

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN

DIRECCIÓN DE PROYECTOS

INFORME FINAL DE PROYECTO

SISTEMA AGROECOLÓGICO PARA LA EVALUACION DE LA CALIDAD DEL SUELO Y LA SANIDAD DEL CULTIVO DEL CHILE DULCE (*Capsicum annun*) EN CONDICIONES DE INVERNADERO.



ESCUELA RESPONSABLE: INGENIERÍA AGRÍCOLA

Periodo de ejecución: 01 de Julio del 2010 al 01 de diciembre del 2011

PARTICIPANTES:

Ing. Marvin Villalobos Araya; MSc. Coordinador

Ing. Cristian Zúñiga Pereira; MSc. Colaborador

Cartago, agosto 2012.

Índice de contenidos

Índice de Cuadros	III
Índice de Figuras.....	IV
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VIII
I. Introducción	1
Objetivo general.....	1
Objetivos específicos:	1
II. Revisión de Literatura.....	2
2.1 Invernaderos	2
2.2 El cultivo de chile dulce.....	3
2.3 Fertilización en chile.....	4
2.4 Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades	6
2.5 Materia Orgánica.....	8
2.6 Sostenibilidad.....	9
III. Metodología	13
3.1 Localización del área de estudio.....	13
3.2 Preparación del terreno.....	15
3.3 Análisis de suelo.	17
3.4 Siembra del chile.....	17
3.5 Definición de los indicadores de sostenibilidad	19
3.6 Diseño Estadístico.	20
3.7 Diseño Experimental y análisis estadístico	20
3.8 Variables a evaluar	21
IV. Resultados y Discusión.....	26
4.1 Fertilidad del suelo y estado nutricional del cultivo.	26
4.1.1 pH de los tratamientos.....	26
4.1.2 Acidez de los tratamientos.....	27
4.1.4 Fósforo de los tratamientos	29
4.1.5 Calcio de los tratamientos.....	30
4.1.6 Magnesio de los tratamientos	31
4.1.7 Potasio de los tratamientos.....	33

4.1.8 Hierro de los tratamientos	34
4.2 Incremento de microorganismos a nivel del suelo.	35
4.2.1 Nemátodos de los tratamientos	37
4.3 Evaluación de los índices de sostenibilidad en los tratamientos evaluados.....	39
4.4 Determinación del efecto de los tratamientos sobre la producción de chile dulce.	48
4.4.1 Cantidad de frutos por tratamiento.....	48
4.4.2 Peso de frutos cosechados por cada tratamiento	49
V. Conclusiones.....	54
VI. Recomendaciones	56
Bibliografía Consultada	57

Índice de cuadros

Cuadro 1. Fertilización recomendada para chile dulce.....	4
Cuadro 2. Requerimientos de fertilizante para chile dulce.	5
Cuadro 3. Dosis de fertilizante aplicada por semana.	5
Cuadro 4. Indicadores de calidad del suelo, para chile dulce en condiciones de invernadero	22
Cuadro 5. Indicadores de sanidad del cultivo, para chile dulce en condiciones de invernadero	23
Cuadro 6. Modelo para toma de datos de producción.....	24
Cuadro 7. Análisis microbiológicos realizados a los diferentes tratamientos, en dos fechas de evaluación	37
Cuadro 8. Análisis de variancia para la variable cantidad.	49
Cuadro 9. Análisis de variancia para la variable peso	51

