

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA
CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADUADOS**

**EFFECTO DE LA PRODUCCIÓN ORGÁNICA Y CONVENCIONAL DE CHILE
DULCE (*Capsicum annuum*) BAJO INVERNADERO SOBRE EL COMPONENTE
PLANTA-SUELO EN EL CANTÓN DE ALFARO RUIZ, COSTA RICA**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Agricultura Ecológica

Por

Rubén Darío Samaniego Sánchez

Turrialba, Costa Rica, 2006

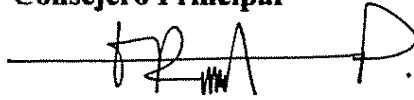
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Agricultura Ecológica

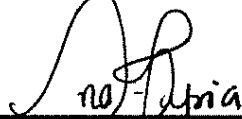
FIRMANTES:



Gabriela Soto, M.Sc.
Consejero Principal



Galileo Rivas, Ph.D.
Miembro del Comité Consejero



Ana Tapia, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero



Eduardo Hidalgo, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Rubén Darío Samaniego Sánchez
Candidato

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la oportunidad de vivir esta experiencia.

A mis padres Rubén y Olga, por todo su apoyo, dedicación y por impulsarme a alcanzar mis metas.

A mi abuela por todo lo que ella representa para mí.

A mi hermana Marilett a mis sobrinos Gerardito y Patricia por su apoyo y inspiración.

A mi novia Milena por todo su amor y comprensión.

A toda mi familia y a mi Panamá.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado la oportunidad de vivir esta experiencia y la salud necesaria para completar los estudios. A mis profesores consejeros, Gabriela Soto MSc., Galileo Rivas Ph.D., Ana Tapia MSc. y Eduardo Hidalgo MSc., por su gran paciencia, sus comentarios oportunos y su apoyo incondicional.

A los productores del Cantón de Alfaro Ruiz que participaron en este estudio y que me abrieron las puertas de sus fincas. A los productores de APODAR que me brindaron su apoyo.

Al IDIAP por darme la oportunidad de realizar este programa de maestría que ayudara al desarrollo del capital humano de nuestra institución, en beneficio de nuestra región y país.

A los funcionarios del CATIE que de una forma u otra colaboraron en la realización de este estudio.

A todos mis compañeros que me apoyaron en todo momento y en especial a Julia por ser una excelente persona, compañera y amiga.

A María y Juan José del laboratorio de biología de la UCR Turrialba, a Manrique del laboratorio de fitopatología del CATIE, por toda su colaboración.

A mis padres Rubén y Olga por todo su apoyo y a todos mis familiares que elevaron una oración para que yo pudiera culminar con éxitos mis estudios.

A mi novia Milena por todo el apoyo y comprensión que me brindo durante mis estudios.

BIOGRAFÍA

El autor nació en Chitré (Panamá) el 15 de agosto de 1974. Realizó sus estudios de grado en la Escuela Agrícola Panamericana (Zamorano), graduándose como Ingeniero Agrónomo en 1998. Es miembro del equipo de investigadores del Programa de Arroz del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO.....	VI
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY.....	X
ÍNDICE DE CUADROS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
Lista de unidades, abreviaturas y siglas.....	XV
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos del estudio.....	3
1.1.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.2 Hipótesis del estudio.....	4
2 Marco conceptual.....	5
2.1 Impacto de la agricultura sobre el suelo.....	5
2.2 Agricultura orgánica.....	5
2.3 Producción en invernadero.....	7
2.4 El cultivo chile dulce.....	7
2.4.1 <i>Producción orgánica de chile dulce</i>	8
2.5 La salud y calidad del suelo.....	9
2.5.1 <i>Características de los indicadores de calidad y salud del suelo</i>	10
2.5.2 <i>Descripción de los indicadores de salud y calidad del suelo</i>	10
2.6 Microorganismos de montaña.....	16
2.7 Control biológico de hongos.....	17
2.8 Microorganismos del suelo y rizosfera.....	18
2.8.1 <i>Hongos de la rizosfera</i>	18
2.8.2 <i>Rizobacterias</i>	19
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1 Descripción del área de estudio.....	20
3.2 Selección y caracterización de las fincas.....	21
3.2.1 <i>Caracterización de suelo y nutrientes a nivel foliar</i>	21
3.3 Muestreo y análisis de la humedad del suelo.....	22
3.4 Muestreo y análisis de densidad aparente (DA).....	23
3.5 Muestreo y análisis de las variables biológicas de suelo.....	23
3.5.1 <i>Nematodos</i>	23

3.5.2	<i>Micorrizas</i>	23
3.5.3	<i>Recuento de poblaciones totales de microorganismos de la rizosfera</i>	24
3.5.4	<i>Índices de biodiversidad</i>	25
3.6	Inoculantes Microbianos.....	25
3.7	Determinación de potencial de promoción de crecimiento de microorganismos.....	26
3.7.1	<i>Evaluación en invernadero de promotores de crecimiento</i>	26
3.7.2	<i>Tratamientos</i>	27
3.7.3	<i>Preparación y aplicación de inóculo</i>	27
3.8	Diseño y Análisis estadístico.....	28
4	RESULTADOS.....	30
4.1	Análisis de las encuestas.....	30
4.1.1	<i>Manejo del suelo</i>	30
4.1.2	<i>Riego</i>	31
4.1.3	<i>Manejo de plagas</i>	32
4.1.4	<i>Comercialización</i>	32
4.2	Análisis químicos.....	33
4.2.1	<i>Análisis de nutrientes a nivel foliar</i>	33
4.2.2	<i>Análisis de nutrientes a nivel de suelo</i>	34
4.2.3	<i>Densidad aparente</i>	35
4.2.4	<i>Humedad del suelo</i>	35
4.3	Análisis biológicos.....	36
4.3.1	<i>Nematodos</i>	36
4.3.2	<i>Hongos Micorrícicos</i>	36
4.3.3	<i>Recuento de poblaciones totales de microorganismos de la rizosfera</i>	37
4.3.4	<i>Índices de biodiversidad</i>	38
4.4	Poblaciones totales de los inoculantes microbianos.....	39
4.4.1	<i>Hojarasca</i>	39
4.4.2	<i>MM Sólido</i>	39
4.4.3	<i>MM Líquido</i>	40
4.4.4	<i>Identificación de microorganismos en los inoculantes</i>	42
4.5	Evaluación de promotores del crecimiento en invernadero.....	43
5	DISCUSIÓN.....	45
5.1	Aspectos generales de la producción de chile dulce bajo invernadero.....	45
5.2	Nutrientes a nivel foliar.....	46
5.3	Características físicas y químicas de suelo.....	47
5.4	Componentes biológicos.....	49
5.5	Caracterización de los inoculantes microbianos MM.....	53
5.5.1	<i>Inocuidad y calidad de los inoculantes microbianos</i>	56
5.6	Promotores de crecimiento.....	57
6	CONCLUSIONES.....	59
7	RECOMENDACIONES.....	60
8	BIBLIOGRAFÍA.....	62
	ANEXOS.....	73

Samaniego Sánchez, RD. 2006. Efecto de la producción orgánica y convencional de chile dulce (*Capsicum annuum*) bajo invernadero sobre el componente planta-suelo en el cantón de Alfaro Ruiz, Costa Rica. Tesis Mag. Sci., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Palabras Claves: Nematodos, hongos micorrícicos, Microorganismos de la rizosfera, inoculantes microbianos, microorganismos de montaña, Indicadores de calidad y salud de suelo.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en seis invernaderos ubicados en el cantón de Alfaro Ruiz, provincia de Alajuela, Costa Rica, donde se estudiaron comparativamente los sistemas de producción orgánica y convencional de chile dulce y su impacto en el componente planta suelo. La selección y caracterización de las fincas se hizo con base en encuestas que incluyeron detalles sobre el manejo de las mismas. Los criterios para selección de las fincas incluyeron: tener ó cultivar chile dulce en producción y como mínimo tres años produciendo bajo el sistema orgánico o convencional. Las variables comparadas fueron: población de nematodos, porcentaje de colonización de los hongos micorrícicos y poblaciones totales de microorganismos de la rizosfera; densidad aparente (DA), porcentaje de humedad, materia orgánica (MO), análisis foliar y análisis químico del suelo. Además, se caracterizaron los inoculantes microbianos (MM) utilizados por la Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz (APODAR). Se evaluó el potencial de crecimiento del chile dulce por efecto de los microorganismos aislados de la rizosfera y de los inoculantes microbianos utilizados por los productores. Tanto los productores orgánicos como convencionales aplican abonos orgánicos para formar la cama de siembra del chile dulce, adicionando los convencionales además fertilizantes sintéticos. Los productores orgánicos basan el manejo de las plagas en la rotación de cultivos, el uso de microorganismos benéficos y el manejo del suelo y la nutrición del cultivo; en cambio los convencionales se fundamentan en el de productos sintéticos. Los productores convencionales reciben sobreprecio por la calidad del producto, sin embargo los orgánicos además de recibir sobreprecio por calidad también reciben por ser producidos de forma orgánica. No se encontró diferencias entre el nivel de nutrición a nivel foliar del chile

dulce y en cuanto a nivel de suelo el Mg fue el único elemento que mostró diferencia significativa ($p = 0.0310$) siendo mayor en el manejo orgánico. El porcentaje de humedad fue significativamente mayor ($p = 0.0298$) en los invernaderos con producción convencional y en cuanto a la densidad aparente no se encontró diferencias significativas. No se encontraron diferencias entre los tratamientos para la población de nematodos, población total de bacterias y hongos de la rizosfera y de los índices de biodiversidad de géneros de hongos de la rizosfera. En el manejo orgánico fue significativamente mayor el porcentaje de colonización de los hongos micorrícicos ($p = 0.0498$) y la población total de actinomicetes de la rizosfera ($p = 0.0009$). La poblaciones de los inoculantes de APODAR fueron estables en poblaciones de bacterias, actinomicetes y hongos en cuanto al el género *Penicillium* spp fue el más dominante en la hojarasca, MM sólido y MM líquido y bacterias del grupo de las Bacilo Gram + fueron las más predominantes en los inoculantes microbianos. En las pruebas de crecimiento en invernadero sobre plantas de chile dulce no se observó efecto de las aplicaciones de los microorganismos aislados de la rizosfera del sistema orgánico y convencional ni de los inoculantes producidos por APODAR. Se puede concluir que con los indicadores evaluados se encontraron mínimas diferencias entre el manejo orgánico y convencional de este estudio, en gran parte debido al impacto que sobre el manejo convencional han tenido la aplicación de abonos orgánicos, tan frecuente entre productores convencionales en la zona de estudio.

Samaniego Sánchez, RD. 2006. The impact of greenhouse conventional and organic pepper (*Capsicum annuum*) over the soil-plant component, in Alfaro Ruiz, Costa Rica. Tesis Mag. Sci., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Key words: nematodes, mycorrhizae, rhizosphere microorganisms, microbial inoculants, mountain microorganisms, soil quality indicators, soil health indicators.

SUMMARY

Organic and conventional red peppers were comparatively studied as well as their impact on the plant-soil component in Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica. Surveys and field visits were used to select and characterize the farms included in the study. To select the farms the following criteria were used: to have red pepper in production at the time of the study, to plant under conventional or organic system for at least three years prior to the study. The variables were: nematode population, percentage of mycorrhizae colonization, total population of rhizosphere microorganism, soil density, percentage humidity, organic matter (OM), tissue nutrient content and soil fertility. Also, the microbial inoculum Mountain Microorganisms (MM) produced by the Organic Farmers Association of Alfaro Ruiz (APODAR) was characterized. Microorganisms isolated from the rhizosphere of organic and conventional pepper were evaluated as growth promoters in a greenhouse experiment. Farms' characterization showed that organic as well as conventional farmers apply organic fertilizers and MM. Pest control strategies used by the organic farmers consist of crop rotation, use of beneficial microorganism, soil management and plant nutrition; conventional producers base their pest management on the use of synthetic pesticides. The conventional farmers obtain premium prices based on product quality, while the organic farmers obtain quality premiums plus organic premiums. Differences were not found in leaf tissue nutrients between organic and conventional. Soil fertility showed significance difference ($p = 0.0310$) only with Mg, with higher levels in the organic systems. The percentage humidity was significantly higher ($p = 0.0298$) in the conventional greenhouses due to a higher irrigation frequency. No significant differences were found on soil density, nematode population, total rhizosphere bacteria and fungi counts, and biodiversity index (Shannon) of rhizosphere fungi. Organic systems showed a higher percentage of colonization of micorrhizal fungi ($p = 0.0498$) and total rhizosphere actinomycetes counts ($p = 0.0009$). The APODAR's inoculants had a constant bacterium, actinomycetes and fungi count. *Penicillium* spp was the dominant fungi in the litter where the inoculant's is made of, in the mountain microorganism (MM) and liquid (MM)

inoculant's. And Gram positive bacteria were dominant in the microbial inoculants. In the greenhouse, no impact of any of inoculants was observed. It can be concluded that nutritional levels on soil and leaf tissue of organic and conventional pepper showed no difference, however, microbial indicators show a higher population on organic soils, suggesting that organic managed systems have achieved similar nutritional level as conventional systems with improved soil life. The application of organic fertilizers has become very popular between organic and conventional farmers in the study area.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Codificación y características de los productores seleccionados en el estudio de la zona de Alfaro Ruiz.	21
Cuadro 2. Los contrastes ortogonales de los tratamientos de promoción de crecimiento.	29
Cuadro 3. Tipo y cantidades de fertilizantes y enmiendas utilizados por los productores orgánicos y convencionales. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.	31
Cuadro 4. Productos utilizados para el control de plagas en el cultivo de chile dulce en los sistemas orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.	32
Cuadro 5. Contenido foliar de nutrientes en chile dulce var. Nataly de los invernaderos orgánicos y convencionales estudiados. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.	33
Cuadro 6. Contenido promedio de nutrientes foliares en chile dulce bajo el sistema de manejo orgánico y el convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica y niveles críticos según CIA y UCR (2002).	34
Cuadro 7. Características químicas y análisis de varianza de las variables de los suelos de cada invernadero. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.	34
Cuadro 8. Contenido promedio de nutrientes del suelo en chile dulce bajo sistemas de manejo orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica y niveles críticos según Bertsch (1998).	35
Cuadro 9. Valores de densidad aparente (DA) de los invernaderos con manejo orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.	35
Cuadro 10. Contenido de humedad (%) del suelo en chile dulce bajo los sistemas de manejo orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.	36
Cuadro 11. Número promedio de nematodos a nivel de suelo y raíz en chile dulce bajo los sistemas de manejo orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.	36
Cuadro 12. Poblaciones de microorganismos de la rizosfera de chile dulce orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.	37
Cuadro 13. Bacterias aisladas de la rizosfera de chile dulce orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.	38

Cuadro 14. Géneros de hongos aislados de la rizosfera del chile dulce orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.	38
Cuadro 15. Índices de biodiversidad de géneros de hongos de suelo en sistemas de manejo orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.	39
Cuadro 16. Población de hongos encontrados en los inoculantes microbianos de Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz.	42
Cuadro 17. Bacterias encontradas en los diferentes inoculantes microbianos los productores de APODAR, APROZONOC y APOT.	43
Cuadro 18. Crecimiento de plántulas de 2.5 meses de chile dulce como respuesta a la aplicación de promotores de crecimiento aislados de la rizosfera de sistemas de manejo orgánico y convencional.. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio de los productores orgánicos y convencionales de la zona de Alfaro Ruiz.	20
Figura 2. Ubicación de los tratamientos de promoción de crecimiento dentro del invernadero.	27
Figura 3. Porcentaje de colonización de los hongos micorrícicos de la raíz de chile dulce a diferente profundidad y bajo los sistemas de manejo orgánico y convencional en la zona de Zarcero de Alfaro Ruiz.	37
Figura 4. Población de microorganismos en la hojarasca del bosque que se usa para preparar el MM sólido de la Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz en los diferentes meses de muestreo.	39
Figura 5. Población de microorganismos encontrados en el MM sólido preparado por la Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz, en tres diferentes épocas de muestreo.	40
Figura 6. Población de microorganismos en el MM líquido producido por la Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz en los meses estudiados.	41
Figura 7. Poblaciones de microorganismos en los diferentes inoculantes usados por Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz. Las bacterias anaeróbicas no se cuantificaron del biofermento.	41

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

ADE:	Agua destilada estéril
APODAR:	Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz
APOT:	Productores Orgánicos de Turrialba
APROZONOC:	Asociación de Productores Orgánicos de la Zona Norte de Cartago
CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza
DA:	Densidad aparente
FAO:	<i>Food and Agriculture Organization</i>
IFOAM:	<i>International Federation of Organic Agricultural Movements</i> (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica)
MM:	Microorganismos de montaña
MO:	Materia orgánica
NOP:	<i>National Organic Program</i> (Programa Orgánico Nacional del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos)
PDA:	Papa dextrosa agar
PGPR:	<i>Promote Growth Plant Rhizobacterias</i> (Rizobacterias promotoras del crecimiento en las plantas)
UFC:	Unidades formadores de colonias
UCR:	Universidad de Costa Rica

1 INTRODUCCIÓN

Las hortalizas constituyen uno de los grupos de vegetales sobre los que el hombre ha intervenido de forma más amplia modificando en diversos aspectos las condiciones en que es posible el desarrollo de las plantas, creando agroecosistemas o ecosistemas artificiales (Garijo y García 1991). Entre las hortalizas más importantes del mundo se encuentra el chile (*Capsicum* spp), debido a sus múltiples usos. Aparte del consumo en fresco, cocido, o como un condimento o "especia" en comidas típicas de diversos países, existe una gran gama de productos industriales que se usan en la alimentación humana: congelados, deshidratados, encurtidos, enlatados, pastas y salsas (Loayza 2001). En el mundo se producen aproximadamente más de veinticuatro millones de toneladas y en Costa Rica 1.760 toneladas de chile dulce (FAO 2004).

Dentro de estas modificaciones a los agroecosistemas, el suelo ha jugado un rol fundamental en la producción, siendo un componente importante del equilibrio necesario, para mantener la productividad biológica, promover la calidad del agua, del aire, y la salud de las plantas, animales y seres humanos (Doran et ál. 1996). Sin embargo, el fácil acceso a los plaguicidas ha contribuido al uso excesivo en el control de plagas y enfermedades en el cultivo del chile dulce (CATIE 1993), provocando un desequilibrio y ocasionando la degradación de suelo, contaminación del ambiente y un efecto negativo en la salud de los consumidores y productores (Probst 1999).

La introducción del manejo agroecológico de los cultivos tiene como objetivo recobrar este equilibrio preservando la diversidad natural (Altieri, 1999). La agricultura orgánica se fundamenta en un manejo agroecológico de los recursos, logrando una interacción óptima entre el suelo, los animales y las plantas, conservando los nutrientes naturales y los ciclos de energía y potenciando la diversidad biológica. En agricultura orgánica se utilizan técnicas de protección y conservación del suelo y el agua tales como la rotación de los cultivos, los abonos orgánicos y las coberturas estimulando así la proliferación de una vigorosa población de microorganismos (FAO 1999).

Históricamente la introducción de nuevas tecnologías agropecuarias ha incrementado grandemente la productividad a corto plazo, pero en muchos casos también ha reducido en igual o mayor medida la estabilidad, equidad y sostenibilidad a largo plazo del agroecosistema

(Riechmann 2003). La búsqueda de modelos agrícolas sostenibles tendrá que combinar elementos del conocimiento científico, tradicional y moderno (Altieri 1999).

En Costa Rica, muchas de las tecnologías para la producción orgánica, han sido desarrolladas por los productores en sus fincas. Una de estas estrategias es un innovador inóculo microbiológico de alta eficiencia denominado microorganismos de montaña (MM), que actúa como biorregulador de patógenos y descomponedor de materia orgánica (MO) elaborado por la Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz (APODAR). Este material es una fuente rica en microorganismos, principalmente actinomicetos, levaduras, y otras bacterias descomponedoras de MO. Los agricultores lo preparan de forma sólida y líquida, en una base de suelo de bosque, semolina y melaza (Urtecho 2005).

Este inóculo es utilizado en el cultivo del chile dulce orgánico en sustitución de los productos sintéticos que se usan para controlar las enfermedades. Dados los buenos resultados observados por los productores de la Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz (APODAR), resulta importante conocer más sobre el sistema de manejo. El presente estudio analizó la influencia de los sistemas de manejo orgánico y convencional sobre características físicas, químicas y biológicas del suelo.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo General

Determinar la influencia de las prácticas de manejo de los sistemas de producción de chile dulce orgánico y convencional, producidos bajo invernadero, en el componente planta-suelo.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los sistemas de producción de chile dulce orgánico y convencional bajo invernadero en la zona de Zarcero.
- Comparar las características físicas y químicas del suelo de los sistemas de producción de chile dulce orgánico y convencional.
- Cuantificar y comparar las poblaciones de nematodos, el porcentaje de colonización de los hongos micorrícicos y las poblaciones totales de microorganismos de la rizosfera de los sistemas de producción de chile dulce orgánico y convencional.
- Caracterizar los inoculantes microbianos (MM) utilizados por la Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz (APODAR).
- Determinar el potencial de promoción del crecimiento del chile por efecto de microorganismos aislados de la rizosfera del chile dulce en ambos sistemas de manejo y los inoculantes microbianos producidos por APODAR.

