORTE DE LAS FINCAS

IDENTIFICACIÓN DE LA FINCA CALINDA

País: Costa Rica

Estado ó Provincia: Limón

****Latitud norte:** 10.32149

****Longitud oeste:** 83.60914

****Altitud (m.s.n.m.):** 30

CARACTERÍSTICAS

Superficie de la finca en ha: 285

Superficie sembrada con banano en ha: 285

Tipo de suelo predominante (arcilloso, arenoso, franco, etc.): Franco/ Franco arcilloso

Aplica riego: SI o NO: no

Tipo de sistema de producción (Orgánico, Convencional, Exportación, Mercado local o subsistencia): Convencional

Tipo de cultivar predominante: Gran Enano

Rendimiento promedio en Toneladas/ha: 60

CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS

Precipitación promedio anual: 4161 mm

****Duración y meses de ocurrencia del período seco:** mar, abr, set, oct

***Duración y meses de ocurrencia del período húmedo:** nov, dic, ene, feb, may, jun, jul, ago

Temperatura promedio anual: 25,6°C

***Temperatura mínima promedio anual:** 20,7°C

***Temperatura máxima promedio anual:** 33,4°C

Humedad relativa promedio anual: 85%

IDENTIFICACIÓN DE LA FINCA CARTAGENA

País: Costa Rica

Estado ó Provincia: Limón

****Latitud norte:** 10.26153

****Longitud oeste:** 83.63668

****Altitud (m.s.n.m.):** 45

CARACTERÍSTICAS

Superficie de la finca en ha: 63

Superficie sembrada con banano en ha: 63

Tipo de suelo predominante (arcilloso, arenoso, franco, etc.): Franco y Franco arenoso

Aplica riego: SI o NO: no

Tipo de sistema de producción (Orgánico, Convencional, Exportación, Mercado local o subsistencia): Convencional

Tipo de cultivar predominante: Gran Enano

Rendimiento promedio en Toneladas/ha: 80

CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS

Precipitación promedio anual: 3014 mm

*Duración y meses de ocurrencia del período seco: mar, abr, set, oct

*Duración y meses de ocurrencia del período húmedo: nov, dic, ene, feb, may, jun, jul, ago

Temperatura promedio anual: 25,5°C

*Temperatura mínima promedio anual: 20,6°C

*Temperatura máxima promedio anual: 33,3°C

Humedad relativa promedio anual: 85%

IDENTIFICACIÓN DE LA FINCA EL ESFUERZO

País: Costa Rica

Estado ó Provincia: Limón

****Latitud norte:** 10.08295

****Longitud oeste:** 83.36691

****Altitud (m.s.n.m.):** 25

CARACTERÍSTICAS

Superficie de la finca en ha: 193

Superficie sembrada con banano en ha: 193

Tipo de suelo predominante (arcilloso, arenoso, franco, etc.): Franco-Arcilloso, Arcilloso liv.

Aplica riego: SI o NO: no

Tipo de sistema de producción (Orgánico, Convencional, Exportación, Mercado local o subsistencia): Convencional

Tipo de cultivar predominante: Gran Enano

Rendimiento promedio en Toneladas/ha: 55

CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS

Precipitación promedio anual: 2893 mm

*Duración y meses de ocurrencia del período seco: mar, abr, set, oct

*Duración y meses de ocurrencia del período húmedo: nov, dic, ene, feb, may, jun, jul, ago

Temperatura promedio anual: 25,2°C

*Temperatura mínima promedio anual: 20,8°C

*Temperatura máxima promedio anual: 31,7°C

Humedad relativa promedio anual: 91%

IDENTIFICACIÓN DE LA FINCA LAS JUNTAS

Nombre de la finca: Las Juntas

País: Costa Rica

Estado ó Provincia: Limón

****Latitud norte:** 10.35206

****Longitud oeste:** 83.71822

****Altitud (m.s.n.m.):** 45

CARACTERÍSTICAS

Superficie de la finca en ha: 91

Superficie sembrada con banano en ha: 91

Tipo de suelo predominante (arcilloso, arenoso, franco, etc.): Franco y Franco arenoso
Aplica riego: SI o NO: no
Tipo de sistema de producción (Orgánico, Convencional, Exportación, Mercado local o subsistencia): Convencional
Tipo de cultivar predominante: Valery
Rendimiento promedio en Toneladas/ha: 45

CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS

Precipitación promedio anual: 3107 mm
*Duración y meses de ocurrencia del período seco: mar, abr, set, oct
*Duración y meses de ocurrencia del período húmedo: nov, dic, ene, feb, may, jun, jul, ago
Temperatura promedio anual: 24,3°C
*Temperatura mínima promedio anual: 19,3°C
*Temperatura máxima promedio anual: 30,8°C
Humedad relativa promedio anual: 89%

IDENTIFICACIÓN DE LA FINCA PALO VERDE 1

País: Costa Rica
Estado ó Provincia: Limón
****Latitud norte:** 10.04534
****Longitud oeste:** 83.22190
****Altitud (m.s.n.m.):** 7

CARACTERÍSTICAS

Superficie de la finca en ha: 346
Superficie sembrada con banano en ha: 346
Tipo de suelo predominante (arcilloso, arenoso, franco, etc.): Franco Arcilloso, Arcilloso liv.
Aplica riego: SI o NO: no
Tipo de sistema de producción (Orgánico, Convencional, Exportación, Mercado local o subsistencia): Convencional
Tipo de cultivar predominante: Gran Enano
Rendimiento promedio en Toneladas/ha: 70

CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS

Precipitación promedio anual: 3313 mm
*Duración y meses de ocurrencia del período seco: mar, abr, set, oct
*Duración y meses de ocurrencia del período húmedo: nov, dic, ene, feb, may, jun, jul, ago
Temperatura promedio anual: 25,5°C
*Temperatura mínima promedio anual: 21,1°C
*Temperatura máxima promedio anual: 32,7°C
Humedad relativa promedio anual: 82%

IDENTIFICACIÓN DE LA FINCA SAN PABLO

País: Costa Rica

Estado ó Provincia: Limón

****Latitud norte: 10.11266**Longitud oeste: 83.38163**

****Altitud (m.s.n.m.): 25**

CARACTERÍSTICAS

Superficie de la finca en ha: 261

Superficie sembrada con banano en ha: 261

Tipo de suelo predominante (arcilloso, arenoso, franco, etc.): Franco arcillo limoso

Aplica riego: SI o NO: no

Tipo de sistema de producción (Orgánico, Convencional, Exportación, Mercado local o subsistencia): Convencional

Tipo de cultivar predominante: Valery

Rendimiento promedio en Toneladas/ha: 52

CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS

Precipitación promedio anual: 2893 mm

*Duración y meses de ocurrencia del período seco: mar, abr, set, oct

*Duración y meses de ocurrencia del período húmedo: nov, dic, ene, feb, may, jun, jul, ago

Temperatura promedio anual: 25,2°C

*Temperatura mínima promedio anual: 20,8°C

*Temperatura máxima promedio anual: 31,7°C

Humedad relativa promedio anual: 91%