Índice de Figuras

Figura 1. Invernadero usado para la investigación.....	13
Figura 2. Sistema de riego utilizado	14
Figura 3. Terreno preparado para la siembra.....	16
Figura 4. Camas con cobertura plata – negra lista para la siembra.	16
Figura 5. Almacigo utilizado en la siembra.....	17
Figura 6. Plantas sembradas en la cobertura.....	18
Figura 7. Esquema del diseño experimental utilizado	21
Figura 8. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el pH del suelo en las cuatro fechas de evaluación.	27
Figura 9. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la acidez del suelo en las cuatro fechas de evaluación.....	28
Figura 10. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el porcentaje de nitrógeno foliar en el cultivo.	28
Figura 11. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la disponibilidad de Fosforo en el suelo en las cuatro fechas de evaluación.	29
Figura 12. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el porcentaje de Fosforo foliar en el cultivo.....	30
Figura 13. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la disponibilidad de Calcio en el suelo en las cuatro fechas de evaluación.	30
Figura 14 . Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el porcentaje de Calcio foliar en el cultivo.	31
Figura 15. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la disponibilidad de Magnesio en el suelo en las cuatro fechas de evaluación....	32
Figura 16. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el porcentaje de Magnesio foliar en el cultivo.	32
Figura 17. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la disponibilidad de Potasio en el suelo en las cuatro fechas de evaluación.	33
Figura 18. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el porcentaje de Potasio foliar en el cultivo.	34
Figura 19. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la disponibilidad de Hierro en el suelo en las cuatro fechas de evaluación.....	34
Figura 20. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el porcentaje de hierro foliar en el cultivo.....	35

Figura 21. Cantidad de <i>Helicotylenchus</i> , <i>Tylenchus</i> , <i>Hemicycliophora</i> , <i>Meloidogyne</i> y nematodos de vida libre presentes en 100 gramos de raíz en cada tratamiento.....	38
Figura 22. Cultivo a los cinco meses de sembrado (Abingra, Juan Viñas, Sales, Testigo.	40
Figura 23. Ameba representativa de los diferentes indicadores evaluados en chile dulce a nivel de invernadero.	41
Figura 24. Cultivo a los cinco meses de sembrado (Abingra, Juan Viñas, Sales, Testigo.	43
Figura 25. Raíces a los cinco meses de sembrado (Abingra, Juan Viñas, Sales y Testigo.....	44
Figura 26. Segunda evaluación de los diferentes indicadores evaluados en chile dulce a nivel de invernadero.	44
Figura 27. Cultivo a los once meses de sembrado (Abingra, Juan Viñas, Sales, Testigo.	46
Figura 28. Raíces a los cinco meses de sembrado (Abingra, Juan Viñas, Sales y Testigo.....	46
Figura 29. Tercera evaluación de los diferentes indicadores evaluados en chile dulce a nivel de invernadero.....	47
Figura 30. Comparación de los promedios de tratamiento, destacando tratamientos faros.....	48
Figura 31. Cantidad promedio de frutos producidos por tratamiento por día cosechado.....	49
Figura 32. Peso promedio en gramos de cada fruto producido por cada tratamiento.	51
Figura 33. Curva de producción para los tratamientos.....	52

RESUMEN

La investigación se realizó en el campus de práctica docente, de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Específicamente en un invernadero ubicado a 09°55'09,2" Latitud Norte y 83°54'35,5" Longitud Oeste; con una altitud de 1421 metros sobre el nivel del mar. El invernadero tiene forma de arco y monitor en la parte superior de 40 cm. La altura mínima es de 3 m, está cubierto en los laterales con malla antiáfidos.

El terreno es de textura arcillosa, con pendiente del orden de 0,5 a 1%.

Se cuenta con doce líneas de goteo ubicadas a 1,30 metros entre sí, con una distancia de goteros de 0,40 m. La descarga de los goteros es de 1,6 L/h.

En el invernadero se evaluó el agroecosistema de chile dulce mediante indicadores de sostenibilidad utilizando diferentes abonos orgánicos, sales y un testigo absoluto.

Se seleccionaron 7 indicadores de calidad del suelo y 6 indicadores de salud del cultivo. Cada indicador se estimó en forma separada y se le asignó un valor de 1 a 10 siendo 1 el valor menos deseado, 5 un valor promedio y 10 el valor más deseado de acuerdo con las características que presenta el suelo o el cultivo según los atributos a observar para cada indicador.

Cuando un indicador no era aplicable para la situación simplemente no se midió o se sustituyó por otro que se consideró más relevante.