1.2 Hipótesis del estudio

- Existe diferencia de las características físicas y químicas del suelo de los sistemas de producción de chile dulce orgánico y convencional.
- Existe diferencia en el nivel de las poblaciones de nematodos, el porcentaje de colonización de los hongos micorrícicos y las poblaciones totales de microorganismos de la rizosfera de los sistemas de producción de chile dulce orgánico y convencional.
- Los microorganismos aislados de la rizosfera del chile dulce y los inoculantes microbianos promueven el crecimiento y la producción de biomasa de las plantas de chile dulce.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Impacto de la agricultura sobre el suelo

Las prácticas agrícolas inciden en la actividad de los microorganismos al alterar parámetros físicoquímicos tales como la temperatura del suelo, la humedad, la aireación, el estado de oxido-reducción, el contenido y la composición de los gases del espacio poroso, la accesibilidad a los sustratos y el pH. Estos factores también repercuten sobre el crecimiento de las plantas, y directamente la actividad microbiana al variar el aporte de la materia orgánica a través de la cantidad y calidad de los residuos que ingresan al suelo, su disponibilidad para la degradación microbiana y los efectos rizosféricos (Ramírez 1996).

En 1992, el Proyecto de Asesoramiento Global de la Degradación de Suelo (GLASOD) patrocinado por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP), estimó que 38% de las tierras agrícolas a nivel mundial han sufrido degradación; esta causada por actividades de los seres humanos; aproximadamente 20% de estas tierras son moderadamente degradadas y 6% severamente degradadas (Oldeman 1992). La agricultura intensiva agotará rápidamente el suelo, causando su degradación, a menos que se adopten medidas de protección para restaurarlo y para aumentar la fertilidad. Por tanto, la tarea de la agricultura no debe reducirse a aumentar el producto biológico, sino abarcar el mantenimiento constante y el aumento de la fertilidad del suelo (Riechmann 2003).

2.2 Agricultura orgánica

Ante este evidente impacto sobre el suelo, la agricultura orgánica ha surgido como una alternativa que protege los recursos de producción (Castañeda 1999). La definición de la Comisión del Codex Alimentarius (FAO), para la agricultura orgánica “es un sistema global de gestión de la producción que fomenta y realza la salud de los agroecosistemas, inclusive la diversidad biológica, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo”. Lo característico de la agricultura orgánica, es que se basa en el uso mínimo de insumos externos, evita los fertilizantes y plaguicidas sintéticos, y se utilizan métodos para reducir al mínimo la contaminación del aire, suelo y el agua (FAO 2003).

Otra definición, la aporta la IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica), que define como agricultura orgánica o ecológica a todos los sistemas

agrícolas que promueven la producción sana y segura de alimentos y fibras textiles desde el punto de vista ambiental, social y económico. Estos sistemas parten de la fertilidad del suelo como base para una buena producción; respetando las exigencias y capacidades naturales de las plantas, los animales y el paisaje. Asimismo tratan de busca optimizar la calidad de la agricultura y el medio ambiente en todos sus aspectos. La agricultura orgánica reduce considerablemente las necesidades de aportes externos al no utilizar abonos químicos ni plaguicidas u otros productos de síntesis (IFOAM 2003).

El dinámico y atractivo mercado de los alimentos orgánicos ha estimulado mucho la reconversión de la agricultura convencional hacia la orgánica. Aunque la agricultura orgánica existe desde hace muchos años, en los setenta se elaboraron las primeras normas para su producción y no fue sino hasta los noventa cuando empezó a despegar. Más de 80% de la actual superficie orgánica se incorporó a este sistema a partir de los últimos años 10 años del pasado siglo. Este lento despegue se debe a los fuertes apoyos políticos y económicos a la agricultura convencional, la subestimación de las consecuencias negativas de la agricultura intensiva en el uso de químicos y la negación casi generalizada de opciones para la producción convencional (Gómez et ál. 2003).

Lo que distingue a la agricultura orgánica en términos del mercado, es que está reglamentada en virtud de diferentes normas y programas de certificación. Estas normas y reglamentos, además de establecer guías generales de producción, restringen y/o prohíben la mayor parte de los insumos sintéticos, tanto para fertilizar, como para controlar plagas y enfermedades. Sus enunciados proponen, por otro lado, un adecuado manejo del suelo con vistas a mantener y mejorar su fertilidad y estructura, que es la base de la producción (IFOAM 2003).

La agricultura orgánica certificada se practica aproximadamente en 120 países del mundo. Sin embargo, se puede asumir que la agricultura orgánica no certificada se ejerce en un mayor número de países. Según el último censo, más de 31 millones de hectáreas son manejadas de forma orgánica y por lo menos existen 623174 productores a nivel mundial (Willer y Yussefi 2004). El mercado para productos orgánicos no solo crece en Europa y Norteamérica sino también en muchos otros países. En Latinoamérica países como Argentina tienen más de 100000 hectáreas en producción orgánica, los mismos que empezaron con un nivel bajo y recientemente están experimentando tasas de crecimiento extraordinarias. En el caso de países como Uruguay, Costa Rica y Argentina la proporción de producción orgánica con respecto a

la agricultura convencional tiende a ser más alta. Actualmente Costa Rica cuenta con 13945 hectáreas con producción orgánica (IFOAM 2006), lo que representa el 3.18% del área agrícola del país (SEPSA 2004).

2.3 Producción en invernadero

Los sistemas de cultivo han evolucionado con la aplicación de nuevas técnicas sobre la base de la protección de las plantas frente a las condiciones climatológicas adversas. Por lo tanto, una tecnología que se empezó a usar fue la de los invernaderos, para elevar la producción y obtener productos de mejor calidad en condiciones alejadas de las naturales propias de cada especie (Garijo y García 1991).

La producción de cultivos bajo invernadero es una de las técnicas más modernas que se utilizan actualmente en la producción agrícola. La ventaja del sistema de invernadero sobre el método tradicional a cielo abierto, es que, bajo invernadero, se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo. Esta barrera crea un microclima que permite proteger el cultivo del viento, lluvia, plagas, enfermedades, hierbas y animales. Igualmente, esta protección permite al agricultor controlar la temperatura, la cantidad de luz y aplicar efectivamente control químico y biológico para proteger el cultivo (Montero et ál. 2005).

Es muy importante que el manejo que se de al cultivo dentro del invernadero sea adecuado ya que el uso de productos químicos para el control de plagas puede conducir a la contaminación de alimentos, del suelo y de los acuíferos. La aplicación en exceso de fertilizantes en el agua de riego puede producir la salinización del suelo. La producción de materias de desecho, principalmente de materiales de cubiertas envejecidos (polietileno) y de residuos orgánicos puede causar contaminación (Montero et ál. 2005).

2.4 El cultivo chile dulce

El chile pertenece a la familia de las Solanáceas (Solanaceae), que incluye plantas comestibles domésticas. El chile dulce o pimentón, es una forma poco picante de *Capsicum annuum* L. y es la principal forma cultivada del género *Capsicum*. Este género tuvo su origen en el continente americano, probablemente en lo que hoy comprende la parte sur de Brasil y sub central de Bolivia; pero es probable que la especie *C. annuum* haya sido domesticada en México (CATIE 1993).

Las hortalizas constituyen uno de los grupos de vegetales sobre los que el hombre ha intervenido de una forma más amplia sobre todo en el caso del chile dulce y el tomate, dado que ambas tienen una problemática sanitaria amplia. Modificando en diversos aspectos las condiciones en que es posible el desarrollo de las plantas, creando agroecosistemas o ecosistemas artificiales (Garijo y García 1991). Los rendimientos del chile dulce dependen del nivel tecnológico aplicado por los productores, de los factores climáticos y del manejo que se le da a las plagas (CATIE 1993).

2.4.1 Producción orgánica de chile dulce

La producción de hortalizas orgánicas se basa en el manejo de las enfermedades por medio del control biológico y la diversificación del agroecosistema y en el enriquecimiento del sistema suelo. Por lo tanto, las técnicas de cultivo orgánico incluyen el uso de enemigos naturales, la rotación de cultivos y el empleo de insecticidas naturales de rápida degradación. Además, este sistema considera que la gran mayoría de los organismos plagas de los cultivos pueden estar regulados a través del control biológico natural, es decir que su impacto sería menor, porque su cantidad es regulada por sus propios enemigos naturales (Mora 1994).

Para los productores orgánicos la resistencia a plagas y enfermedades es muy importante, en particular a las enfermedades de los sistemas radicales de las plantas en la producción en invernadero y del mildiu (*Phytophthora capsici*) en la producción al aire libre. En la producción al aire libre, el mildiu, *Phytophthora capsici*, han sido tradicionalmente controlados con la aplicación de sales de cobre; permitidas en la producción orgánica según las normas NOP (Estados Unidos). CEE (209291) (Unión Europea). La utilización de plaguicidas a base de cobre es un problema para la imagen de la producción biológica entre los consumidores y muchos minoristas exigen una producción sin la presencia de tal sustancia (Brandt et ál. 2005). También los consumidores están preocupados por las elevadas dosis de nitrógeno favorecen el desarrollo de enfermedades, mientras que dosis relativamente bajas parecen resultar en una mejor calidad del producto (sabor y resistencia a la podredumbre), pero también un tamaño más pequeño. Muchos consumidores creen que la producción intensiva en invernadero con elevados insumos de energía y altas dosis de fertilizantes va en contra los ideales de la producción orgánica (Brandt et ál. 2005).

En los últimos años en Costa Rica, la agricultura orgánica ha ido tomando relevancia debido primordialmente al deseo de los agricultores y consumidores de reducir las cantidades

de agroquímicos aplicados a productos para el consumo humano, a los altos costos de los agroquímicos y a la necesidad de incrementar la rentabilidad por área cultivada (García et ál. 1995).

2.5 La salud y calidad del suelo

La salud y la calidad del suelo son conceptos no nuevos, que en los últimos años ha adquirido aceptación paulatina entre productores, profesionales y científicos. Diferentes personas tienen controversias sobre el significado real de cada término y otros los usan indistintamente (Bautista et ál. 2004). En la definición más estricta, “salud del suelo” sería la minimización del número y actividad de insectos nocivos y de patógenos de plantas en el suelo. La salud de los suelos es definida como “la capacidad de un suelo para funcionar dentro de un ecosistema, para una productividad biológicamente sostenible, manteniendo la calidad y promoviendo la salud de las plantas y los animales (Doran y Parkin 1996). Esta definición indica la necesidad de que el suelo funcione como un sistema vital para sostener la productividad biológica, promover la calidad ambiental y mantener la salud vegetal y animal. Para nosotros la “salud del suelo” enfatiza una propiedad única de sistemas biológicos, ya que los componentes inertes no pueden estar enfermos o saludables (Trutmann 2002).

De esta manera, el manejo de la salud del suelo se hace sinónimo al “manejo de la porción viviente del suelo para mantener las funciones esenciales del suelo para sostener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire, y promover la salud vegetal y animal” (Trutmann 2002). Se asume que un suelo saludable es aquel que posee una cadena trófica intacta, es decir que todas las posiciones en la cadena alimenticia estén presentes y funcionen apropiadamente (Nieher 2001).

La calidad y la salud de suelo son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos (Doran y Parkin 1994). La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo. Este concepto ha sido relacionado con la capacidad del suelo para funcionar. Incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Simultáneamente se utiliza la calidad de suelo como un instrumento que sirve para comprender la utilidad y la salud de este recurso (Bautista et ál. 2004).

El término calidad de suelo se empezó a acotar al reconocer la triple funcionalidad del suelo: 1) promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); 2) atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y 3) favorecer la salud de las plantas, animales y humanos (Doran y Parkin 1994, Karlen et ál. 997).

2.5.1 Características de los indicadores de calidad y salud del suelo

La calidad y salud del suelo abarca los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones. Por esto, para captar la naturaleza holística de la calidad o salud del suelo deberán ser medidos todos estos parámetros. Sin embargo, no todos los parámetros tienen la misma relevancia para todos los suelos o situaciones (Luters y Salazar 2000).

Según Doran y Parkin (1994) los indicadores de calidad y salud de suelo deben cumplir las siguientes condiciones: a) describir los procesos del ecosistema; b) integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; c) reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir; d) ser sensitivos a variaciones de clima y manejo; e) ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo; f) ser reproducibles; g) ser fáciles de entender; h) ser sensitivos a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica; y i) cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

2.5.2 Descripción de los indicadores de salud y calidad del suelo

2.5.2.1 La materia orgánica del suelo

La materia orgánica (MO) es una mezcla de compuestos heterogéneos con base de carbono, que están formados por la acumulación de residuos de origen animal y vegetal parcial o completamente descompuestos, de sustancias sintetizadas microbiológica y/o químicamente, del conjunto de microorganismos vivos y muertos y de animales pequeños que aun faltan por descomponer (Allison 1973).

El componente orgánico es muy importante en el suelo debido a su participación en los procesos de intercambio iónico, de estabilidad estructural y otras características físicas y químicas, y lógicamente el conglomerado de reacciones ligadas a los organismos del suelo. Además, es el sustrato para el desarrollo de poblaciones de micro, meso y macroorganismos

en el suelo, los cuales interactúan a nivel de los cultivos. Muchos de ellos son antagonistas de organismos fitopatógenos o bien de tipo simbiótico (micorrizas, bacterias fijadoras de nitrógeno) (Henríquez y Cabalceta 1999, Karlen et ál. 1992).

El contenido de MO responde bien a las prácticas de manejo, tales como la labranza, la rotación de cultivos, la aplicación de fertilizantes, y el manejo de los residuos, por lo cual ha sido utilizado como un buen indicador de calidad de suelos (Pankhurst 1995).

2.5.2.2 Humedad del suelo

El agua es el otro componente que junto con el aire ocupa el espacio de poros del suelo o porosidad total. La cantidad variable de agua contenida en una masa o volumen del suelo son factores que afectan el crecimiento de las plantas. La humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas como densidad aparente, espacio aéreo, compatibilidad, resistencia al corte y a la penetración, intercambio gaseoso, entre otras, afectando de esta forma: respiración de raíces, actividad de microorganismos, estado químico del suelo (potencial redox) (Henríquez y Cabalceta 1999). Por esta razón se ha utilizado para explicarlo que está ocurriendo a nivel del suelo y es usado directa o indirectamente como un indicador de calidad o salud del suelo (Bautista et ál. 2004).

La humedad gravimétrica es la forma más sencilla de medir el agua en el suelo y se refiere a la masa de agua con relación a la masa de suelo seco y es expresada en porcentaje (Rodríguez y Rodríguez 2002).

2.5.2.3 Densidad aparente

Las propiedades físicas pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo, ya que reflejan la manera en que el suelo acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil. Una de las variables que más explica la relación entre las partículas y los poros es la densidad aparente, que refleja en gran medida el manejo que se le ha dado al suelo (Singer y Ewing 2000).

La densidad aparente es el peso del suelo para un volumen determinado, se la utiliza para medir compactación. En un suelo bajo manejo convencional, esta variable puede alcanzar un nivel que se torne imposible de penetrar para la mayoría de las raíces. Se considera que una densidad aparente de $1,6 \text{ g/cm}^3$ es el límite para el desarrollo de los cultivos. La alta densidad

del suelo no solo afecta el desarrollo radical directamente sino también dificulta el buen drenaje de estos suelos concentrándose en las capas superiores la humedad lo que afecta la circulación del agua del suelo y aumenta el riesgo a la erosión (Primavesi 1984). La MO ayuda a disminuir la densidad aparente de suelo debido a que sus componentes son menos densos que los componentes minerales (Henríquez y Cabalceta 1999).

2.5.2.4 Nematodos

Los nematodos junto con otros organismos de la microfauna (colémbolas, protozoarios y ácaros) forman un enlace crítico entre los descomponedores primarios y la fauna de mayor tamaño en la cadena alimenticia en el suelo y son los principales agentes que liberan los nutrientes inmovilizados por la microflora del suelo. Los nematodos son clasificados en diferentes niveles tróficos de acuerdo a sus hábitos de alimentación, tales como, bacteriófagos, omnívoros, fungívoros, depredadores y fitoparásitos (Gupta y Yeates 1997).

Los nematodos están involucrados en diferentes procesos de los ecosistemas incluyendo la descomposición y tasa de cambio de la MO, mineralización de nutrientes, regulación de la densidad de las poblaciones de la microflora incluyendo fitopatógenos y la descomposición de agroquímicos. Los fitonematodos se alimentan de las raíces de las plantas e impiden el flujo de nutrientes y por ende disminuyen la producción. Los nematodos de vida libre se alimentan de fitonematodos, hongos formadores de micorriza y bacterias fitopatógenas, entre otras cosas (Gupta y Yeates 1997).

Hay estudios comparativos sobre diferentes poblaciones de nematodos como los realizados por Ferris (1996) donde se evaluó el impacto del manejo orgánico y convencional sobre las comunidades de nematodos en el cultivo de tomate, se encontró que durante el período de descomposición de la materia orgánica los nemátodos micófagos fueron más abundantes en las parcelas convencionales que en las orgánicas; mientras que las poblaciones de nemátodos predadores y omnívoros fueron bajas en ambos sistemas agrícolas. Jaffee et ál. (1998) evaluaron los hongos atrapadores de nematodos, los nematodos y la biomasa microbiana, en parcelas de campo manejadas orgánica y convencionalmente. El número de especies de hongos atrapadores de nemátodos fue significativamente mayor en parcelas orgánicas, Los nematodos bacteriófagos fueron más abundantes en parcelas orgánicas y también la biomasa microbiana. Sin embargo, en un bioensayo, la supresión de *Meloidogyne javanica* no tuvo relación con el sistema de manejo o con la densidad poblacional de los

hongos atrapadores de nemátodos, aunque sí estuvo relacionada positivamente con la biomasa microbiana.

Hay pocas herramientas ecológicas sensitivas para detectar cambios en el manejo de los suelos. Los nematodos que viven en el suelo y los índices derivados del análisis de la estructura de sus comunidades pueden ser capaces de demostrar cambios en el manejo del suelo ya sean benéficos o deletéreos (Pankhurst 1995). Es necesario asegurarse que los índices de nematodos están relacionados con mediciones físicas y químicas de las propiedades del suelo (Gupta y Yeates 1997). Además, existe mucha información sobre la taxonomía y hábitos alimenticios de este grupo de microorganismos, importante para su identificación y para establecer su rol dentro de la cadena alimenticia, por lo cual son muy útiles como indicadores de salud y calidad de suelos (Nieher 2001).

2.5.2.5 Micorrizas

Las micorrizas son una asociación simbiótica mutualista entre raíces de plantas superiores y ciertos hongos del suelo (Hayman 1983). Estos hongos dependen de la planta para el suministro de carbono, energía y de un nicho ecológico, a la vez que entregan nutrimentos minerales (especialmente los poco móviles como el fósforo); además, les proporcionan otros beneficios como: estimulación de sustancias reguladoras de crecimiento, incremento de la tasa fotosintética, ajustes osmótico cuando hay sequía, aumento de la fijación de nitrógeno por bacterias simbióticas o asociativas, incremento de resistencia a plagas y estrés ambiental, mejoran la agregación del suelo y son mediadores de muchas acciones e interacciones de la microflora y microfauna, que ocurren en el suelo alrededor de las raíces (Bethlenfalvay y Linderman 1992).

Los hongos micorrícicos se han venido clasificando con base en su estructura, morfología y modo de colonización en dos tipos principales como ectomicorrizas y endomicorrizas. Este último se divide en varios subtipos: ectomicorriza, arbustoides, monotropoides, ericoides, orquidáceas y las arbusculares que son las más comunes (Sieverding 1991).

La micorriza cumple una función clave en la agricultura sostenible. Si el objetivo es reducir los insumos químicos por razones ambientales y de salud, entonces se necesita restablecer los hongos micorrícicos y otros microbios benéficos a un alto nivel de efectividad para compensar la reducción de insumos (Bethlenfalvay y Linderman 1992). Esta estrategia

coincide con el punto de vista de que el grado de empobrecimiento o desaparición de la microflora micorrizica arbusculares es un indicador del descenso en estabilidad del sistema planta-suelo, de la misma forma que a nivel de impacto causado por las practicas culturales es una medida de sostenibilidad de la agricultura (Bethlenfalvay 1992).

El porcentaje de colonización de los hongos micorrizicos se ve afectado por las prácticas agrícolas como labranza del suelo, quemas, aplicación de fertilizantes, plaguicidas, rotación de cultivos y sistemas de cultivo, por lo cual ha sido utilizado como indicador de calidad y salud de suelos (Pankhurst 1995, Blanco y Salas 1997).

2.5.2.6 Actinomicetes

Los actinomicetes son bacterias filamentosas y ramificadas con aspecto de hongo y su crecimiento celular es miceliar con métodos especializados de reproducción por esporas. La mayoría de los actinomicetes son bacterias aerobias, aunque existen algunas anaerobias facultativas u obligadas. Los actinomicetes son formas similares a las bacterias, por su tamaño y por ser unicelulares, son bacilos Gram +. Se desarrollan bien en suelos húmedos, bien aireados y pH ligeramente ácido o neutro. Son de gran importancia en la disolución de la materia orgánica del suelo y la liberación de nutrientes. Reducen inclusive los compuestos resistentes como las ligninas. Su capacidad de simplificar el humus es importante en la liberación de nitrógeno. Los actinomicetes pueden degradar muchas sustancias complejas y, de esta forma, son importantes en el mejoramiento de la fertilidad del suelo. Los actinomicetes son conocidos por la capacidad de producir antibióticos en laboratorio como la estreptomycinina (Xu et ál. 1996).

Cuando la microflora de suelos esta dominada por microorganismos que producen grandes cantidades de antibióticos, entre ellos hongos de los géneros *Penicillium*, *Trichoderma* y *Aspergillus* y actinomicetes del género *Streptomyces*, los antibióticos que producen pueden tener efectos biostáticos y biocidas sobre los patógenos del suelo, incluyendo *Fusarium*, cuya población de la enfermedad no alcanza el 5% de incidencia. La materia orgánica fresca aplicada, que tiene alto contenido de actinomicetes y alto contenido de nitrógeno, no produce sustancias putrefactas, y los suelos tienen buen olor ("a tierra de bosque"). Pocas veces las plantas sembradas en estos suelos son atacadas por enfermedades e insectos. Estos suelos por lo general tienen propiedades físicas excelentes, rápidamente

forman agregados estables en agua, están bien aireados y tienen una alta permeabilidad al agua y el aire (Tejada 2002).

Pankhurst et ál. (1995) encontraron que las prácticas agrícolas como la rotación de cultivos, la labranza, y las fertilizaciones causan variaciones en las poblaciones de los actinomicetes por lo cual se pueden utilizar como indicadores de calidad de suelos.

2.5.2.7 Biodiversidad

Aunque generalmente no es visible a simple vista, el suelo es uno de los hábitat más diversos en la Tierra. La naturaleza compleja, física y química del suelo, con su estructura porosa y con el suministro variable de materia orgánica como alimento y en medio de sustancias químicas producidas por los animales y las plantas, las colonias microbianas pueden coexistir simultáneamente y encontrar nichos apropiados para su desarrollo (Wolters 1998).

La biota del suelo es responsable de realizar funciones vitales dentro del ecosistema suelo, tales como la regulación de la estructura del suelo y los procesos químicos y biológicos como la degradación de agentes contaminantes, descomposición de materia orgánica, completar el ciclo de los nutrientes, secuestro de carbono, protección de las plantas y aumento del crecimiento o de la supresión. Hay ejemplos de los efectos positivos y negativos de algunos microorganismos, como fitoparásitos (patógeno) o microorganismos de la rizosfera incrementando el crecimiento de la planta (Bunning y Jiménez 2003, Black 2006).

Las actividades humanas con sus diversas prácticas ejercen una influencia importante en la biota del suelo, afectando sus actividades y su diversidad. En general la cantidad y la calidad de los residuos de la planta y el número de la especies de plantas afecta la gama de hábitat siendo perceptibles las variaciones de los microorganismos. Diversos tipos de prácticas y de sistemas agrícolas influyen también sobre la biota del suelo tales como la adición de la cal, los fertilizantes y los abonos, prácticas de labranza y el uso de pesticidas. El número y los tipos de organismos varían entre un sistema y otro, razón por la cual la biodiversidad del suelo se puede utilizar como indicador de la calidad y salud del suelo y de los ecosistemas estables (Bunning y Jiménez 2003).

Información sobre la estructura y la diversidad microbial es importante para el entendimiento de las relaciones entre factores ambientales y funciones del ecosistema. Así mismo, medidas de diversidad microbial han sido recomendadas en programa de monitoreo de

salud del suelo. La diversidad de una comunidad es expresada como la riqueza de especies y la contribución relativa que cada una de estas especies hace por el total de organismos presentes. La diversidad de una comunidad microbiana usualmente se puede describir utilizando el índice de Shannon-Weaver (Neilsen y Winding 2002). El número de especies tradicionalmente ha sido determinado por medio de estudios de clasificación taxonómica, también se ha utilizado para microorganismos técnicas moleculares y bioquímicas para determinar la abundancia y el número de especies. El beneficio de una alta diversidad genética está bajo debate debido que no siempre se relaciona con la diversidad funcional. A pesar de esto la correlación entre la salud del suelo y la biodiversidad no ha sido entendida por completo, por lo tanto, ambitos de diversidad de medianos a altos son considerados como un indicador de buena salud del suelo (Neilsen y Winding 2002).

2.6 Microorganismos de montaña

En Costa Rica, los agricultores motivados por la influencia tecnológica japonesa de cómo extraer del suelo y reproducir microorganismos que ayuden a mejorar la producción de sus cultivos, han desarrollado un inóculo microbiológico de alta eficiencia denominado microorganismos de montaña (MM), como biorreguladores de patógenos y descomponedores de materia orgánica. Este material es una fuente rica en microorganismos, principalmente actinomicetos y levaduras, y de otras bacterias descomponedoras de materia orgánica; se lo aplica de dos formas: sólido y líquido (MM activado) (Urtecho 2005).

Cabe destacar que en poblaciones ya establecidas, las interacciones positivas entre poblaciones autóctonas se desarrollan con mayor frecuencia. Por lo tanto, se puede inferir que el MM, es un tipo de inóculo microbiano que podría presentar mayor interacción positiva que negativa, ya que la microbiología utilizada es extraída del bosque circundante a la región de aplicación (Atlas y Bartha 2002).

Los MM producidos por los diferentes miembros de APODAR son muy similares en su forma de elaboración, la cual se describe a continuación:

MM sólido: los productores van al bosque y extraen dos sacos de hojarasca en descomposición para posteriormente mezclarla con 46 kg de semolina, hasta homogenizarla. Se disuelven dos galones de melaza en un galón de agua y se le agrega MM activado (MM líquido) que hay almacenado. Esta solución se le agrega a la mezcla de la hojarasca con la

semolina, mezclándola constantemente. Ya homogenizada en el suelo se procede a colocarla en otro estañon, tratando de apelmazarlo para que no quede con aire, se tapa herméticamente, dejándolo un mes para su uso posterior. Esta mezcla es utilizada para elaborar el MM líquido y para aplicar en el sustrato que utilizan en sus semilleros.

MM líquido: se toman 10 kg de MM sólido y se coloca en una tela permeable y se introduce en un estañon con 100 litros de agua más un galón de melaza, se tapa herméticamente, dejándolo cuatro días para su uso posterior. No es recomendable utilizarlo después de 15 días de elaborado. Esta preparación también es conocida como MM activado.

Biofermento: Buscando la solución más sostenible para resolver el problema de la fertilización de micro elementos se empezó a usar los biofermentos, los cuales son fertilizantes foliares elaborados a partir de insumos naturales que se mezclan y posteriormente pasan por un proceso de fermentación. Las materias primas más comunes son: residuos vegetales, estiércol, melaza, y un inóculo microbial (Urtecho 2005). Los productores de APODAR utilizan los siguientes productos para el biofermento: 100 litros de suero, 10 kg de pasto picado, 2 galones de melaza, 1 galón de Organismos eficientes (EM®) activados y una cantidad de sales minerales tales como Sulfato de Potasio, o Sulfato de Zinc, entre otras, dependiendo del elemento o los elementos a proporcionar. Para suplir a la planta de todos los elementos se realiza una mezcla de todos los biofermentos diferentes elaborados.

2.7 Control biológico de hongos

Baker y Cook (1982) definen control biológico como: la reducción de la densidad de inóculo o de sus estructuras reproductoras de la enfermedad de un organismo o parásito en su estado activo o de dormancia por uno o más organismos. Estos organismos se pueden presentar naturalmente, como resultado de la estimulación de la flora residente, de la introducción masiva de antagonistas y otros microorganismos benéficos, de la manipulación del medio ambiente y de las prácticas culturales que provean condiciones favorables a los antagonistas o de la introducción de uno o más antagonistas (Blakeman y Fokkema 1982).

El desarrollo comercial del combate biológico es relativamente reciente, y ha cobrado gran impulso a raíz de la conciencia creciente de desarrollar métodos de manejo de enfermedades más amigables al ambiente. Conforme se ha avanzado en el conocimiento de la ecología microbiana de los agroecosistemas, el combate biológico se ha ido insertando en

forma creciente al manejo de enfermedades. Se puede llevar a cabo por medio de la introducción de agentes biocontroladores específicos o por medio del manejo del ambiente para favorecer los organismos biocontroladores nativos (Arauz 1998).

2.8 Microorganismos del suelo y rizosfera

Las poblaciones microbianas del suelo se desarrollan fundamentalmente alrededor de las raíces de las plantas, donde son estimuladas por la presencia de exudados radicales, rizodeposiciones aportadas por la planta la cual es la principal suministradora de sustratos energéticos al suelo para ser usados por los microorganismos que en su mayoría son heterótrofos (Barea y Azcón 1982). El incremento en la actividad microbiana en la zona de influencia de las raíces, la “rizosfera”, afecta a su vez a la planta, ya que los microorganismos estimulados llevan a cabo una serie de actividades que repercuten en el desarrollo de la misma (Azcón y Barea 1992). Entre las actividades cabe destacar la producción de compuestos biológicamente activos, como son hormonas, enzimas, quelatos, entre otros; su implicación en el ciclaje de nutrientes y de la materia orgánica y su contribución al mantenimiento de la estructura del suelo (Barea y Azcón 1982).

Entre los microorganismos de la rizosfera están los hongos y las bacterias (rizobacterias) los cuales se encuentran en la zona de influencia de las raíces y se han estudiado para ver el efecto que le causan a la planta encontrando que ayudan a la salud y crecimiento de la planta (Kloepper y Beauchamp 1992, Pocasangre et ál.2000).

2.8.1 Hongos de la rizosfera

Son hongos que colonizan los tejidos u órganos internos de una planta sin causar ningún tipo de síntomas. Cuando la colonización de los tejidos le confiere una protección a la planta hospedera contra el ataque de agentes bióticos y abióticos se denominan hongos endofíticos mutualistas (Carroll 1990). La mayoría de hongos endofíticos son ascomicetos y están presentes en gran parte de su ciclo de vida dentro del tejido de la planta. Estos pueden brindar dos tipos de beneficios a las plantas: pueden alterar la fisiología de las plantas llevándolas a aumentar su crecimiento y pueden además incrementar la resistencia al estrés causado por factores abióticos (Pocasangre et ál. 2000).

2.8.2 Rizobacterias

El término rizobacteria, se refiere a las bacterias que colonizan las raíces, algunas de ellas han demostrado además, capacidad para promover el crecimiento de las plantas, por lo que se les conoce como “rizobacterias promotoras del crecimiento en las plantas” ó en sus siglas en ingles: PGPR (Weller 1988). Estas pueden favorecer la liberación de exudados en más del 100% a través de reguladores de crecimiento, vitaminas, toxinas, enzimas celulolíticas u otros compuestos, o a través de la alteración de la disponibilidad de nutrientes (Kluepfel 1993).

Las investigaciones sobre el modo de acción de las rizobacterias han demostrado que ellas promueven el crecimiento de la planta de dos maneras; una es en forma indirecta, ya que reducen la actividad de los hongos y de bacterias patogénicas del rizoplano y de forma directa por la producción de metabolitos que estimulan el crecimiento de la planta (Kloepper et ál. 1990).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

La fase de campo se llevó a cabo en invernaderos de fincas con chile dulce convencional y orgánico ubicados en el cantón Alfaro Ruiz, Alajuela (Figura 1). Las fincas orgánicas pertenecen a la Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz (APODAR). Esta zona está a 1736 msnm, 9°55'21" de latitud norte y 83°39'40" de longitud oeste y tiene una temperatura promedio anual de 17.1 °C. Zona caracterizada por la producción de hortalizas para el mercado nacional. Los suelos de la zona son de origen volcánico y están clasificados en el orden de los Andisoles (Bertsch 1998).

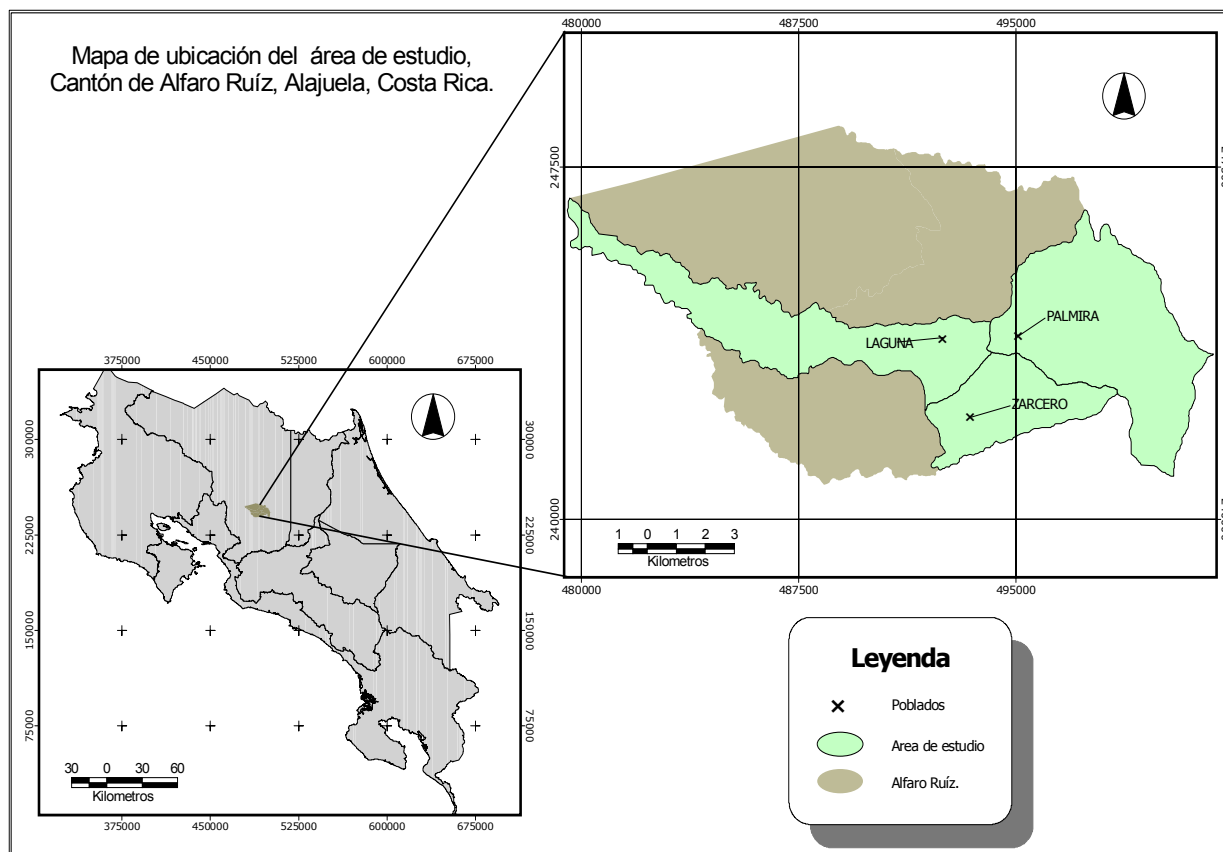


Figura 1. Ubicación del área de estudio de los productores orgánicos y convencionales de la zona de Alfaro Ruiz.

3.2 Selección y caracterización de las fincas

Para el estudio se seleccionó tres fincas orgánicas y tres convencionales (Cuadro 1). Para la selección de las fincas, se realizó una encuesta (Anexo 1) con productores de cada sistema de manejo, y un recorrido por las fincas con el fin de coleccionar datos agronómicos del cultivo y observar prácticas de manejo similares en los productores. A los productores seleccionados se les hizo una encuesta con información que incluyó experiencia del productor, área y características físicas del invernadero, manejo realizado tanto al cultivo como al suelo y prácticas de control de plagas.

Los invernaderos en estudio tenían chile dulce en producción, y las fincas seleccionadas tanto las orgánicas como las convencionales se encontraban cerca una de la otra. Las fincas orgánicas seleccionadas, debían tener como mínimo un manejo similar por los últimos tres años, incluyendo el tipo de abonos orgánicos. El manejo de suelo y el cultivo de los productores convencionales debe estar basado en la aplicación agroquímicos como mínimo en los últimos tres años.

Cuadro 1. Codificación y características de los productores seleccionados en el estudio de la zona de Alfaro Ruiz.

Sistema	Sigla	Ubicación	Años con el mismo sistema de producción	Área del invernadero (m ²)
Orgánico	1O	Palmira	3	1800
Orgánico	2O	Palmira	4	600
Orgánico	3O	Laguna	3	1400
Convencional	4C	Palmira	5	2400
Convencional	5C	Palmira	3	1200
Convencional	6C	Zarcelero	4	1400

3.2.1 Caracterización de suelo y nutrientes a nivel foliar

3.2.1.1 Muestreo y análisis foliar

Para el análisis foliar de nutrientes de las plantas de chile dulce, se tomaron 50 submuestras para formar una muestra compuesta por cada invernadero, para esto se muestreó la hoja número cuatro empezando por el ápice (López y López 1990). Las muestras previamente identificadas con el código del productor fueron llevadas al laboratorio de análisis de tejido vegetal del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica para determinar nutrientes totales. El método de análisis fue con digestión húmeda con mezcla de ácidos nítrico-perclórico 5:1. Se determinó por Absorción

Atómica los elementos Ca, Mg, K, Cu, Zn, Mn y Fe. El fósforo se determinó por el método colorimétrico del extracto de digestión nítrico-perclórica y el nitrógeno total por combustión total en un autoanalizador Thermo Finnigan Flash EA 1112.

3.2.1.2 Muestreo y análisis de variables químicas de suelo

Para el análisis de suelos se tomaron 12 submuestras al azar con el uso del barreno. Todas las submuestras se tomaron en el área de la cama de chile dulce a una profundidad de 25 cm, para formar una muestra compuesta de 500 g por invernadero, la cual fue colocada en una bolsa plástica con un rótulo que indicaba la fecha y código de la finca.

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos del CATIE. Para el análisis de P, K y elementos menores (Cu, Zn, Mn y Fe), se utilizó el método Olsen modificado, pH 8.5 para la extracción. El K y elementos menores se analizaron por lectura de absorción atómica. El P se determinó por el método colorimétrico que utiliza el color azul de molibdeno como indicador. La extracción de Ca y Mg fue con KCL 1M y la lectura se realizó por absorción atómica. El pH fue determinado con extracción en agua (Díaz y Hunter 1978). El N y el C orgánico fueron determinados mediante el método de combustión total en un autoanalizador Thermo Finnigan Flash EA 1112.

3.3 Muestreo y análisis de la humedad del suelo

Para la humedad gravimétrica se tomó una muestra de suelo en el surco y otra en el entre surco con la ayuda de un barreno a la profundidad de 0-10 cm y de 10-20 cm. Cada muestra estaba compuesta de 10 submuestras. Las muestras previamente identificadas con el código del productor fueron llevadas al Laboratorio de Suelos del CATIE donde se tomó el peso húmedo, luego las muestras fueron secadas a 110°C por 24 horas hasta tener peso constante. Luego se tomó el peso seco para calcular el porcentaje de humedad gravimétrica con la siguiente fórmula (Rodríguez y Rodríguez 2002):

$$\% \text{ de humedad gravimétrica} = \frac{\text{Masa de suelo húmedo} - \text{masa de suelo seco}}{\text{Masa de suelo seco}} \times 100$$

3.4 Muestreo y análisis de densidad aparente (DA)

Para determinar la DA de los suelos, se utilizaron cilindros metálicos de 5 cm de diámetro por 5 cm de altura, con los cuales se tomaron muestras de suelo no disturbado. Los cilindros fueron introducidos con el uso de un mazo y un bloque de madera, y para la extracción se utilizó una pala. Con la ayuda de un cuchillo se eliminó el exceso de suelo, se sacaron 4 muestras al azar por cada invernadero. Las muestras previamente identificadas con el código del productor fueron llevadas al Laboratorio de Suelos del CATIE donde los cilindros se colocaron en vasijas y secados a 110°C por 24 horas en un horno. La DA se obtuvo dividiendo el peso seco de cada muestra entre el volumen del cilindro (Henríquez y Cabalceta 1999).

3.5 Muestreo y análisis de las variables biológicas de suelo

3.5.1 Nematodos

Para el análisis de nematodos se tomaron 10 submuestras a una profundidad de 10 cm, tanto del suelo como de la raíz para formar una muestra compuesta de 100 g de suelo y 10 g de raíces. Las muestras previamente identificadas con el código del productor fueron llevadas al laboratorio de Nematología de la Universidad Nacional de Costa Rica. Los nematodos fueron extraídos mediante el método Bearmann modificado (Hooper 1990). Las muestras de suelo se colocaron en tamices de un tamaño de poro de 3 mm y un papel sencillo absorbente. Se llenó de agua por los bordes hasta completar el nivel de suelo sin entrapar. Después de 48 horas, se filtró utilizando un tamiz No. 500 (0.025 mm) y se llevó a un tubo de ensayo o a un beaker, una alícuota de la muestra de 20 ml para su conteo. Los nematodos de la raíz fueron evaluados por el método de macerado y filtrado descrito por Hooper (1970), con ayuda de un microscopio invertido (Wilovert) se realizó el conteo de nematodos totales presentes en las muestras.

3.5.2 Micorrizas

Para el estudio de los hongos formadores de micorrizas se tomaron muestras de raíces con la ayuda de un barreno a la profundidad de 0-10 cm y de 10-20 cm; tomando 6 muestras por cada profundidad y por cada invernadero. Las raíces fueron lavadas y colocadas en viales con alcohol al 70%, respectivamente identificado y fueron llevadas al laboratorio de

Fitopatología del CATIE para su lectura. En el laboratorio las raíces finas se colocaron en tubos de ensayo y se les agregó KOH al 10% para luego calentarlas en baño maría a una temperatura entre 80-90°C por diez minutos. Posteriormente se escurrieron y se enjuagaron con el agua del grifo, después se le agregó HCL 10%, manteniéndolas a temperatura ambiente por 5 minutos, se escurrieron y se les agregó azul de tripano para su tinción, finalmente se colocaron en baño maría por 2 minutos (Koske y Gemma 1989). Una vez teñidas se colocaron 4 raíces en un portaobjeto, se le agregó glicerol y se procedió a observar la presencia o ausencia de micorrizas con un microscopio. Se tomaron 5 campos por cada raíz y se obtuvo el porcentaje de colonización utilizando la fórmula de números de campos observados sobre número de campos totales por 100 (Brundrett et ál. 1996).

3.5.3 Recuento de poblaciones totales de microorganismos de la rizosfera

Se tomaron 5 muestras por invernadero con la ayuda de un tubo con un diámetro de dos pulgadas el cual se introdujo a 15 cm de profundidad y a 10 cm de distancia de la planta. El suelo extraído se colocó en bolsas plásticas bien rotuladas, manteniéndolas en una hielera para evitar su desecación y se trasladó el mismo día al laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Costa Rica sede Turrialba. En el laboratorio se separaron las raíces del suelo, se pesaron 5 g de raíz y se colocaron en 45ml de agua destilada estéril (ADE) para producir la solución madre que se consideró como la primera disolución (10^{-1}). La muestra fue agitada 15 minutos en un agitador (Hotech Orbital shaker, model 721-2T) a 125 rpm. Las soluciones se llevaron a la cámara de flujo laminar, en donde se realizaron otras diluciones hasta llegar a la dilución 10^{-6} . Para realizar estas diluciones se tomó 1ml de la solución anterior y se pasó a un tubo de ensayo con 9 ml de ADE. Se sembraron dos diluciones sucesivas por duplicado para cada uno de los microorganismos estudiados de la siguiente manera: hongos 10^{-3} y 10^{-4} , bacterias y actinomicetes 10^{-5} y 10^{-6} . Se aplicó 1 ml de la disolución dentro de cada plato de petri y con la ayuda de un asa de vidrio estéril se esparció homogéneamente sobre la superficie. Los medios de cultivo utilizados fueron Papa Dextrosa Agar (PDA) marca Difco™ para el cultivo de hongos y Agar Nutritivo marca Oxoid CM3 para bacterias y actinomicetes. Los platos fueron sellados con papel parafilm e incubados a 25°C. El conteo de unidades formadoras de colonia (UFC) se realizó para bacterias y actinomicetes a los dos días después de la siembra y los hongos fueron contados a los cinco días después de la siembra. El número de UFC/g suelo fue calculado de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Total de UFC} = \text{N}^\circ \text{ UFC} \times \text{C/PS}$$

donde:

Nº UFC = número de UFC observadas por plato,

C = concentración de la dilución y,

PS = peso seco de la muestra.

3.5.4 Índices de biodiversidad

Los hongos aislados de la rizosfera de cada sistema fueron aislados, identificados y cuantificados en el Laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Costa Rica, sede del Atlántico en Turrialba. En esta etapa colaboraron la Ing. María Araya y la Ing. Ana Tapia M.Sc. Con la ayuda del programa EstimateS se determinaron los índices de Shannon y Simpson.

3.6 Inoculantes Microbianos

Para la caracterización de los inoculantes microbianos MM se tomaron muestras de todos los pasos de su elaboración. Se muestreó la hojarasca de la montaña donde los productores recolectan para preparar los MM, así como muestras del MM sólido, líquido y el biofermento; preparados por el productor en tres diferentes meses: enero, marzo y mayo. Las muestras fueron colocadas en recipientes estériles y llevadas al Laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Costa Rica, Turrialba donde se realizó el recuento de microorganismos siguiendo el procedimiento explicado para los microorganismos de la rizosfera descrito anteriormente.

Además, se tomaron muestras de los MM de dos productores más para comparar las características de los inoculantes microbianos. Para esto se realizó un muestreo de MM sólido y líquido de un productor de Alto Varas de Turrialba que pertenece a la Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba (APOT) y otro de Cipreses de Cartago que pertenece a la Asociación de Productores Orgánicos de la Zona Norte de Cartago (APROZONOC).

En este último muestreo, además de los recuentos de bacterias aeróbicas, actinomicetes y hongos, se incluyó el conteo de bacterias anaeróbicas. Para su recuento se utilizó el mismo procedimiento descrito para los microorganismos de la rizosfera con la única diferencia que los platos petri se incubaron en Jarras Anaeróbicas OXOID AG25 por 48 horas. Para este

último muestreo además todas las bacterias fueron identificadas por el Laboratorio de Investigación en Bacteriología Anaerobia de la Universidad de Costa Rica.

3.7 Determinación de potencial de promoción de crecimiento de microorganismos

Para determinar la promoción de crecimiento de los hongos y las bacterias aisladas de la rizosfera de cada invernadero se purificaron las bacterias y hongos obtenidos en el recuento de poblaciones de la rizosfera y se inocularon en potes en invernadero.

En el caso de hongos se utilizaron aquellos géneros reportados por su efecto sobre el desarrollo de las plantas como son: *Trichoderma* spp, *Penicillium* spp, *Paecilomyces* spp, *Cladosporium* spp y *Aspergillus* spp. En el caso de las bacterias se utilizaron todas las que fueron aisladas en cada sistema.

3.7.1 Evaluación en invernadero de promotores de crecimiento

Para evaluar la capacidad de los organismos de suelos aislados de cada invernadero de promover el crecimiento en chile dulce, se hicieron inoculaciones en plantas de chile dulce bajo invernadero. Se estableció un semillero en bandejas con la variedad de chile Agronómica, utilizando un sustrato de 50% de suelo, 10% de arena, 10% de cascarilla de arroz y 30% de compost marca Ever Gring®. La siembra se realizó el 1 de abril del 2006 y el transplante a macetas se efectuó el 4 de mayo.

Las plantas de chile fueron transplantadas a macetas de 1 kilo, con un sustrato constituido de una mezcla de 60% de suelo del área de la montaña en CATIE, 20% de bocashi traído de la Cooperativa Coopebrisas de Zarcero, 10% de arena y 10% cascarilla de arroz.

Además de los inóculos de microorganismos aislados, se evaluó el efecto del MM y el biofermento preparado por el productor orgánico. Se utilizaron 5 macetas para cada tratamiento, distribuyéndolas completamente al azar dentro del invernadero (Figura 2).

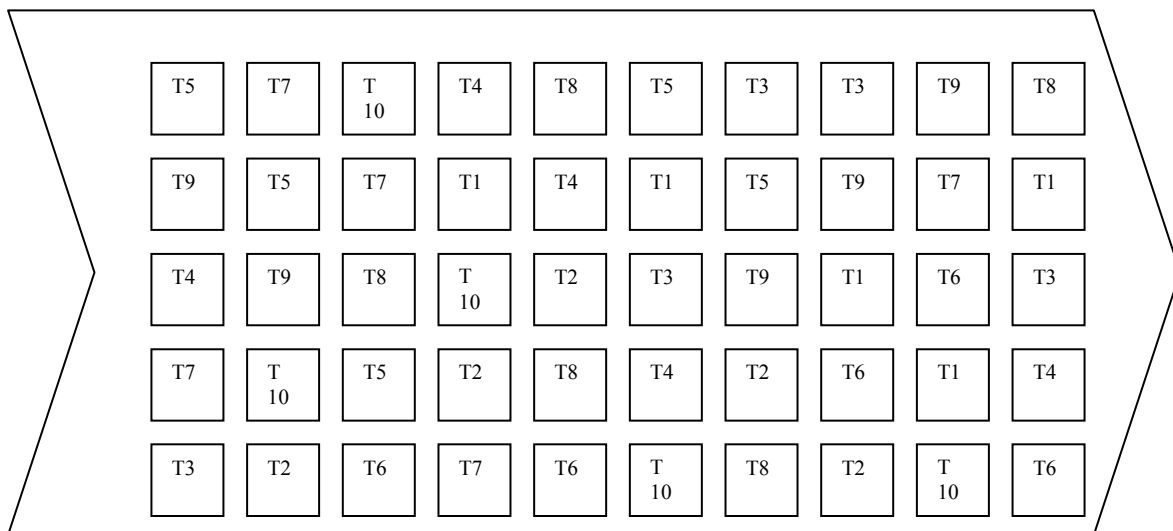


Figura 2. Ubicación de los tratamientos de promoción de crecimiento dentro del invernadero.

3.7.2 *Tratamientos*

T1: hongos de la rizosfera en sistema convencional

T2: hongos de la rizosfera del sistema orgánico

T3: hongos de la rizosfera + bacterias de la rizosfera sistema convencional

T4: hongos de la rizosfera + bacterias de la rizosfera sistema orgánico

T5: bacterias de la rizosfera sistema convencional

T6: bacterias de la rizosfera sistema orgánico

T7: MM

T8: Biofermento

T9: MM y Biofermento

T10: testigo (sin inóculo)

Se midió la altura de la planta de chile dulce cada semana antes de inocular. En la semana 7 se midieron las variables de altura del tallo y los del follaje y el sistema radicular; respectivamente se registraron en fresco y seco.

3.7.3 *Preparación y aplicación de inóculo*

En la cámara de flujo laminar se prepararon los inóculos de los hongos y las bacterias seleccionadas por tratamiento para aplicar en las plantas de chile dulce bajo invernadero, con una concentración final de 1×10^6 UFC/ml. Para las aplicaciones de MM y el biofermento se

siguió la práctica utilizada por el productor que realiza una dilución de 700 cc de agua y 300 cc del bioproducto. El volumen aplicado por cada maceta fue de 10 ml por semana, durante 6 semanas. El MM y Biofermento fueron traídos de Zarcero periódicamente ya que el productor solo los aplica en un periodo de 5 a 15 días de preparado.

3.8 Diseño y Análisis estadístico

- Para objetivos 2 y 3 se utilizó una prueba de t para muestras independientes, ya que se comparará Sistema Convencional vrs Sistema Orgánico

Para comparar el porcentaje de humedad se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + P_j + L_k + TP_{ij} + TL_{ik} + PL_{jk} + TPL_{ijk} + e_{ij\ kl}$$

donde:

Y_{ijkl} = variable de respuesta en la L-ésima reptición del i-ésimo tratamiento, j-ésimo profundidad y k-ésimo lugar

μ = Media general

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento

P_j = efecto del j-ésimo profundidad

L_k = efecto del k-ésimo lugar

TP_{ij} = interacción de tratamiento * profundidad

TL_{ik} = interacción de tratamiento * lugar

PL_{jk} = interacción de profundidad por lugar

TPL_{ijk} = interacción de tratamiento * profundidad * lugar

$e_{ij\ kl}$ = error experimental

En el caso del porcentaje de colonización de los hongos micorrícicos se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + e_{k(i)} + P_j + TP_{ij} + e_{k(ij)}$$

donde:

Y_{ijk} = variable de respuesta en la K-ésima repetición del i-ésimo tratamiento y j-ésimo profundidad

μ = Media general

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento

$e_{k(i)}$ = error de nivel de colonización

P_j = efecto del j-ésimo profundidad

TP_{ij} = interacción de tratamiento * profundidad

$e_{k(ij)}$ = error de profundidad

- Para evaluar el potencial de promoción de crecimiento ejercido por los tratamientos se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = variable de respuesta en el i-ésimo tratamiento

μ = Media general

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento

e_{ij} = error experimental

Dada la estructura de los tratamientos se realizaron contrastes ortogonales para comparar grupos de tratamientos de acuerdo a los factores contenidos en ellos. Los contrastes ortogonales para los tratamientos de promoción de crecimiento se muestran en el cuadro 2

Cuadro 2. Los contrastes ortogonales de los tratamientos de promoción de crecimiento.

Contraste	Coeficiente									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Testigo vrs resto	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	9
T7,T8,T9 vrs T1,T2,T3,T4,T5,T6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2	2	2	0
T1,T2,T3,T4 vrs T5,T6	1	1	1	1	-2	-2	0	0	0	0
T1,T2 vrs T3,T4	1	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
T1 vrs T2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
T3 vrs T4	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
T5 vrs T6	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
T9 vrs T7,T8	0	0	0	0	0	0	-1	-1	2	0
T7 vrs T8	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0

Para la comparación múltiple de medias se utilizó la prueba de Duncan con un alfa = 0.05

4 RESULTADOS

4.1 Análisis de las encuestas

El 100% de los productores encuestados tienen como mínimo 3 años de experiencia trabajando en invernaderos, así como todos los productores tienen 3 años como mínimo produciendo bajo los sistemas orgánico o convencional. El 83% de los productores tanto orgánicos como convencionales reciben asistencia técnica de la Cooperativa de Servicios Múltiples de Santa Rosa de Alfaro Ruiz (COOPEBRISAS) por lo cual se observaron prácticas muy similares de manejo de cultivo en los dos sistemas. El 100% de los productores trabajan en tierras propias por lo cual pueden realizar inversiones más seguras y mejorar la fertilidad de su suelo con una visión a largo plazo.

El área de los invernaderos estudiados fluctúa entre 600 a 2400 m², la cual es una superficie muy manejable por los productores para que puedan realizar las prácticas requeridas por el cultivo. El 67% de los invernaderos no presentan medidas de bioseguridad, muy útiles para evitar el ingreso de plagas al cultivo.

El 100% de los productores utilizan la variedad de chile dulce Nataly que les ha dado altos rendimientos, buena estructura del fruto y buena adaptación al manejo bajo invernadero. El 100% de los productores compran plántulas a productores que se dedican a brindar estos servicios. El 67% de los productores hacen rotación de cultivos lo que les ayuda a romper el ciclo de muchas plagas. Entre los cultivos más frecuentemente utilizados en el siguiente ciclo sobresalen la lechuga y remolacha.

4.1.1 Manejo del suelo

El 83% de los productores utilizan el motocultivador para realizar las labores de preparación del suelo y adicionando diferentes materiales que mejoran la fertilidad al momento de preparar la cama (Cuadro 3). El 83% de los productores realizan análisis químico de suelo cada año. El 83% realiza análisis de tejido vegetal y de este 83% un 60% lo realiza una vez al año y los demás lo realizan dos veces al año. Los productores orgánicos no utilizan abonos sintéticos, y el 100 % de los convencionales si los utilizan, sin embargo, el 100% de los productores tanto orgánicos como convencionales utilizan abonos orgánicos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tipo y cantidades de fertilizantes y enmiendas utilizados por los productores orgánicos y convencionales. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.

Sustrato	kg/1000 m ²					
	1O ^a	2O	3O	4C	5C	6C
Bocashi	1700	7500	2100	5000	3000	
Carbón	1700	2000	1750	1500	1500	
Cal	800				1250	
Gallinaza con MM	1700		2100			
Hueso Molido		2000				
Abono orgánico ^b						3000
Fertilizantes sintéticos						
10-30-10						100
15-15-15						600
12-24-12				400	300	

a: 1O, 2O, 3O= Invernaderos en producción orgánica; 4C, 5C, 6C= Invernaderos en producción convencional; b: Abono orgánico= preparado a partir de residuos del Ingenio Azucarero La Victoria

El MM es utilizado por el 83% de los productores y el 100% de los productores orgánicos lo producen en su propia finca, a diferencia de los convencionales que lo compran. Los productores orgánicos por lo general aplican el MM una vez a la semana en cambio los convencionales una vez al mes. El MM es aplicado en forma foliar o en *drench* de 10 a 15 cm de la base de la planta de chile dulce. El 60% de los productores además aplican otros productos como EM®, *Trichoderma* y el más utilizado es el biofermento con elementos esenciales.

4.1.2 Riego

El 100% de los productores utilizan el riego por goteo para suplir de agua al cultivo y un productor lo complementa con riego por microaspersión. El ciclo de riego varía ampliamente, un 33% aplica dos veces al mes, otro 33% aplica 2 veces a la semana, un 17% una vez a la semana y el otro 17% lo aplica una vez al mes. El 100 % de los productores convencionales utiliza fertirriego para suplir las necesidades de macro y micro nutrientes. Los productores orgánicos no utilizan el fertirriego para nutrir el cultivo sino que aplican biofermentos en forma foliar que contienen los elementos esenciales para el desarrollo del cultivo.

4.1.3 Manejo de plagas

El sistema de manejo de las plagas de los productores orgánicos se fundamenta en la rotación de cultivos, y el uso de microorganismos y elementos menores, tales como sulfatos de Zn, Mg, Mo, B, que luego son mezclados con *Streptomyces* para atomizarlos al follaje. Además utilizan el bicarbonato mezclado con EM® a una dosis de 100 g por 200 litros de agua. Los productores convencionales utilizan una serie de productos sintéticos. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Productos utilizados para el control de plagas en el cultivo de chile dulce en los sistemas orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.

Plagas	1O	2O	3O	4C	5C	6C
Desinfectante de suelo				Botrol®/TCMTB (Busan®)	Carbolina	Banodine®
Nematodos				Vidate L®		Onco®, Vidate L®
Ácaros <i>Tetranychus urticae</i> Koch	Azufre			Azufre	Actara®	Azufre
<i>Anthonomus eugenii</i>				Regent®		
Afidos				Actara®		
<i>Liriomyza</i> spp						Lepricom®, Vertimet®
<i>Botrytis</i> spp	MM	<i>Trichoderma</i>	MM	Velez®, Amistar®	Velez®, Amistar®	Velez®, Euparen®, Amistar®
Mildiu	MM	EM® Bicarbonato	+ MM			Rally®
<i>Cercospora</i> spp		Zn, Mg, Mo, B, <i>Streptomyces</i>				

Nota: 1O, 2O, 3O= Invernaderos en producción orgánica; 4C, 5C, 6C= Invernaderos en producción convencional.

El manejo de malezas se realiza de forma manual por el 100% de los productores, con la diferencia que un 67% las incorpora y el 33% las saca de invernadero y las destruye. No se utilizan productos químicos para el control de malezas ya que las áreas son pequeñas lo cual facilita el control manual.

4.1.4 Comercialización

Los productores orgánicos comercializan sus productos a través de APODAR recibiendo sobrepuestos por calidad del producto y por ser manejados orgánicamente. De acuerdo con los productores encuestados el mercado se ha mantenido estable por los últimos

años. Los productores convencionales venden sus productos a la Asociación de Producción y Comercialización de Hortalizas Cultivadas en Invernaderos de Alta Tecnología (APROMECA) que paga sobreprecio solo por la calidad de sus productos.

4.2 Análisis químicos

4.2.1 Análisis de nutrientes a nivel foliar

El contenido de nutrientes a nivel foliar de las plantas de chile dulce no mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Contenido foliar de nutrientes en chile dulce var. Nataly de los invernaderos orgánicos y convencionales estudiados. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.

Variables	Productor						p
	1O	2O	3O	4C	5C	6C	
Ca (%)	2.31	1.51	1.68	2.27	2.14	2.23	0.2629
Mg (%)	0.73	0.83	0.56	0.37	0.79	0.48	0.3416
K (%)	4.81	4.89	4.38	4.33	4.50	5.26	0.9924
P (%)	0.25	0.38	0.24	0.22	0.23	0.23	0.2963
N (%)	4.12	4.73	3.88	3.80	3.75	4.33	0.4176
Cu (mg/kg)	19	30	16	14	24	16	0.5225
Zn (mg/kg)	150	400	116	222	141	307	0.9902
Mn (mg/kg)	132	242	118	143	227	192	0.6398
Fe (mg/kg)	187	220	216	174	99	201	0.1982

Nota: 1O, 2O, 3O= Invernaderos en producción orgánica; 4C, 5C, 6C= Invernaderos en producción convencional

Los niveles de nutrientes en general se encuentran dentro de los rangos óptimos reportados por CIA y UCR (2002), tal es el caso del Ca, Mg, K, Cu, Fe y Mn (Cuadro 6). Aunque no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, los sistemas convencionales mostraron niveles más altos de Ca y Mn que los sistemas orgánicos, mientras que el Mg, el Fe y el Cu presentaron niveles más altos en los sistemas orgánicos (Cuadro 6). El contenido de P por otro lado está por debajo del rango óptimo para los dos sistemas de manejo, mientras que el N está sobre el nivel suficiente en el caso de sistema orgánico, y por debajo de este en el sistema convencional (Cuadro 6). Los niveles de Zn en ambos sistemas de manejo son considerados altos, siendo muy altos en el caso de las fincas 2O y la 6C.

Cuadro 6. Contenido promedio de nutrientes foliares en chile dulce bajo el sistema de manejo orgánico y el convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica y niveles críticos según CIA y UCR (2002).

Variable	Tratamientos		Niveles críticos		
	Orgánico	Convencional	Bajo	Suficiente	Alto
Ca (%)	1.83	2.21	0.8-0.99	1.0-2.25	> 2.5
Mg (%)	0.71	0.55	0.26-0.29	0.3-1.0	> 1.0
K (%)	4.69	4.70	3.6-3.99	4.0-6.0	> 6.0
P (%)	0.29	0.23	0.23-0.34	0.35-1.0	> 1.0
N (%)	4.24	3.96	3.5-3.99	4.0-6.0	> 6.0
Cu (mg/kg)	21.67	18.00	4.0-5.0	6.0-25.0	> 25.0
Zn (mg/kg)	222.00	223.33	15.0-19.0	20.0-200.0	> 200.0
Mn (mg/kg)	164.00	187.33	40.0-49.0	50.0-250.0	> 250.0
Fe (mg/kg)	207.67	158.00	50.0-59.0	60.0-300.0	> 300.0

4.2.2 Análisis de nutrientes a nivel de suelo

En el caso del análisis químico de nutrientes en el suelo solo el contenido de Mg presentó diferencias significativas ($p = 0.0310$) (Cuadro 7), siendo el promedio del tratamiento orgánico (4,49 cmol(+)/l) mayor al convencional (2,27 cmol(+)/l) (Cuadro 8).

Cuadro 7. Características químicas y análisis de varianza de las variables de los suelos de cada invernadero. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.

Variables	Productores						<i>p</i>
	1O	2O	3O	4C	5C	6C	
pH	6.11	6.07	6.5	6.14	5.33	4.61	0.1354
Acidez (cmol/L)	0.09	0.09	0.1	0.09	0.14	0.33	0.3170
Ca (cmol/L)	8.98	6.64	11.30	8.95	8.37	8.23	0.7545
Mg (cmol/L)	4.10	3.90	5.47	1.40	3.14	1.97	0.0310
K (cmol/L)	2.10	0.75	1.28	0.47	2.55	2.09	0.6829
P (mg/ml)	213	111	176	35	205	119	0.4590
Cu (mg/ml)	8.6	4.8	4.7	8.2	12.7	12.6	0.0590
Zn (mg/ml)	16	24	16	16	31	20	0.5209
Mn (mg/ml)	13	8.0	8.0	2.6	44	47	0.2740
Fe (mg/ml)	203	134	85	202	304	208	0.1102
N (%)	0.69	0.93	0.82	0.98	0.85	0.50	0.8292
M O (%)	11.03	17.69	13.62	15.71	13.29	7.26	0.5573

Nota: 1O, 2O, 3O= Invernaderos en producción orgánica; 4C, 5C, 6C= Invernaderos en producción convencional.

Cuadro 8. Contenido promedio de nutrientes del suelo en chile dulce bajo sistemas de manejo orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica y niveles críticos según Bertsch (1998).

Variable	Tratamientos		Niveles críticos		
	Orgánico	Convencional	Bajo	Medio	Alto
pH	6.22	5.36	< 5.5	5.6-6.5	> 6.6
Acidez (cmol/L)	0.09	0.19	< 0.5	0.5-1.5	> 1.5
Ca (cmol/L)	8.97	8.52	< 4	4-20	> 20
Mg (cmol/L)	4.49a	2.17b	< 1	1-5	> 5
K (cmol/L)	1.38	1.7	< 0.2	0.2-0.6	> 0.6
P (mg/ml)	166.67	119.67	< 10	10-20	> 20
Cu (mg/ml)	6.03	11.17	< 2	2-20	>20
Zn (mg/ml)	18.67	22.33	< 2	2-10	> 10
Mn (mg/ml)	9.67	31.2	< 5	5-50	> 50
Fe (mg/ml)	140.67	238	< 10	10-100	>100

Nota: Datos con letras distintas implican diferencia significativas (prueba Duncan, $P < 0.05$)

4.2.3 Densidad aparente

Los valores de densidad aparente no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.4206$). Todas las repeticiones que se realizaron por cada tratamiento presentaron valores por debajo de uno (Cuadro 9).

Cuadro 9. Valores de densidad aparente (DA) de los invernaderos con manejo orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.

Variable	Orgánico				Convencional				<i>p</i>
	1O	2O	3O	Media	4C	5C	6C	Media	
DA (g cm ⁻³)	0.557	0.476	0.617	0.550	0.545	0.472	0.735	0.584	0.4206

Nota: 1O, 2O, 3O= Invernaderos en producción orgánica; 4C, 5C, 6C= Invernaderos en producción convencional.

4.2.4 Humedad del suelo

Se encontró diferencia significativa ($p = 0.0298$) en el contenido de humedad entre los tratamientos, siendo mayor el sistema convencional con una media de 60.08% mientras que en el orgánico presento una media de 44.03%. La profundidad de 10-20 cm fue significativamente más húmeda con una media de 59.25% que la de 0-10 ($p = 0.0484$) con una media de 44.86%. No se encontró diferencia significativa entre la calle y los surcos ($p = 0.1410$) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Contenido de humedad (%) del suelo en chile dulce bajo los sistemas de manejo orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.

Variable	Tratamiento		<i>p</i>	Profundidad		<i>p</i>	Lugar		<i>p</i>
	Orgánico	Convencional		0-10	10-20		Surco	Entre surco	
H (%)	44.02b	60.08a	0.0298	44.86b	59.25a	0.0484	57.27	46.84	0.1410

Nota: Datos con letras distintas implican diferencia significativas (prueba Duncan, $P < 0.05$)

4.3 Análisis biológicos

4.3.1 Nematodos

Los fitonematodos encontrados en los diferentes invernaderos pertenecen a los géneros: *Meloidogyne* sp (juveniles), *Pratylenchus* sp, *Ditylenchus* sp, *Tylenchus* sp, *Meloidogyne* sp (machos), *Aphelenchus* sp, *Aphelenchoides* sp, *Criconemoides* sp, *Hemicycliophora* sp, *Heterodera* sp, *Helicotylenchus* sp y *Trichodorus* sp (Anexo 2).

Las especies de fitonematodos predominantes a nivel de la raíz pertenecen a los géneros: *Meloidogyne* sp (juveniles), *Pratylenchus* sp, y *Ditylenchus* sp. Los nematodos de vida libre solo se agruparon y no se identificaron a nivel de género (Anexo 2).

No se encontraron diferencias entre los tratamientos con respecto a los fitonematodos a nivel de suelo ($p = 0.1309$) ni a nivel de raíz ($p = 0,3619$), ni en el caso de los nematodos de vida libre (Cuadro 11).

Cuadro 11. Número promedio de nematodos a nivel de suelo y raíz en chile dulce bajo los sistemas de manejo orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.

	Orgánico Media	Convencional Media	<i>p</i>
Fitonematodo suelo	132.67	439.33	0.1309
Fitonematodo raíz	2469.00	119.00	0.3619
Nematodo de vida libre suelo	385.00	176.33	0.3858
Nematodo de vida libre raíz	56.67	40.33	0.4978

4.3.2 Hongos Micorrícicos

El porcentaje de colonización de los hongos micorrícicos fue significativamente mayor en el tratamiento orgánico (**79.58%**) que en el convencional (**70.56%**) ($p = 0.0498$) (Figura3). El porcentaje de colonización que se encontró en la profundidad de 0-10 cm (79.72%) fue significativamente mayor que el de 10-20 cm (70.42%) ($p = 0.0435$) (Figura 3). La

profundidad de 0-10 cm en el manejo orgánico fue la que presentó el mayor porcentaje de colonización (85.28%).

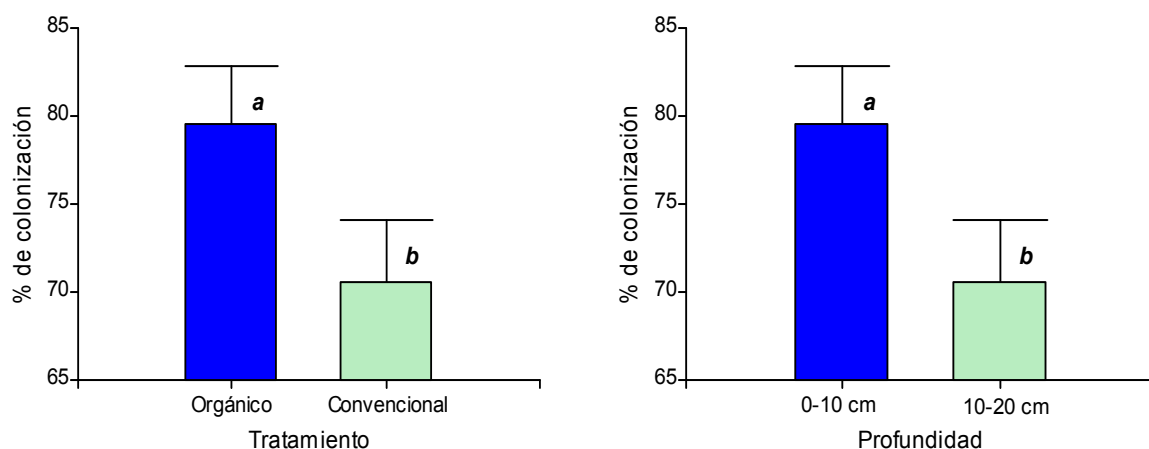


Figura 3. Porcentaje de colonización de los hongos micorrícicos de la raíz de chile dulce a diferente profundidad y bajo los sistemas de manejo orgánico y convencional en la zona de Zarcero de Alfaro Ruiz.

4.3.3 Recuento de poblaciones totales de microorganismos de la rizosfera

En el análisis de las poblaciones de microorganismos en la rizosfera de chile dulce, se encontraron diferencias significativas en las poblaciones de actinomicetes ($p = 0.0009$), siendo mayores en el orgánico (6.26 log UFC/ g de raíz) que en el convencional (5.59 log UFC/ g de raíz). Mientras que no se observaron diferencias significativas en las poblaciones de hongos ($p = 0.6320$) ni de bacterias ($p = 0.1861$) (Cuadro 12).

Cuadro 12. Poblaciones de microorganismos de la rizosfera de chile dulce orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.

Microorganismos	Orgánico (Log UFC/g de raíz)	Convencional (Log UFC/g de raíz)	p
Bacteria	5.85	5.59	0.1861
Hongos	4.23	4.12	0.6320
Actinomicetes	6.26a	5.59b	0.0009

Nota: Datos con letras distintas implican diferencia significativas (prueba Duncan, $P < 0.05$)

Las bacterias aisladas de la rizosfera del sistema convencional y orgánico fueron principalmente Bacilo Gram + (Cuadro 13).

Cuadro 13. Bacterias aisladas de la rizosfera de chile dulce orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.

Productor orgánico	Bacteria	Productor convencional	Bacteria
1O	Bacilo Gram +	4C	Bacilo Gram +
2O	<i>Delftia acidovorans</i>	5C	Bacilo Gram + irregular
2O	Bacilo Gram +	5C	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>
3O	Bacilo Gram +	6C	Bacilo Gram +
3O	<i>Chryseobacterium meningosepticum</i>	6C	<i>Pasteurella trehalosi</i>
3O	Bacilo Gram +	6C	<i>Serratia marcescens</i>

Nota: 1O, 2O, 3O= Invernaderos en producción orgánica; 4C, 5C, 6C= Invernaderos en producción convencional.

Los géneros de hongos más abundantes a nivel de la rizosfera para el sistema orgánico y convencional fueron: *Fusarium* spp, *Penicillium* spp, *Cladosporium* spp. Adicionalmente el sistema orgánico mostró altas poblaciones de *Rhizopus* spp. (Cuadro 14).

Cuadro 14. Géneros de hongos aislados de la rizosfera del chile dulce orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.

Géneros	Orgánico (UFC)	Convencional (UFC)
<i>Fusarium</i> spp	190	225
<i>Penicillium</i> spp	414	278
<i>Cladosporium</i> spp	119	169
<i>Trichoderma</i> spp	38	18
<i>Mucor</i> spp	14	0
<i>Phacelomyces</i> spp	10	26
<i>Rhizopus</i> spp	177	0
<i>Phoma</i> spp	44	1
<i>Aspergillus</i> spp	6	2
<i>Humicola</i> spp	6	2
<i>Stilbum</i> spp	0	2
<i>Acremonium</i> spp	2	1
No identificados	126	538

4.3.4 Índices de biodiversidad

Para el número de individuos de hongos de suelo por género no se encontraron diferencias significativas por tratamiento ($p = 0.8485$), así como no se encontraron diferencias significativas en biodiversidad utilizando el índice de Shannon ($p = 0.4266$) o el índice de Simpson ($p = 0.3269$) (Cuadro 15).

Cuadro 15. Índices de biodiversidad de géneros de hongos de suelo en sistemas de manejo orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.

Variable	Convencional	Orgánico	<i>p</i>
# géneros	12.67	12.67	>0.9999
N ind (UFC)	420.67	382	0.8485
Alpha	2.33	2.79	0.6028
Shannon	1.73	1.88	0.4266
Simpson	0.23	0.18	0.3269

4.4 Poblaciones totales de los inoculantes microbianos

4.4.1 Hojarasca

En la hojarasca que recolecta el productor en el bosque para preparar los MM, se observó que las UFC de bacteria y actinomicetes son mayores que las UFC de hongos, y no se observaron fuertes variaciones estacionales en las poblaciones de ninguno de los microorganismos evaluados (Figura 4).

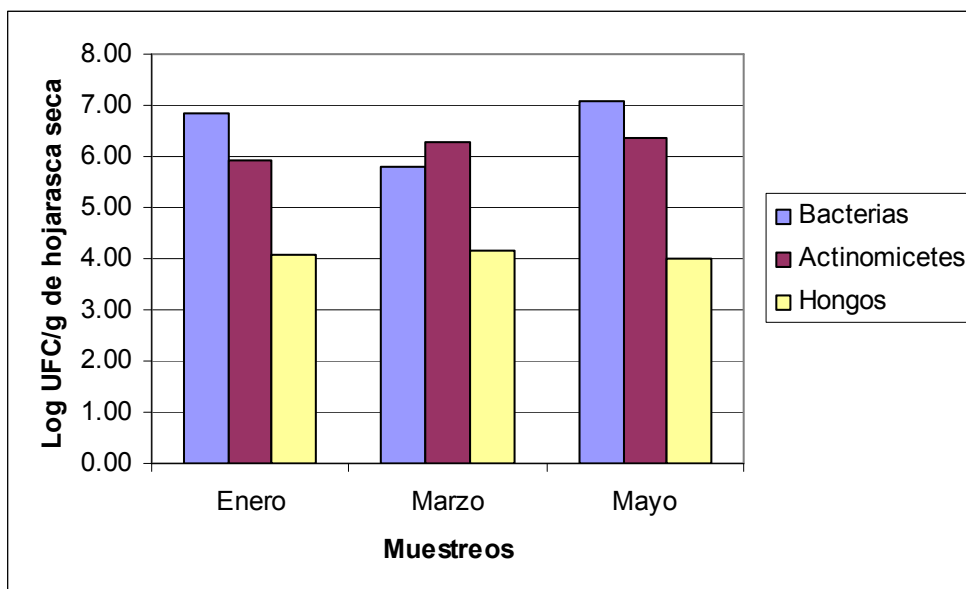


Figura 4. Población de microorganismos en la hojarasca del bosque que se usa para preparar el MM sólido de la Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz en los diferentes meses de muestreo.

4.4.2 MM Sólido

En los diferentes muestreos realizados al MM sólido que elabora el productor se encontró una población de hongos y actinomicetes muy estables. Las bacterias en el primer muestreo presentaron una alta población (7.42 log UFC/g MM seco), mientras que en las otras

dos preparaciones las poblaciones fueron menores (3.71 y 0 UFC/g MM seco) (Figura 5). En el primer muestreo el MM sólido tenía 15 días de preparado, en el segundo 2 meses de preparado y en el muestreo de mayo tenía 4 meses de preparado.

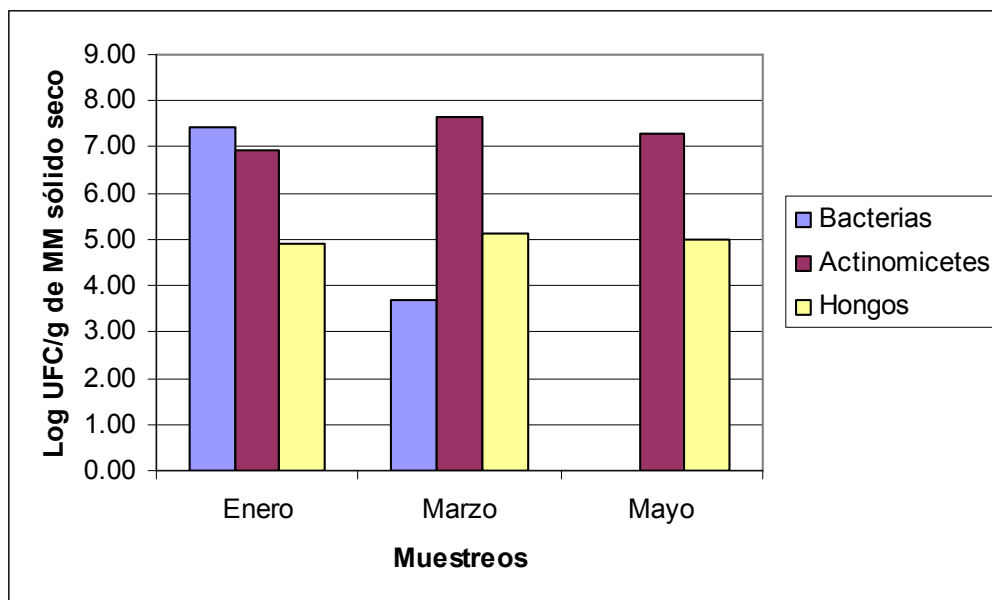


Figura 5. Población de microorganismos encontrados en el MM sólido preparado por la Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz, en tres diferentes épocas de muestreo.

4.4.3 MM Líquido

El MM líquido también fue muestreado en tres ocasiones, presentando una población variable de bacterias con un mínimo de 5.30 Log de UFC/ ml de MM líquido y una población algo estable de actinomicetes y hongos en los tres muestreos evaluados (Figura 6). El pH del MM líquido fue de 3.6, 3.5 y 3.4 respectivamente. En el primer muestreo el MM líquido tenía 5 días de preparado, en el segundo 10 días y en mayo tenía 15 días de preparado.

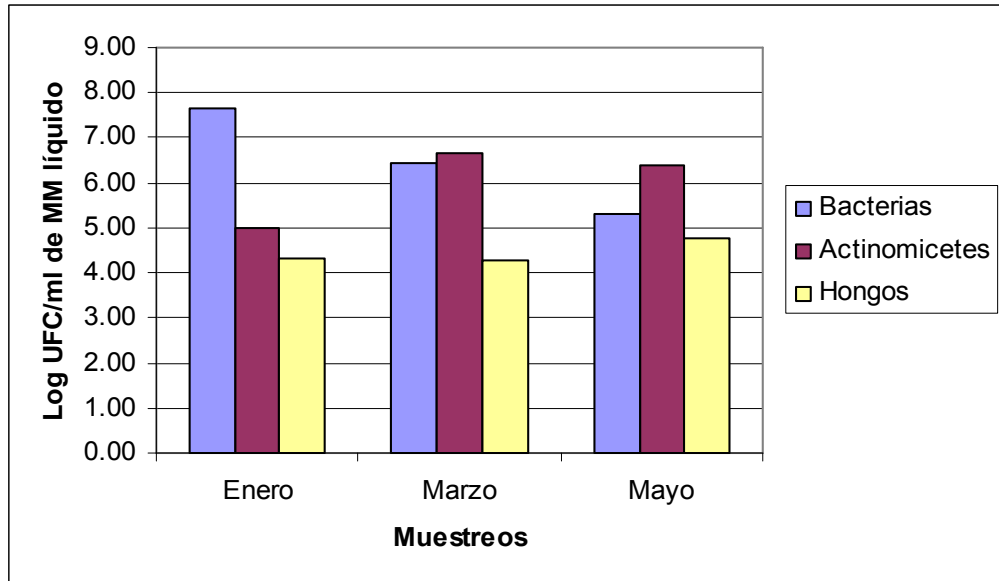


Figura 6. Población de microorganismos en el MM líquido producido por la Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz en los meses estudiados.

Al comparar las poblaciones de organismos predominantes en cada producto evaluado, es evidente que la hojarasca presenta una mayor población de bacterias aeróbicas y actinomicetes que de hongos, mientras que el MM sólido presenta más bacterias anaeróbicas y actinomicetes. El MM líquido favoreció el desarrollo de bacterias anaerobias seguidas por las bacterias aeróbicas y en menor medida los hongos (Figura 7).

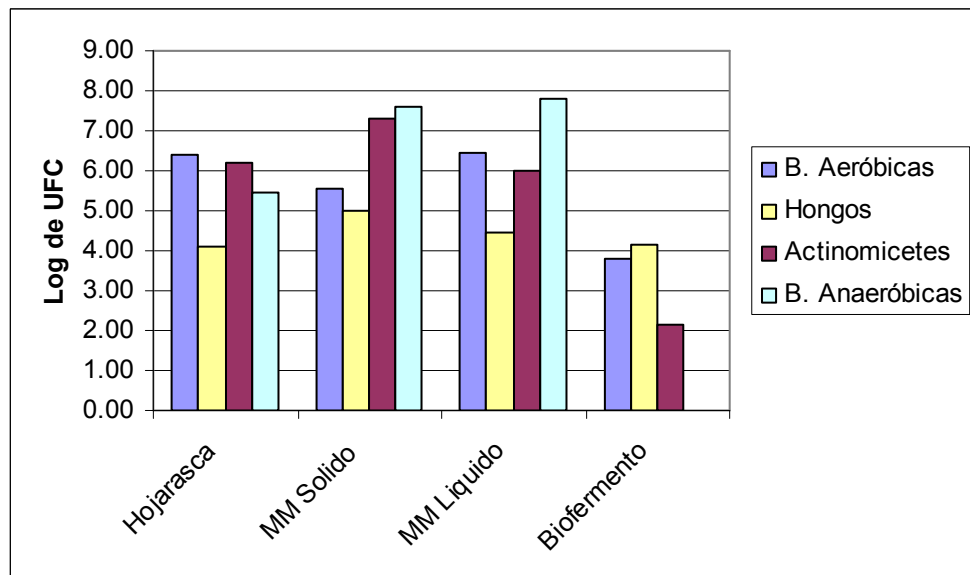


Figura 7. Poblaciones de microorganismos en los diferentes inoculantes usados por Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz. Las bacterias anaeróbicas no se cuantificaron del biofermento.

4.4.4 Identificación de microorganismos en los inoculantes

En cuanto la biodiversidad de hongos en los diferentes inóculos, la hojarasca fue la que presentó la mayor diversidad de géneros (Cuadro 16). El MM sólido presentó únicamente dos géneros *Penicillium* y *Cladosporium*, mientras que en el MM líquido se encontraron cuatro géneros, siendo *Penicillium* el género predominante (Cuadro 16).

En el MM líquido de APOT solo se encontró el género *Penicillium* y en el sólido no se observaron poblaciones de hongos. En el MM líquido de APROZONOC solo se encontró el género *Torula* y en el sólido no se encontró ningún género de hongos.

Cuadro 16. Población de hongos encontrados en los inoculantes microbianos de Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz.

Inóculo	Hojarasca	MM sólido	MM líquido	Biofermento
	Unidades formadores de colonia			
<i>Penicillium</i> spp	47	216	80	12
<i>Trichoderma</i> spp	17	0	0	1
<i>Fusarium</i> spp	3	0	0	16
<i>Cladosporium</i> spp	2	126	3	0
<i>Aspergillus</i> spp	18	0	0	0
<i>Phoma</i> spp	17	0	0	1
<i>Mortierella</i> spp	36	0	0	0
<i>Humicola</i> spp	3	0	5	0
No identificado	18	0	1	6

La mayoría de las bacterias aisladas de los diferentes inóculos son Bacilo Gram + (Cuadro 17), predominando la bacteria *Chryseobacterium indologenes* en los dos inóculos.

Cuadro 17. Bacterias encontradas en los diferentes inoculantes microbianos los productores de APODAR, APROZONOC y APOT.

Inoculante	Productor	Bacteria	Aislamiento
MM líquido	APOT	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	Aeróbico
MM líquido	APOT	<i>Chryseobacterium indologenes</i>	Anaeróbico
MM líquido	APOT	Bacilo Gram +	Anaeróbico
MM líquido	APOT	Bacilo Gram +	Aeróbico
MM líquido	APOT	Bacilo Gram +	Anaeróbico
MM sólido	APOT	Bacilo Gram + esporulado	Anaeróbico
MM sólido	APOT	<i>Chryseobacterium indologenes</i>	Anaeróbico
MM líquido	APROZONOC	Bacilo Gram +	Aeróbico
MM líquido	APROZONOC	Bacilo Gram +	Anaeróbico
MM sólido	APROZONOC	Bacilo Gram +	Anaeróbico
Hojarasca	APODAR	<i>Chryseobacterium indologenes</i>	Aeróbico
Hojarasca	APODAR	<i>Chryseobacterium indologenes</i>	Anaeróbico
Hojarasca	APODAR	<i>Chryseomonas luteola</i>	Anaeróbico
Hojarasca	APODAR	Bacilo Gram +	Aeróbico
MM sólido	APODAR	<i>Pasteurella pneumotropica</i>	Anaeróbico
MM líquido	APODAR	<i>Comamonas testosteroni</i>	Aeróbico
MM líquido	APODAR	Bacilo Gram +	Aeróbico
MM líquido	APODAR	Bacilo Gram +	Anaeróbico
MM líquido	APODAR	Bacilo Gram +	Aeróbico

Nota: APODAR: Asociación de Productores Orgánicos de Alfaro Ruiz, APOT: Productores Orgánicos de Turrialba, APROZONOC: Asociación de Productores Orgánicos de la Zona Norte de Cartago

4.5 Evaluación de promotores del crecimiento en invernadero

En la evaluación de promotores del crecimiento en plantas de chile dulce en invernadero, no se encontró diferencia significativa en la altura total de plantas ($p = 0.5007$), el peso fresco del tallo ($p = 0.6651$), el peso seco del tallo ($p = 0.7844$), el peso fresco de la raíz ($p = 0.9674$) o el peso seco de la raíz ($p = 0.6175$) (Cuadro 18).

Cuadro 18. Crecimiento de plántulas de 2.5 meses de chile dulce como respuesta a la aplicación de promotores de crecimiento aislados de la rizosfera de sistemas de manejo orgánico y convencional. Alfaro Ruiz, Alajuela, Costa Rica.

Tratamientos	Altura total cm	Peso fresco tallo (g)	Peso seco tallo (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco raíz (g)
T1	63.40	119.12	20.01	51.48	5.34
T2	67.12	110.44	20.29	52.28	5.29
T3	65.82	125.10	21.25	49.76	4.53
T4	66.82	116.74	19.79	45.92	4.18
T5	67.54	131.84	23.23	53.44	4.93
T6	68.52	133.28	22.58	53.94	5.52
T7	68.66	129.16	22.17	50.82	5.23
T8	63.14	131.40	22.33	57.14	5.17
T9	71.64	118.18	25.70	51.96	5.09
T10	70.10	142.70	24.30	59.66	6.51
<i>p</i>	0.5007	0.6651	0.7844	0.9674	0.6175

Nota: T1: hongos de la rizosfera en sistema convencional, T2: hongos de la rizosfera del sistema orgánico, T3: hongos de la rizosfera + bacterias de la rizosfera sistema convencional, T4: hongos de la rizosfera + bacterias de la rizosfera sistema orgánico, T5: bacterias de la rizosfera sistema convencional, T6: bacterias de la rizosfera sistema orgánico, T7: MM, T8: biofermento, T9: MM y biofermento, T10: sin inóculo.

5 DISCUSIÓN

5.1 Aspectos generales de la producción de chile dulce bajo invernadero

Es importante iniciar la discusión de los resultados de esta investigación analizando la situación de los productores de Alfaro Ruiz, ya que este es un cantón donde la producción orgánica de hortalizas se ha establecido con relativo éxito por más de 20 años, lo que ha llegado a tener un impacto en la producción convencional. En Alfaro Ruiz se encuentra la Cooperativa COOPEBRISAS que produce almácigos, bocashi y otros abonos orgánicos, así como una serie de productos biológicos para el manejo del cultivo. Esta cooperativa brinda además asistencia técnica a los productores y por tanto tiene mucha influencia en el manejo del cultivo que se realiza en la zona, especialmente en lo que respecta al manejo del suelo. Hace unos años COOPEBRISAS contrato para la producción de abonos orgánicos, almácigos y para dar asistencia técnica a sus productores al señor Henry Guerrero, productor orgánico de gran trayectoria y presidente de APODAR.

Estas razones han llevado a que, como se observó en el presente estudio, el manejo del suelo que realizan los productores convencionales sea muy similar al de los productores orgánicos. La estrategia que utilizan los productores convencionales, según fue evidenciado durante las entrevistas, es que ellos mezclan prácticas orgánicas con prácticas convencionales, pero al momento que se presente una plaga, les gusta tener la opción de poder utilizar el control químico para combatirla y evitar que esta cause mayores daños en el cultivo. Pero en lo que respecta a manejo de suelos, el manejo de ambos sistemas al día de hoy, no es tan diferente como se puede evidenciar en otras zonas del país. Es importante tener esto en cuenta a la hora de realizar estudios comparativos de sistemas de manejo sobre las características de suelo, como en el presente estudio.

La elaboración de la cama de siembra es similar entre productores orgánicos y convencionales ya que utilizan un motocultivador para preparar y surcar el terreno para posteriormente aplicar diferentes tipos y cantidades de sustratos (Cuadro 3). Los sustratos más utilizados son carbón vegetal que según los productores entrevistados, les ayuda a mantener la población de microorganismos, el bocashi comprado a COOPEBRISAS y como fuente de materia orgánica y de microorganismos. La mayoría de los productores aplican MM líquido sobre la cama antes y después de la siembra, con la gran diferencia que los convencionales lo aplican cada mes y los orgánicos lo aplican cada semana.

El chile dulce orgánico y convencional se mantiene con una presión baja de las plagas y los productores manifiestan que ellos realizan un manejo integral del cultivo como un buen manejo del riego y la fertilización. Los productores convencionales manejan una serie de plaguicidas que les ayudan a mantener sus cultivos libres de plagas usándolos en caso necesario y los orgánicos manejan aplicaciones frecuentes de bioproductos para mantener el cultivo saludable. Los ciclos de riego de los productores orgánicos son menos frecuentes y mantienen menor humedad en el suelo como estrategia para evitar el ataque de patógenos al sistema radicular.

El mercado del chile dulce se mantiene estable con pocas variaciones en el precio y se paga diferentes precios por la calidad del producto. Los productores orgánicos reciben un sobre precio por el sello orgánico que representa un 20% más sobre el precio base. Los productores orgánicos a través de APODAR están negociando con otros países para empezar a exportar su productos ya que cuentan con una calidad que es muy competitiva a nivel del mercados internacional.

En el estudio fue posible observar productores orgánicos y convencionales que realizan un manejo muy eficiente del cultivo, preocupándose por minimizar el impacto de las plagas, alargar el período de producción y asegurar una excelente cosecha. También se observaron productores, tanto orgánicos como convencionales con deficiencias de manejo, lo que se refleja en un cultivo con mayores síntomas de plagas, menor desarrollo de las plantas y un corto período de producción; estos productores aun no han podido estandarizar su manejo, les cuesta más el control de plagas y la interacción de los microorganismos no esta funcionando eficientemente para mantener un cultivo saludable. La potencialidad de un sistema de manejo, ya sea orgánico y convencional, va a depender del grado de cuidado y dedicación del productor. Estudios comparativos como el presente, deben incluir los dos tipos de productores de tal forma que se comparen los sistemas y no las tipologías de productores.

5.2 Nutrientes a nivel foliar

Los contenidos nutricionales a nivel foliar del chile dulce bajo invernadero son muy similares en los sistemas orgánico y convencional y no se encontraron diferencias significativas. La mayoría de los elementos se encuentran en el nivel suficiente para el desarrollo del cultivo de chile dulce comparados con los niveles críticos de CIA y UCR (2002)

(Cuadro 6). Estos resultados muestran que la producción orgánica, sin la utilización de abonos sintéticos como fertilización base, es capaz de suplir las necesidades nutricionales del cultivo. Sin embargo, en ambos sistemas el P se encuentra en el nivel bajo (0.29% en orgánico y 0.23% en convencional) (Cuadro 6) a pesar de que el suelo se observaron altos niveles de P extraíble (Cuadro 8). El Zn se encuentra alto a nivel foliar pero se puede deber a que en el suelo también se encuentra en el nivel alto. Los sistemas orgánicos presentan un porcentaje mayor de N foliar (4.24%) que los convencionales (3.96%) lo cual está en contraposición con los principios de agricultura orgánica que buscan que el contenido de N foliar sea más balanceado, tanto por razones de salud humana, como para disminuir la susceptibilidad a plagas que altos contenidos de N foliar genera (Regés 2006, Gliessman 2002).

5.3 Características físicas y químicas de suelo

El pH del suelo en el tratamiento orgánico es más alto (6.22) y se encuentra dentro de los niveles medios, mientras que en los tratamientos convencionales (5.36) está en el nivel bajo (Cuadro 8). Esto se puede deber en primera instancia a las constantes aplicaciones de grandes cantidades de fertilizantes sintéticos ya sea en la fertilización base, como a través del fertirriego que realizan los productores convencionales. Entre los fertilizantes nitrogenados de uso mas frecuente ya sea para el fertirriego o para la formulación de mezclas completas de fertilizantes se encuentran la urea, el nitrato de amonio y el sulfato de amonio. Durante su transformación en el suelo, la reacción libera protones (H^+) resultando en una reducción del pH del suelo (Chien 2001). En segunda instancia aunque los productores convencionales también aplican abonos orgánicos, es mayor la cantidad aplicada por los productores orgánicos. Estos abonos orgánicos son fuente de materia orgánica que actúa como buffer del pH del suelo (Julca et ál. 2006, Silva 1995, Pinochet et ál. 2004).

A pH menores de 5.5 la actividad de las bacterias y actinomicetes es baja; la nitrificación, la fijación de N, la mineralización y la amonificación prosperan mejor en condiciones cercanas a la neutralidad ya que la participación de las bacterias en estos procesos es decisiva (Bertsch 1998). La disponibilidad de nutrientes para el cultivo se podría afectar debido a la fijación y formación de complejos insolubles (Alexander 1977). Por debajo de este valor es donde elementos como Al, Mn, Fe se solubilizan y son tóxicos para los cultivos y elementos como P y B se vuelven no disponibles para las plantas ocasionando deficiencias

(Henríquez y Cabalceta 1999). Estos resultados son similares a los observados en otros estudios comparativos de sistemas de producción orgánica y convencional en granos (Reganold 1989), hortalizas (Drinkwater et ál. 1995) y café en CATIE, Turrialba (Soto et ál. 2005), donde el nivel de pH fue mayor en las fincas orgánicas que en las convencionales.

El Mg en ambos tratamientos se encuentra dentro del nivel medio (Cuadro 8) sin embargo es significativamente mayor su contenido en el tratamiento orgánico (4.49 mg/l) y esto se puede deber a la mayor cantidad de gallinaza y bocashi que aplican los productores orgánicos al momento de preparar la cama de siembra y al aporque, ya que estos abonos orgánicos son ricos en Mg (Bertsch 1998). En estudios realizados por Porras (2006) y George (2006) en la zona de Turrialba sobre suelo Inceptisol con cultivo de café con diferentes combinaciones de sombra encontraron mayor contenido de Mg en las fincas con manejo orgánico que las convencionales. Trabajos realizados por Bulluck III et ál. (2002) en Virginia y Maryland en fincas en rotación de melón y tomate para las convencionales y maíz y tomate para las orgánicas encontró mayor contenido de Mg, Ca, K y Mn en fincas orgánicas que en convencionales. Estos autores argumentan que estos contenidos son mayores por la aplicación de enmiendas orgánicas que se realizaron por el periodo de tres años en las fincas con manejo orgánico.

En ambos tratamientos el nivel de K y P es elevado esto se puede deber a la gran cantidad de material orgánico que se aplica en las camas de cultivo que son fuentes altas en K y P como son la gallinaza y el bocashi (Bertsch 1998 y Restrepo 2001) y las aplicaciones de fertilizantes químicos que aportan gran porcentaje de estos elementos. Los niveles de P son más altos en las fincas orgánicas, esto es especialmente importante tratándose de suelos Andisoles con alta capacidad de fijación de P. Similares resultados fueron observados en café por Soto et ál. (2005) en suelos del CATIE, Turrialba, y en banano orgánico en Honduras (Ligia Ramos, Dole, comunicación personal, 2006). Sin embargo, estos elevados niveles de P de los orgánicos (166.67 mg/ml) y convencionales (199.67 mg/ml) pueden causar contaminación de aguas subterráneas (MAPA 2006).

El contenido de Cu está dentro del nivel medio para ambos tratamientos siendo mayor en el convencional (Cuadro 8). El mayor contenido de Cu, Zn, Mn, Fe en los invernaderos convencionales se puede deber a la aplicación de estos elementos en el fertirriego ya que los productores orgánicos por lo general suplen las deficiencias nutricionales a través de la fertilización foliar. Elementos como Cu, Zn y Fe se hacen muy solubles a pH ácidos y suelos

con alto contenido de Fe y Mn tienen una gran capacidad de adsorber metales divalentes, especialmente Cu y Zn (García y Dorronsoro 2006; Cano et ál. 1997)

Los valores de densidad aparente que se encontraron en los invernaderos estudiados orgánicos ($0.47 - 0.66 \text{ g cm}^{-3}$) y convencionales ($0.38 - 0.80 \text{ g cm}^{-3}$) están por debajo del rango observado por Alvarado y Forsythe (2005) en Andisoles en Costa Rica (0.55 y 1.12 g cm^{-3}). Valores bajos de densidad aparente encontrados en los invernaderos se pueden deber a la gran cantidad de abonos orgánicos que utilizan los productores, ya que la MO disminuye la densidad aparente del suelo debido a que sus componentes son menos densos que los componentes minerales (Henriquez y Cabalceta 1999). Los valores más altos se registraron en el invernadero donde se aplicó menos abono orgánico. Datos similares fueron observados por Bulluck III et ál. (2002).

El contenido más alto de humedad en el convencional (60.08%) se puede explicar por una frecuencia de riego mayor que en el orgánico. Los ciclos de riego tan largos como los usados por los productores orgánicos podrían ocasionar marchitamiento por falta de agua, sin embargo, esto no fue observado, probablemente debido a que la materia orgánica ayuda a mantener la humedad del suelo (Nieto et ál. 2002).

5.4 Componentes biológicos

Los nematodos de la raíz fueron más abundantes en la producción orgánica (2469 individuos) que en convencional (119 individuos) Resultados similares fueron observados por Bloem (1994) trabajando con trigo bajo un sistema de manejo integrado del cultivo, donde se hicieron aplicaciones de materia orgánica al suelo. La diferencia fue atribuida al 30% más de materia orgánica que presentaba este tratamiento con respecto a los tratamientos testigo. Las poblaciones de nematodos de vida libre fueron mayores en las fincas orgánicas tanto a nivel de suelo como de raíz, probablemente debido a una mayor cantidad de materia orgánica que proporciona alimento. Resultados similares fueron observados por George (2006) en cafetales orgánicos de Turrialba.

El porcentaje de colonización de los hongos micorrízicos fue mayor en el sistema orgánico (79.58%) que en el convencional (70.56%). Similares resultados fueron observados por Ryan et ál. (1994, 2000) y Mäder et ál. (2000). Estos autores relacionaron las diferencias en el contenido de P, que se encontró un nivel más bajo en el orgánico que en convencional.

Se sabe que el P tiene efectos directos en el porcentaje de colonización de los hongos micorrícicos que disminuyen al aumentar el P disponible (Bolan 1991). Sin embargo en este estudio no se encontró diferencias significativas en el contenido de P entre los dos sistemas, más bien el nivel de P del sistema orgánico es un poco mayor (166 ppm) que el sistema convencional (119 ppm). Similar situación observó Hodge et ál. (2003), encontrando diferencias con el manejo del cultivo con agroquímicos que son utilizados por los productores convencionales. Los productores convencionales de este estudio realizan fertilizaciones con abonos químicos que contienen nitrógeno y en trabajos realizados por Pankhurst et ál. (1995) encontraron que había reducción en los hongos micorrícicos en cultivos donde se aplicaban abonos con N. Scullion et ál. (1998) y Eason et ál. (1999) encontraron que los hongos micorrícicos que colonizaban las plantas en el manejo convencional eran menos beneficiosos para mejorar el rendimiento del cultivo. Además se encontró diferencia en el porcentaje de colonización de los hongos micorrícicos siendo mayor en la profundidad de 0-10 cm al igual a los resultados obtenidos por Rodríguez (2003).

Los suelos donde se realizó el estudio son del orden Andisol que se caracterizan por tener buen contenido de P pero con una fijación que puede superar el 70% (Bertsch 1998), por lo que bajo estas condiciones es de gran ayuda mantener cultivos con alto porcentaje de colonización de hongos micorrícicos. Está demostrado que las micorrizas afectan indirectamente los procesos de fijación y solubilización del P, la mineralización de la MO al influir sobre los microorganismos del suelo presentes en la micorrizosfera (Guadarrama y Álvarez 1999)

En condiciones de baja humedad las plantas micorrizadas son más tolerantes al estrés de agua, se recuperan más rápido del marchitamiento y hacen uso más eficiente del agua absorbida (Sieverding 1991), esto podría explicar como los productores orgánicos manejan ciclos de riego más largos sin afectar la producción del chile dulce.

Las poblaciones de actinomicetes fueron mayores en las fincas orgánicas (6.26 Log de UFC/g de raíz) que en las convencionales (5.59 Log de UFC/g de raíz). Similares resultados fueron observados por George George (2006) en un estudio con productores de café en la zona de Turrialba, Costa Rica. La diferencia en el tamaño de las poblaciones de actinomicetes entre los dos sistemas de manejo, puede estar asociada a que las fincas orgánicas cuentan con un pH más cercano a neutro, lo que favorece su desarrollo ya que son poco tolerantes a la acidez (Julca et ál. 2006). Aunque los actinomicetes necesitan humedad para su desarrollo, sus

esporas pueden soportar prolongadas sequías por más tiempo que otros microorganismos, hasta llegar a dominar la población edáfica (Wild 1992). Esto nos ayuda a entender que aunque los productores orgánicos manejan menor humedad tienen mayor población de actinomicetes.

En un estudio de indicadores de suelos en el sur de Australia, Pankhurst et ál. (1995) no encontraron diferencias significativas entre las poblaciones de actinomicetes en una comparación de cuatro tratamientos de labranza, tres tratamientos del manejo del rastrojo de trigo y cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada, pero encontraron una mayor población de actinomicetes y hongos en los tratamientos donde se mantuvo el rastrojo de trigo en el suelo y donde se realizó labranza cero. En las fincas orgánicas del estudio hay mayor acumulación de materiales orgánicos, materiales que son degradados por los actinomicetes contribuyendo al aumento de la MO del suelo (Alexander 1977).

Además de los actinomicetes, no se observaron diferencias significativas en las poblaciones de hongos y bacterias entre los dos sistemas de manejo. Hole et ál. (2005) menciona que en cinco estudios que compararon las comunidades microbianas de suelos en sistemas de manejo orgánico y convencional se encontraron pocas diferencias (Foissner 1992, Girvan et ál. 2003, Shannon et ál. 2002, Wander et ál. 1995, Yates et ál. 1997, Bettioli et ál. 2002). Sin embargo hay estudios que encontraron una mayor población de bacterias (Bossio et ál. 1998, Fraser et ál. 1988, Scow et ál. 1994) y hongos (Fraser et ál. 1988, Shannon et ál. 2002, Yeates et ál. 1997) en sistemas orgánicos que en convencionales.

Es posible que esta variabilidad de respuestas se deba en parte a la variabilidad entre las metodologías de medición utilizadas para cuantificar las poblaciones de microorganismos del suelo. El método utilizado en esta tesis (recuento en plato) ha sido ampliamente criticado porque solamente una fracción pequeña de la biomasa microbiana se podría cultivar en un medio selectivo (Grigorova y Norris 1990). Sin embargo, Bulluck III et ál. (2002) encontraron que los hongos y bacterias cultivables eran más abundantes en suelos con manejo orgánico que con manejo convencional. La selección del método se basó sobre todo en accesibilidad y disponibilidad de recursos.

Según Sylvia et ál. (1998), las bacterias y actinomicetes son los habitantes más numerosos de la rizosfera, y los hongos se encuentran en poblaciones menores. Esto es similar a lo encontrado en este estudio donde las bacterias y actinomicetes fueron los más dominantes en la rizosfera de plantas de chile dulce. Las bacterias de grupo de los Bacilo Gran + fueron

las más frecuentes en la rizosfera del chile dulce de ambos sistemas de manejo esto es similar a lo encontrado por Castellanos (2001) sobre la rizosfera de plantas sanas de papa bajo manejo orgánico. En la rizosfera de las plantas de chile dulce bajo el sistema orgánico los géneros de hongos más frecuentes fueron: *Fusarium* spp, *Penicillium* spp, *Cladosporium* spp y *Rhizopus* spp, *Trichoderma* spp, *Phoma* spp; similar a los encontrados por Castellanos (2001) sobre la rizosfera de plantas sanas de papa bajo manejo orgánico.

Los indicadores de biodiversidad Shannon-Weiner y Simpson aplicados a los géneros de hongos no mostraron diferencias significativas entre sistemas de manejo. Esto se puede deber a que los dos sistemas aplican los mismos tipos de abono orgánico (bocashi de Coopebrisas), lo que potencialmente generaría poblaciones similares de microorganismos.

En estudios realizados por Elmholt y Labouriau (2005), se encontró que *Penicillium* y *Gliocladium roseum* eran más abundantes en fincas orgánicas, mientras que *Trichoderma* fue más abundante en convencionales. Sin embargo, en este trabajo tanto *Penicillium* como *Trichoderma* fueron más abundantes en sistema orgánico. Se podría pensar que la fuente de inóculo para la población de *Penicillium* son los biopreparados que aplican los productores orgánicos debido a que estos cuentan con una población considerable de este hongo.

En trabajos realizados por Bulluck III et ál. (2002) para estudiar los efectos de enmiendas orgánicas y sintéticas sobre las comunidades microbianas en tres fincas orgánicas y tres convencionales, ellos encontraron que las fincas orgánicas tenían mayor población inicial de *Trichoderma*, y que las fincas convencionales después de dos años de recibir enmiendas orgánicas las poblaciones de hongos como *Phytophthora* y *Pythium* decrecían. Esto puede explicar porque en este estudio solo se encontró un género de hongos descrito como patógeno (Cuadro 14) para el cultivo del chile dulce ya que en los dos manejos aplican gran cantidad de enmiendas orgánicas que regulan las poblaciones de hongos del suelo.

El índice de Shannon, aunque no dio diferencias significativas, indica que hay mayor diversidad en el sistema orgánico (1.88) que en el convencional (1.73). El índice de Simpson nos indica que hay mayor dominancia por parte de algunos géneros presentes en el sistema convencional (0.23) que cuentan con la mayoría de los individuos. Esto se puede deber a que en el convencional un pH bajo y las aplicaciones de productos sintéticos han favoreciendo uno o dos géneros de hongos lo que nos da un índice de Simpson mayor en cambio en el sistema orgánico un pH menos ácido favorece más a las poblaciones de los diferentes géneros de hongos favoreciendo una mayor diversidad (Elmholt y Labouriau 2005, Alexander 1977).

En general, después de evaluar los dos sistemas de producción, se puede concluir que se encontraron pocas diferencias en las variables evaluadas entre ambos sistemas, lo cual puede ser muy positivo para los productores orgánicos ya que sin la utilización de productos sintéticos mantienen un cultivo en buen estado en comparación con los productores convencionales que si usan productos sintéticos. Para los productores convencionales se puede destacar que el manejo basado en utilización de enmiendas orgánicas y los productos sintéticos solo en momentos que sea necesario están manteniendo un cultivo en buenas condiciones. Productores convencionales con buen manejo del cultivo se les facilita la transformación a productores orgánicos y así lograr sobre precio por sello orgánico.

5.5 Caracterización de los inoculantes microbianos MM

La hojarasca que extrae el productor del bosque como materia prima para la elaboración del MM es una fuente rica en microorganismos y principalmente en bacterias y actinomicetes (Figura 4). Las bacterias poseen una gran variedad de funciones en el suelo. La descomposición de residuos de animales, plantas y microorganismos es llevada a cabo por bacterias heterótrofas. Estas bacterias tienden a ser los miembros más numerosos de la comunidad microbiana del suelo y su selectividad de los substratos varía grandemente de una especie de bacteria a otra. Las bacterias quimioautótrofas del suelo, juegan un papel importante en los ciclos de nutrimentos (Alexander 1980, Parkinson y Coleman 1991). El bosque donde se tomó la muestra cuenta con diferentes tipos de árboles latifoliados y con una gran cantidad de material vegetal sobre el suelo que es fuente de alimento para una amplia diversidad de bacterias.

La alta población de actinomicetes en la hojarasca se debe a que en este bosque se encuentran las condiciones adecuadas para su desarrollo, tales como una acumulación de diversos materiales orgánicos recalcitrantes (hojas, ramas, entre otros) (Alexander 1977), y una humedad constante necesarias para su desarrollo (Tejada 2002).

Los hongos en la hojarasca fueron los que presentaron una población más baja; pero se mantuvieron estables en el tiempo. Esto puede indicar que el bosque donde el productor extrae su materia prima, para la elaboración de sus bioproductos es muy estable y que no hay cambios fuertes que afecten la población de hongos. Lo que aseguraría contar con una fuente de inóculo constante. Los hongos soportan más cambios en el pH que las bacterias así que cualquier cambio que se produzca en el bosque afectará más a la población de bacterias (Parkinson y Coleman 1991). Según Waldrop et ál. (2000) la población de hongos en un

bosque es mayor que la de bacterias cuando los materiales vegetales son más grandes, una vez que la materia vegetal se va descomponiendo va aumentando la población de bacterias y disminuyendo la de hongos. Esto puede explicarse porque la población de bacterias fue mayor a la de hongos en la muestra, ya que los productores lo que toman es la porción del matillo del bosque que es más fina.

Urtecho (2004), en sus recomendaciones para la elaboración del inóculo MM recalca la importancia de que la recolección de suelo de bosque se realice en áreas cercanas al lugar donde se pretende utilizar el producto, esto con el fin de no introducir microorganismos de áreas geográficas diferentes con condiciones agroecológicas muy distintas, ya que esto podría favorecer la producción y potencialización de organismos patógenos al cambiar las condiciones en que se desarrollan naturalmente.

El MM sólido mostró una variación en la población de bacterias a lo largo del tiempo, lo que puede afectar las poblaciones del MM líquido, ya que el MM sólido es la principal fuente de bacterias que se utiliza para la elaboración del MM líquido. Las causas que pueden ocasionar estas variaciones incluyen: variaciones en el pH, dado que las bacterias son muy afectadas por pH menores a 5 (Alexander 1977), pequeñas variaciones en los sustratos, o variaciones en la humedad o el contenido de oxígeno. Pero pareciera que el productor aun no ha podido estandarizar el MM sólido para mantener una población constante de bacterias como si se ve en el caso de actinomicetes y hongos. La presencia de bacterias en estos productos es de suma importancia ya que estas son los artífices de la fermentación que es esencial en la producción de biofermentos. Las poblaciones de hongos y actinomicetes se mantuvieron estables en los tres muestreos a pesar de que el sistema de reproducción es anaeróbico y que como grupo, solo una minoría de géneros son anaeróbicos. Aunque las poblaciones aeróbicas pueden sobrevivir por largos periodos como esporas o conidias (Alexander 1980).

El MM líquido presenta poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetes con una pequeña fluctuación en las tres diferentes preparaciones muestreadas, manteniendo siempre una población considerable (Figura 6). Esto se puede deber a que el productor ya ha estandarizado el proceso de producción. Esta es una fermentación que ocurre en un ambiente anaeróbico, por lo que es de vital importancia la presencia de microorganismos anaeróbicos o anaeróbicos facultativos para que produzcan, a partir de la materia orgánica, compuestos como vitaminas, minerales y ácidos. Estas sustancias que se producen como resultado de la

fermentación, son indispensables para el metabolismo y generan un buen equilibrio nutricional en la planta (Restrepo 1998). Hay algunos géneros de hongos y bacterias que producen fermentación lipolítica y proteolítica y son encontrados en los MM sólidos y líquidos como son los *Penicillium* spp y *Bacillus* spp. A pesar que no se cuantificaron las poblaciones de levaduras en el MM líquido, se encontraron poblaciones altas las cuales son muy importantes en el proceso de fermentación (Frioni 1999). En trabajos realizados por Gollner et ál. 2000 encontraron una interacción entre las levaduras y las micorrizas, siendo mayor la producción cuando están las dos presentes. Pero hubo mucha variabilidad entre especies de levaduras y especies de micorrizas. Por lo que lo recomendable sería conocer las especies que se encuentran en los inoculantes microbianos y ver si sobreviven en el suelo ya que pueden favorecer el crecimiento de las plantas.

En los análisis de los inoculantes microbianos de APOT y APROZONOC se observó una población menor de hongos con respecto a APODAR, hecho que se atribuye a que aun no tienen bien ajustado el proceso de elaboración de los bioproductos. En APOT y APROZONOC en los MM sólidos no se encontró ningún género de hongos. Las bacterias del grupo de los Bacilo Gram + se encontraron en todos los inoculantes de APOT y APROZONOC.

Las bacterias de grupo de los Bacilo Gram + se encontraron en todos los inoculantes que se evaluaron en este estudio. Este grupo de bacterias se caracterizan por encontrarse en grandes cantidades a nivel de suelo y por ser muy usadas en el control biológico y como promotoras de crecimiento (Lecuona 1995). En esta investigación se observó que la bacteria *Chryseobacterium indologenes* fue muy frecuente en los inoculantes microbianos. Según trabajos realizados por Castellanos (2001), en estudios microbiológicos sobre caldos microbianos preparados con la rizosfera de papa fue muy común encontrar la presencia de *Chryseobacterium indologenes*. También encontraron altas poblaciones de hongos de los géneros *Trichoderma* spp, *Penicillium* spp y *Cladosporium* spp., datos similares se encontraron en este estudio.

Géneros de hongos encontrados en los bioproductos y a nivel de la rizosfera de las plantas de chile dulce en ambos sistemas de manejo son: *Fusarium* spp, *Trichoderma* spp y *Penicillium* spp, que forman simbiosis, especialmente en micorrizas y son de gran importancia para el desarrollo de las plantas, por su papel en la toma de nutrimentos, resistencia a las enfermedades y relaciones hídricas favorables (Parkinson y Coleman 1991).

5.5.1 Inocuidad y calidad de los inoculantes microbianos

La calidad de los inoculantes microbianos es muy importante ya que se está aplicando un producto al campo, esperando una respuesta estandarizada en el tiempo. Sin embargo, muchas veces no se conoce la población ni los microorganismos que contiene el inóculo. Los inoculantes en general, se caracterizan por tener poblaciones altas de microorganismos que provienen de una fuente principal que en este caso es la hojarasca de la montaña (Restrepo 1998).

En lo que respecta a la población de hongos, el productor parte con un sustrato rico en diversidad, ya que la hojarasca que se trae del bosque como fuente de microorganismos cuenta con altas poblaciones de diversos géneros de hongos (Cuadro 16). Esta hojarasca es mezclada con semolina y melaza para aumentar la población de microorganismos; pero aunque la población aumenta de 4 a 5 Log de UFC de hongos, la diversidad de géneros se va perdiendo por los sustratos y las condiciones utilizadas para su reproducción (anaerobiosis). Esto se evidencia en las poblaciones encontradas en el MM sólido, donde se observa la predominancia de *Penicillium* spp y *Cladosporium* spp., y en el caso del MM líquido se ve favorecido solo *Penicillium* spp. Por esta razón es de suma importancia que el productor realice análisis de sus inoculantes en el momento que el producto esté listo para ser utilizado y durante el periodo que recomienden para su almacenamiento. Esto con el objeto de conocer que se está aplicando al campo, y además que se cuente con un respaldo de los microorganismos que contiene el producto para protegerse de cualquier reclamo en caso de comercialización.

Otro aspecto referente a la calidad del producto es la inocuidad del mismo. El productor debe asegurar que microorganismos como *Chryseobacterium indologenes* o *Pasteurella pneumotropica*, cuya presencia fue detectada en los inoculantes de APODAR y APOT (Cuadro 17), no alcancen niveles de riesgo para la salud humana. Es claro que la patogenicidad y el riesgo que estas bacterias representan para salud humana va a depender muchos factores, desde la salud del operador, hasta las poblaciones presentes y las cepas, pero ambas bacterias han sido reportadas, como bacterias fermentadoras que pueden afectar la salud humana (Cascio 2005, Carriquiriborde 2006). Es esencial que los productores manejen la elaboración y la aplicación de los inoculantes microbianos con equipo de protección y mantener las medidas de asepsia para evitar contaminación de microorganismos que pueden afectar la salud tanto del productor como del consumidor.

5.6 Promotores de crecimiento

En la evaluación de los microorganismos de la rizosfera de los sistemas de manejo orgánico y convencional como promotores de crecimiento de chile dulce, no mostró diferencias significativas en el crecimiento del chile. Esto se puede deber a que se produjeron interacciones antagónicas, ya sea entre los microorganismos aplicados, o con los organismos existentes en el suelo. Alexander (1977) demostró que la adición de glucosa y nitrato de potasio provoca competencia entre hongos y bacterias en un suelo neutro si uno de estos sustratos llegaran a escasear. Según Alexander (1977) el mejor competidor en general es el que presenta el menor tiempo de germinación, y se multiplica a la misma velocidad en cultivo puro y en mixto. En el suelo una de las principales limitantes es el carbono, y la competencia por este elemento se hace evidente cuando la densidad de una población es alta. Al agregar sustancias carbonatadas fácilmente metabolizables, se observa el levantamiento de la inhibición de la población de débil poder competitivo (Frioni 1999). En el caso de que se diera este tipo de competencia, es posible que sea necesario continuar este experimento por más tiempo, hasta el punto que las poblaciones introducidas logren superar en número a las poblaciones existentes en el sustrato. Este puede ser el resultado que los productores, a través de un uso continuo de estos inoculantes, han llegado a observar. Mientras que en un experimento de ocho semanas, no fue posible ver ningún impacto. Habría sido posible también realizar este experimento en suelo estéril, pero se prefirió trabajar en condiciones naturales.

Según Frioni (1999), los máximos valores de estimulación de crecimiento se encuentran en la floración y fructificación de los cultivos. En trabajos realizados por Mazariegos y Colindres (2002) sobre la producción de chile picante con o sin presencia de arvenses y bajo cinco concentraciones de abono líquido orgánico fermentados, no se encontró diferencia significativa en el crecimiento de las plantas. Sin embargo si se encontró diferencia significativa en la producción, siendo mayor en la concentración de 16% de abono líquido orgánico fermentado y sin arvenses.

En trabajos realizados por Bettioli et ál. (2002), se observó que tanto la población de bacterias como de hongos fluctuó a lo largo del desarrollo del cultivo de tomate, siendo la cantidad de bacterias mayor cuando la planta cubre bien el suelo. Esto se puede deber a que el suelo al descubierto afecta la población de bacteria o que en el desarrollo de las plantas van produciendo compuestos que van favoreciendo determinada población de microorganismo y desfavoreciendo a otros. Esto puede explicar que las poblaciones que se inocularon en este

trabajo en el cultivo de chile dulce no fueron favorecidas al momento que trataron de colonizar las plantas.

6 CONCLUSIONES

- Los sistemas de producción convencional de chile dulce utilizan abonos sintéticos, aplicación de plaguicidas y la frecuencia de riego mayor comparado con los sistemas orgánicos.
- Los sistemas de producción convencional y orgánico aplican MM líquido al suelo y enmiendas orgánicas.
- Los suelos bajo el sistema de manejo orgánico presentaron niveles significativamente mayores de magnesio (Mg) con respecto al sistema convencional.
- El sistema orgánico presentó mayor porcentaje de colonización de los hongos micorrícicos y una población mayor de actinomicetes en la rizosfera que el sistema convencional.
- En los inoculantes microbianos así como en la rizósfera del chile dulce de los sistemas orgánicos y convencionales las bacterias Bacilo Gram + y el hongo *Penicillium* spp fueron las más predominantes.
- Las pruebas de crecimiento en invernadero sobre plantas de chile dulce no detectaron efecto de las aplicaciones de los microorganismos aislados de la rizosfera del sistema orgánico, convencional y de los inoculantes producidos por APODAR.

7 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más estudios sobre los siguientes indicadores biológicos de calidad y salud del suelo como: hongos micorrícicos y actinomicetes, para estandarizar su uso como indicadores de calidad de suelo bajo los sistemas de la zona.
- Dadas las altas poblaciones de actinomicetes y levaduras observadas en los sistemas de producción del cantón de Alfaro Ruiz, y la poca información que existe al respecto, se recomienda hacer un estudio más detallado sobre sus aportes al sistema.
- Considerando el mayor porcentaje de infección de hongos micorrícicos observado en el sistema orgánico, se recomienda evaluar el aporte real de los mismos y desarrollar estrategias para potencializar su efecto.
- Determinar los metabolitos producidos por la actividad microbiana en los inóculos MM sólido y MM líquido y su importancia en el desarrollo del cultivo.
- Considerando la alta cantidad de abonos orgánicos aplicados por los productores, se recomienda realizar balances de nutrientes, y considerar posibles riesgos de contaminación de aguas subterráneas por nitratos o fósforo.
- Se recomienda a los productores de MM, tomar medidas de precaución para disminuir cualquier riesgo de contaminación por microorganismos patógenos habitantes del suelo durante la elaboración del producto.
- Se recomienda a los productores de MM establecer un sistema de monitoreo de la calidad de sus productos para poder garantizar el producto que usan en el campo. Es también especialmente importante esta recomendación para aquellos productores que se dedican a la comercialización del MM.
- Se sugiere a los productores que han desarrollado la tecnología para la elaboración de bioproductos y técnicas de aplicaciones que patenten sus productos.

Recomendaciones metodológicas:

- Se recomienda utilizar medios selectivos para diferentes tipos de microorganismos (tales como levaduras) o técnicas moleculares para caracterizar las poblaciones microbianas de los bioproductos para ver cuales son los microorganismos que están en cada paso y estudiar su importancia.

- En estudios posteriores se recomienda evaluar los microorganismos de la rizosfera y los bioproductos llevando los experimentos hasta producción final y considerar evaluaciones más integrales que incluyan no solo crecimiento sino también, presencia de plagas y calidad del producto final.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2 ed. John Wiley and Sons Inc. USA.467 p.
- _____. 1980. Microbiología del suelo. AGT Editores. México. 491 p.
- Allison, FE. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier Scientific, New York, 637p.
- Alvarado, A; Forsythe, W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1):85-94.
- Altieri, M. 1999. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sostenible. Nordan-comunidad. 338 p.
- Arauz Cavallini, LF. 1998. Fitopatología: un enfoque agroecológico. 1 ed. San José, CR. 467 p.
- Atlas, R; Bartha, R. 2002. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4 ed. Madrid, ES. Pearson Educación S.A. 667 p.
- Azcón Aguilar, C; Barea, JM. 1992. Interactions between mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganisms. *In Mycorrhizal Functioning. An integrative plant-fungal process.* ed MF. Allen, Chapman Hall, Nueva York. p. 163-198
- Baker, FK; Cook, JR. 1982. Biological control of plant pathogens. Minnesota, US, American Phytopathological Society. 433 p.
- Barea, JM; Azcón Aguilar, C. 1982. La rizosfera: Interacciones microbio-planta. *Anales de edafología y agrobiología.* 41:1517-1532.
- Bautista, CA; Etchevers, B; del Castillo; RF. Gutiérrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores (en línea). Consultado el 5 de set 2006. Disponible en <http://www.aeet.org/ecosistemas/revision2.htm>
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de suelos y su manejo. ACCS. San José, CR. 157 p.
- Bethlenfalvay, GJ. 1992. Mycorrhizae in the agricultural plan-soil system. *Symbiosis* 14:413-425.
- _____; Linderman, RG. 1992. Preface. *In Mycorrhizae in sustainable agriculture.* Ed. Bethlenfalvay, GJ; Linderman, RG. Madison, Wisconsin. USA. ASA Special Publication Number 54. p 45-70

- Bettiol, W; Ghini, R; Haddad Galvão, JA; Vieira Ligo, MA; Carvalho Mineiro, JL. 2002. Soil organisms in organic and conventional cropping systems. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. Vol 59(3):565-572
- Black H, IJ; Hornung, M; Bruneau P, MC; Gordon, JE; Hopkins, JJ; Weighell, AJ; Williams D, LI. Soil Biodiversity Indicators for Agricultural Land: Nature Conservation Perspectives (en línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en [http://webdomino1.oecd.org/comnet/agr/soil_ero_bio.nsf/viewHtml/index/\\$FILE/BlacketA111June.PDF#search=%22Soil%20Biodiversity%20Indicators%20for%20Agricultural%20Land%3A%20Nature%20Conservation%20Perspectives.%20%22](http://webdomino1.oecd.org/comnet/agr/soil_ero_bio.nsf/viewHtml/index/$FILE/BlacketA111June.PDF#search=%22Soil%20Biodiversity%20Indicators%20for%20Agricultural%20Land%3A%20Nature%20Conservation%20Perspectives.%20%22)
- Blakeman, JP; Fokkema, NJ. 1982. Potential for biological control of plant diseases on the phylloplane. *Annual Review of Phytopathology* 20:167-192.
- Blanco, FA; Salas, EA. 1997. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 21(1): 55-67.
- Bloem, J. 1994. Dynamics of microorganisms, microbivores and nitrogen mineralisation in winter wheat fields under conventional and integrated management. *Agriculture Ecosystems and Environment* 51 (1-2), 129-143.
- Bolan, NS. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil* 134: 189-207
- Bossio, DA; Scow, KM; Gunapala, N; Graham, KJ. 1998. Determinants of soil microbial communities: Effects of agricultural management, season, and soil type on phospholipid fatty acid profiles. *Microbial Ecology* 36, 1–12.
- Brandt, K; Lück, L; Wyss, GS; Velimirov, A; Torjusen, H. 2005. Producción de Tomate Control de la Calidad y Seguridad en las Cadenas de Producción Orgánica (en línea). Consultado el 12 nov 2005. Disponible en http://www.organicaccp.org/Upload/OrganicHACCP/Leaflet/ES/12_Tomatoes_ES.pdf
- Brundrett, M; Bougher, N; Dell, B; Grove, T; Malajczuk, N. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. ACIAR. Canberra, Australia. Monograph 32. 374 p.
- Bulluck III, LR; Brosius, M; Evanylo, GK; Ristaino, JB. 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology* 19:147-160.

- Bunning, S; Jiménez, JJ. 2003. Soil Indicators and Assessment of Soil Biodiversity/Soil Ecosystem Functioning for Farmers and Governments. Soil Erosion and Biodiversity. Rome, Italy 25–28
- Cano Parrilla, MA; Moreno García, AM; González Parra, J. 1997. Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de cultivo. *Ecología* 11: 83-89
- Carrquiriborde, M; Milocco, S; Pincipi, G; Cagliada, P; Carbone, C. 2006. *Pasteurella pneumotropica* causa la regresión de tumores humanos Trasplantados en ratones inmunodeficientes. *Medicina*. Buenos Aires. 66: 242-244.
- Carroll, GC. 1990. Fungal endophytes in vascular plants: Mycological research opportunities in Japan. *Trans. Mycol. Soc. Japan*, 31:103-116.
- Castañeda Samayoa, OR, 1999. Transición de la agricultura convencional a la agricultura orgánica: el proceso, costos y consecuencias. *In Agricultura Orgánica. Memoria sobre del simposio Centroamericano*, Eds. García G, JE; Monge-Nájera, J. EUNED, pp. 351-362.
- Castellanos, D. 2001. Identificación de microorganismos aislados a partir de un caldo microbiano de rizosfera de planta de papa (*Solanum tuberosum*) sanas provenientes de un cultivo bajo tratamiento orgánico. Thesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Carrera de Microbiología. 125 p.
- Cascio, A; Stassi, G; Costa, GB; Crisafulli, G; Rulli, I; Ruggeri, C; Iaria, CH. 2005. *Chryseobacterium indologenes* bacteraemia in a diabetic child. *Journal of Medical Microbiol* 54:677-680.
- CATIE. 1993. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de Chile dulce. Serie Técnica, Informe técnico No.201. Turrialba, Costa Rica. p. 64-65.
- Chien, SH. 2001. Efecto de diferentes fuentes de N amoniacal sobre la acidificación del suelo (en línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en <http://www.fertilizando.com/>
- Díaz Romeo, R; Hunter, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos, tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, CATIE. 68 p.
- Doran, JW; Parkin, BT. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.

- _____ ; Parkin, TB. 1996. Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. *In* Methods for assessing soil quality, eds. Doran, J.W. and Jones A.J.; Soil science society of America, Inc. Madison, pp. 25-37.
- _____ ; Sarrantonio, M; Liebig, MA. 1996. Soil health and sustainability *Adv. Agron.* 56: 1-54.
- Drinkwater, LE; Letourneau, DK; Workneh, F; Van Bruggen, AHC; Shennan, C. 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications*, v.5, p.1098-1112.
- Eason, WR; Scullion, J; Scott, EP. 1999. Soil parameters and plant responses associated with arbuscular mycorrhizas from contrasting grassland management regimes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 73:245-255.
- Elmholt, S; Labouriau, R. 2005. Fungi in Danish soils under organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 107: 65-73.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1999. La agricultura orgánica (en línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9901sp3.htm>
- FAO. 2003. Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria. Roma, IT. 253 p.ç
- FAO. 2004. Datos centrales de producción (En línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=408&lang=es>
- Ferris, H. 1996. Dynamics of nematode communities in tomatoes grown in conventional and organic farming systems and their impact on soil fertility. *Applied Soil Ecology.* 3(2), 161-175.
- Foissner, W. 1992. Comparative-studies on the soil life in ecofarmed and conventionally farmed fields and grasslands of Austria. *Agriculture Ecosystems & Environment* 40, 207–218.
- Fraser, DG; Doran, JW; Sahs, WW; Lesoing, GW. 1988. Soil microbial-populations and activities under conventional and organic management. *Journal of Environmental Quality* 17, 585–590.
- Frioni, L. 1999. Procesos microbianos. Río Cuarto: Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. 332 p.
- García G, JE.; Mojica B, FJ; Nájera, JM. 1995. Agricultura Orgánica. Memoria del Simposio Centroamericano. San José CR. p. 45-61

- García, I; Dorronsoro, C. 2006. Contaminación por metales pesados (en línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/conta/tema00/progr.htm>
- Garijo Alba, C; García García, EJ. 1991. El control integrado en los cultivos hortícolas. *In* Plagas del tomate: bases para el control integrado. Madrid. p. 15-35
- George, A. 2006. Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 101 p.
- Girvan, MS; Bullimore, J; Pretty, JN; Osborn, AM; Ball, AS. 2003. Soil type is the primary determinant of the composition of the total and active bacterial communities in arable soils. *Applied and Environmental Microbiology* 69, 1800–1809.
- Gliessman, SR. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, CR. CATIE. 359 p.
- Gollner, MJ; Püschel, D; Rydlová, J; Vosátka, M. 2006. Effect of inoculation with soils yeasts on mycorrhizal symbiosis of maize. *Pedobiologia* 50(4): 347.
- Gómez Cruz, MA; Gómez Tovar, L; Schwentesius Rindermann, R. 2003. México como abastecedor de productos orgánicos. *Comercio exterior*. Volumen 53, N° 2. p 128-138.
- Grigorova, R; Morris, JR. 1990. *Methods in microbiology. Techniques in microbial ecology*. London: Academic Press. 627p.
- Guadarrama, P; Álvarez Sánchez, J. 1999. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest, Veracruz, Mexico. *Mycorrhiza* 8:267-270.
- Gupta, VVSR; Yeates, GW. 1997. Soil microfauna as bioindicators of soil health. *In* Pankhurst, EC; Doube, BM; Gupta, VVSR. (eds). *Biological indicators of soil health*. CAB Internacional. UK. p. 201-233
- Hayman, DS. 1983. The physiology of vesicular-arbuscular endomycorrhizal symbiosis. *Canadian Journal of Botany* 61: 944-963
- Henríquez H, C; Cabalceta A, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Asociación Costarricense de la Ciencia de Suelos. San José, CR. 111 p.
- Hodge, A; Sling, P; Goodlass, G; Bending, GD. 2003. Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Organic Farming. Literature review for DEFRA, UK. 70p.
- Hole, DG; Perkins, AJ; Wilson, JD; Alexander, IH; Grice, F; Evans, AD. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122 (1), 113-130.

- Hooper, DJ. 1970. Handling, fixing, staining and mounting nematodes. *In* Southey, JF ed. Laboratory methods for work plant and soil nematodes. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Technical Bulletin N° 2:39-54.
- _____. 1990. Extraction and processing of plant and soil nematodes. *In* Luc, M.; Sikora, RA; Bridge, J. (eds.) Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. CAB International, Wallingford: 45-68.
- IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica). 2003. Organic Agriculture Worldwide (en línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en http://www.soel.de/inhalte/publikationen/s/s_74_04.pdf
- _____. 2006. The World of Organic Agriculture (en línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en <http://www.soel.de/oekolandbau/weltweit.html>
- Jaffee, BA; Ferris, H; Scow, KM. 1998. Nematode-trapping fungi in organic and conventional cropping systems. *Phytopathology* 88, 344-350.
- Julca Otiniano, A; Meneses Florián, L; Blas Sevillano, R; Bello Amez, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. IDESIA. Chile. 24, (1):49-61
- Karlen, DL; Eash, NS; Unger, PW. 1992. "Soil and Crop Management Effects on Soil Quality Indicators". *American Journal of Alternative Agriculture*, Vol. 7, Nos. 1, 2.
- _____; Mausbach, MJ; Doran, JW; Cline, RG; Harris, RF; Schuman, GE. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10.
- Kloepper, JW; Beauchamp, CJ. 1992. A review of issues related to measuring colonization of plant roots by bacteria. *Can. J. Microbiol.* 38: 1219–1232.
- _____; Schroth, MN; Miller, TD. 1990. Effects of rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. *Phytopathology* 70: 1078-1082.
- Kluepfel, D. 1993. The behavior and tracking of bacteria in the rhizosphere. *Ann. Rev. Phytopathology.* 31:441-472.
- Koske, RE; Gemma, JN. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research* 92 (4): 486 – 488.
- Lecuona, RE. 1995. Microorganismos patógenos empleados en el control microbiano de insectos plaga. 338 p.

- Loayza, I. 2001. Capsicum y sus derivados en iberoamérica: aspectos agrícolas, científicos, tecnológicos y económicos. Bolivia. 343 p.
- López Ritas, J; López Melida, J. 1990. El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. Ed. Mundi-Prensa 4ª Ed. 363 p. Madrid.
- Luters, A; Salazar, JC. 2000. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo (en línea). Consultado el 12 nov 2005. Disponible en <http://soils.usda.gov/sqi/files/KitSpanish.pdf>
- Mäder, P; Edenhofer, S; Boller, T; Wiemken, A; Niggli, U. 2000. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biology and Fertility of Soils* 31, 150-156.
- MAPA (Ministerio de agricultura pesca y alimentación). 2006. Módulo ambiental para el sector agrario (en línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en <http://www.mapa.es/es/desarrollo/pags/Sensibilizacion/sensibilizacion.htm>
- Mazariegos Ramírez, SR; Colindres Véliz, CO. 2002. Producción de chile picante (*Capsicum frutescens* L.) con y sin presencia de arvenses bajo cinco concentraciones de abono líquido orgánico. Guácimo, CR; EARTH 44 p.
- Mora, F. 1994. Algunas consideraciones para la producción orgánica de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana* 5:117-183.
- Montero JI; Antón, A; Muñoz, P. 2005. Modificaciones en las estructuras e instalaciones de invernaderos orientadas a la reducción del impacto ambiental (en línea). Consultado el 5 de set 2006. Disponible en http://www.infoagro.com/hortalizas/modificaciones_estructura_invernadero.htm
- Neilsen, MN; Winding, A. 2002. Microorganisms as indicators of soil health. National Environment Research Institute, Denmark. Technical Report No. 388. 75 p.
- Nieher, DA. 2001. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology* 33(4):161-168.
- Nieto Garibay, A; Murillo Amador, B; Troyo Diéguez, E; Larrinaga Mayoral, JA; García Hernández, JL. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible de chile (*Capsicum annuum* L) en zonas áridas. *Interciencia*. Caracas, Venezuela. Vol 27(8): 417-421

- Oldeman, LR. 1992. The global extent of soil degradation. *In* Greenland, DJ. Szabolcs, Soil Resilience and Sustainable Land Use. Symposium. Budapest, HU. CAB Internacional UK. p. 99-118.
- Pankhurst CE; Hawke, BG; McDonald, HJ; Kirkby, CA; Buckerfield, JC; Michelsen, P; O'Brien, KA; Gupta, VVSR; Doube, BM. 1995. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 35: 1015-1028.
- Parkinson, D; Coleman, D. 1991. Microbial communities, activity and biomass. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 34:3-33.
- Pinochet T, D; Ramírez R, F; Suárez F, D. 2004. Variación de la capacidad tampón en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agricultura técnica - Vol. 65(1):55-64*
- Primavesi, A. 1984. Manejo ecológico del suelo. 250 p.
- Probst, K; Pölschen, L; Sauerborn, J; Zebitz, CPW. 1999. Influencia de varios regímenes de uso de plaguicidas sobre la entomofauna de tomate en tierras altas de Ecuador. *Manejo Integrado de Plagas. Costa Rica N° 54 p. 53-62.*
- Pocasangre, L; Sikora, RA; Vilich, V; Schuster, RP. 2000. Encuesta sobre los hongos endofíticos del banano de América Central y el cribado para el control biológico del nematodo barrenador (*Radopholus similis*), *INFOMUSA 9(1): 3-5.*
- Porras Vanegas, CM. 2006. Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional sobre las características de suelos en el Corredor Biológico Turrialba-Jiménez, Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 131 p.
- Ramírez, C. 1996. Efecto de las prácticas agrícolas sobre la microflora del suelo: oportunidades en la fotoprotección. *In* *Agronomía y recursos naturales*. Bertsch, F; Badilla, W; García, J. eds. ACCS. San José, CR. p. 81- 85.
- Reganold, JP. 1988. Comparison of soil properties as influenced by organic and conventional farming systems. *American Journal of Alternative Agriculture 3(4):144-155p.*
- Regés, R. 2006. ¿Cómo se hace agricultura ecológica? (en línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en <http://www.cdeea.com/agorganica.htm>
- Restrepo, J. 1998. La idea y el arte de fabricar los abonos orgánicos fermentados. Managua, Nicaragua. SIMAS. 151 p.
- _____. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares. San José, CR, IICA. 157 p.

- Riechmann, J. 2003. Cuidar la T(t)ierra: Políticas agrarias y alimentarias sostenibles para entrar en el siglo XXI. Icaria. España. 623 p.
- Rodríguez, AM. 2003. Caracterización de la Micorrización de Plantas de Maíz Cultivadas en Suelo bajo Siembra Directa (en línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en http://www.inta.gov.ar/suelos/info/documentos/informes/evaluacion_salud_suelos.htm
- Rodríguez Fuentes, H; Rodríguez Absi, J. 2002. Métodos de Análisis de Suelos y Plantas: Criterios de Interpretación. Ed. Trillas. México, DF, 196 p.
- Ryan, MH; Chilvers, GA; Dumaresq, DC. 1994. Colonization of wheat by VA-mycorrhizal fungi was found to be higher on a farm managed in an organic manner than on a conventional neighbour. *Plant and Soil* 160:33-40.
- _____; Small, DR; Ash, JE. 2000. Phosphorus controls the level of colonisation by arbuscular mycorrhizal fungi in conventional and biodynamic irrigated dairy pastures. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40:663–670
- Scow, KM; Somasco, O; Gunapala, N; Lau, SS; Venette, RC; Ferris, H; Miller, R; Shennan, C. 1994. Transition from conventional to low-input agriculture changes soil fertility and biology. *California Agriculture* 48, 20–27.
- Scullion, J; Eason, WR; Scott, EP. 1998. The effectivity of arbuscular mycorrhizal fungi from high input conventional and organic grassland and grass-arable rotations. *Plant and Soil* 204: 243-254.
- SEPSA. 2004. Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. Estudios Económicos e Información, Boletín Estadístico Agropecuario número 15. San José, CR.
- Shannon, D; Sen, AM; Johnson, DB. 2002. A comparative study of the microbiology of soils managed under organic and conventional regimes. *Soil Use and Management* 18, 274–283.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Management in Tropical Agrosystems. Technical Cooperation. Federal Republic of Germany. 371 p.
- Silva, A. 1995. La materia orgánica del suelo (en línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/Materia%20Organica/organica.pdf>

- Singer, MJ; Ewing, S. 2000. Soil Quality. *In Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Soto, G; García, L; Hagggar, J; de Melo, E; Munguía, R; Staver, C. 2005. Efecto del sistema de manejo de café (*Coffea arabica*), orgánico y convencional, con diferentes árboles de sombra sobre las características de suelo en un Andisol en Nicaragua y un Ultisol en Costa Rica. Simposio de Caficultura Centroamericana. El Salvador.
- Sylvia, D; Fuman, J; Hartel, G; Zuberer, A. 1998. Principles and application of soil microbiology. New Jersey. 29:398-400.
- Tejada, JD. 2002. Actinomicetes filamentosos (en línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en <http://ingenieria.udea.edu.co/grupos/microbiol/actinomices-Tejada.ppt>
- Trutmann, P. 2002. ¿Qué es salud del suelo?. Ithaca, NY. Consultado el 23 de noviembre. Actualizado el 16 de mayo del 2003. Derechos reservados en 2002 por TropSCORE. Disponible en: <http://mulch.mannlib.cornell.edu/sp/salud.html>.
- Urtecho, K. 2005. Elaboración de inóculo microbiológico MM. *In Feria América Tropical*. La sostenibilidad está en tus manos (2005, EARTH). Memorias. EARTH, CR.
- Waldrop, MP; Balsler, TC; Firestone, MK. 2000. Linking microbial community composition to function in a tropical soil. *Soil Biology and Biochemistry* 32(13):1837-1846.
- Wander, MM; Hedrick, DS; Kaufman, D; Traina, SJ; Stinner, BR; Kehmeyer, SR; White, DC. 1995. The functional significance of the microbial biomass in organic and conventionally managed soils. *Plant and Soil* 170, 87–97.
- Weller, D. 1988. Biological control of soilborne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. *Ann. Rev. Phythopatology*. 26:379-407.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las planta según Russell. Versión Española. Mundi-prensa. Madrid, ES. 1045 p.
- Willer, H; Yussefi, M. 2004. The World of Organic Agriculture Statistics and Emerging Trends (en línea). Consultado el 2 de set 2006. Disponible en http://www.soel.de/inhalte/publikationen/s/s_74.pdf
- Wolters V. 1998. Functional aspects of animal diversity in soil - introduction and overview. *Applied Soil Ecology*. 10: 185-190
- Xu L, Li Q, Jiang C. 1996. Diversity of Soil Actinomycetes in Yunnan, China. *Appl Environ Microbiol*. 1996 Jan 62(1):244–248.

Yeates, GW; Bardgett, RD; Cook, R; Hobbs, PJ; Bowling, PJ; Potter, JF. 1997. Faunal and microbial diversity in three Welsh grassland soils under conventional and organic management regimes. *Journal of Applied Ecology* 34, 453–470.

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta usada para recopilar datos de manejo de las fincas bajo estudio en la zona de Alfaro Ruiz

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
CATIE**

Diagnóstico de Producción de Chile en Ambiente Protegidos (Invernaderos).

Encuesta No. _____

Fecha // //.

I - Datos del Productor.

Nombre _____

Experiencia en invernaderos _____ (años).

Asistencia técnica: Si _____, No _____.

Condiciones de la Propiedad. Propia _____, alquilada. _____, prestada. _____.

Es productor orgánico o convencional _____

Cuanto tiempo tiene de producir bajo ese sistema

En la finca _____

En el invernadero _____

II - Datos de la finca.

Ubicación _____.

III – Datos del invernadero.

Tamaño del invernadero: _____.

Estructura:

madera _____, Metálica _____, Bambú _____,

Otras _____.

Medidas de control al entrar: Si _____ No _____.

Edad del invernadero _____

IV - Manejo Agronómico del cultivo.

¿Cómo es la preparación del suelo? _____

¿Cómo es la preparación de la cama de siembra? _____

Variedad utilizada de chile:

A - _____ . B - _____ .

Prepara su propio semillero: Sí _____. No _____.

Densidad de siembra

Entre plantas _____ Entre surcos _____

Cultivo anterior a la siembra.

A - _____ .

Hace rotación de cultivos: Sí _____. No _____.

Usa Fertilizante químico: Si _____. No _____.

Hace análisis del suelo. Si _____. No _____. Cada cuanto tiempo _____.

Análisis Foliar Si _____. No _____. Cada cuanto tiempo _____.

Formula utilizada:

A- _____ B. _____ . C _____.

Dosis _____.

¿Cómo lo aplica? _____.

Cada cuanto aplica _____

Utiliza abono Orgánico. Si _____. No _____.

Que tipo de abono orgánico _____

¿Cuánto usa? _____.

¿Cómo lo aplica? _____

Aplica MM. Si _____. No _____. Como lo obtiene _____

¿Cuánto usa? _____.

¿Cómo lo aplica? _____

¿Cada qué tiempo lo aplica el MM? _____

Utiliza algún otro producto a base de microorganismos Si _____. No _____.

Descríbalo _____

¿Cómo almacena los productos biológicos? _____

Tipo de riego _____

Utiliza fertirriego Si _____. No _____ ¿Cada cuanto tiempo riega? _____.

V - Manejo del suelo.

Desinfecta el suelo. Si ____ No _____. Cada cuanto lo hace _____.

¿Cómo lo hace? _____.

¿Cuáles productos usa?

A - _____ B - _____.

C - _____ D- _____.

Aplica nematicida Si ____ No _____. Cual aplica _____

Cada cuanto _____

VI – Manejo de insectos-plagas.

¿Cuáles insectos se presentan con más frecuencia? Tipo de control

1- _____.

2- _____.

3- _____.

4- _____.

5- _____.

VII – Manejo de Patógenos

¿Cuáles enfermedades se presentan con más frecuencia? Control usado

1- _____.

2- _____.

3- _____.

4- _____.

5- _____.

VIII – Control de Malezas

Tipo de control _____ Si es químico indique los productos

1- _____

2- _____

Cada cuanto realiza el control _____

Si es manual que hace los residuos _____

IX Mercado

¿Dónde vende sus productos? _____

Es estable el mercado _____

Sobreprecio _____

Observaciones _____

Anexo 2. Poblaciones de los diferentes géneros de nematodos encontrados en los sistemas orgánico y convencional en la zona de Alfaró Ruiz.

Nematodos encontrados	1O		2O		3O		4C		5C		6C	
	100 g suelo	10g raíz	100 g suelo	10g raíz	100 g suelo	10g raíz	100 g suelo	10g raíz	100 g suelo	10g raíz	100 g suelo	10g raíz
Meloidogyne sp (juveniles)	24	282	154	5067	105	394	593	143	129	38	470	133
Pratylenchus sp				1342				3				3
Ditylenchus sp	11	208	14	0				3	5		10	
Tylenchus sp				44			2	3	8	4	1	6
Meloidogyne sp (machos)				9	4	3	2	5	1		1	2
Aphelenchus sp				9	2		4				2	11
Aphelenchoides sp	1		6	9	4		8				4	3
Criconemoides sp					7		1		3			
Hemicycliophora sp					56		65					
Heterodera sp							3		4			
Helicotylenchus sp			10				1		1			
Trichodorus sp						42						
Total de fitonematodos	36	490	184	6480	178	439	679	157	151	42	488	158
Nematodos de vida libre	763	83	329	71	63	16	55	44	284	26	190	51

Nota: 1O, 2O, 3O= Invernaderos en producción orgánica; 4C, 5C, 6C= Invernaderos en producción convencional