Una vez que se asignaron los valores a cada indicador, se sumaron los valores obtenidos y se dividieron por el número de indicadores observados y se obtuvo un valor promedio de **calidad del suelo** y otro **de salud del cultivo**. Las evaluaciones de calidad del suelo o salud del cultivo que fueron menores de 5 se consideraron que estaban por debajo del umbral de sostenibilidad y por lo tanto ameritan manejos que corrijan aquellos indicadores que exhiben valores bajos.

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Para mayor rigurosidad en el análisis estadístico se realizó un submuestreo de seis plantas por subparcela, a la vez se cosechó toda la parcela para obtener datos de producción total.

Los resultados obtenidos muestran que los abonos orgánicos favorecen la sostenibilidad de siembra de chile dulce en invernadero.

La mejor producción se obtuvo con las sales formuladas y la menor producción se obtuvo con el tratamiento de testigo absoluto.

El abono orgánico a base de gallinaza con roca fosfórica (abimgra), favoreció el desarrollo de organismos actinomicetos.

Para lograr una estabilidad ecológica en el sistema de producción de chile bajo invernaderos, se requiere un mayor tiempo bajo el modelo agroecológico de manejo de abonos orgánicos, debido a que algunos indicadores evaluados después de un año no alcanzaron el umbral ecológico de sostenibilidad, tal es el caso de profundidad del suelo y actividad biológica.

ABSTRACT

The research was conducted on the teaching practice field of Agricultural Engineering School of Technological Institute of Costa Rica. Specifically in a greenhouse located at 09°55'09,2" North Latitude and 83°54'35,5" West Longitude, with an altitude of 1421 meters above sea level. The greenhouse is arc-shaped with a monitor on top of 40 cm. The minimum height is 3 m, is covered with anti-aphid mesh through all its sides. The soil texture is clay, with a slope of about 0,5 to 1%. It has twelve drip lines located at 1,30 meters apart, with a distance between drippers of 0,40 m.

At the greenhouse it was evaluated the agro-ecosystem of pepper trough sustainability indicators using different organic fertilizers, salts and an absolute baton.

There were selected 7 soil quality indicators and 6 crop health indicators were chosen. Each indicator was estimated separately and it was assigned to it a value from 1 to 10, with 1 being the least desirable, 5 an average value and 10 the desired value according to the features found in the soil or growing as attributes to observe for each indicator.

When an indicator was not applicable to the situation it was just not measured or it was replaced with one that was considered more relevant. Once the values were assigned to each indicator, the values obtained were added and divided by the number of indicators observed and obtained an average value of soil quality and other crop health. The evaluations made for soil quality or crop health lower than 5 were considered to be below the threshold of sustainability and so they need a correct handling in order to correct those low values.

It was used a randomized design with complete block with four treatments and three replications. For more thoroughness on statistical analysis it was performed subsampling of six plants per subplot, at the same time the hole plot should be harvested for total production data

The results show that organic fertilizers benefit the sustainability of peppers planting in the greenhouse. The best production was obtained by treatment with formulated salts and the lowest production was obtained with the treatment of absolute baton.

The organic manure from chicken excrement with phosphoric rock (Abingra), favored the development of actinomycetes organisms. To achieve ecological stability on production systems of peppers in greenhouses, it is required more time under the agro-ecological model of organic manure management, because some indicators evaluated after one year did not reach the threshold of ecological sustainability, such as soil depth and biological activity.

Palabras claves

Sostenibilidad, agroecológico, calidad del suelo, chile dulce, sanidad del cultivo, indicadores de sostenibilidad, invernadero, microorganismos, *Capsicum annum*.

I. Introducción

Uno de los desafíos que enfrentan los productores a nivel de invernadero, es saber cuándo el agroecosistema en el cual trabajan es saludable, o como se deteriora después de muchos años de monocultivo en el cual notan que año con año la producción disminuye y el efecto de las enfermedades y plagas aumenta.

La Escuela de Ingeniería Agrícola ha venido haciendo investigación en cultivos bajo invernaderos desde el año 1997, pero no ha incursionado en la modalidad de siembras bajo el concepto de sostenibilidad y menor uso de agroquímicos.

Este proyecto pretende ser un primer paso, para comenzar a introducir un cambio de tecnologías donde se dependa menos del uso de agroquímicos, se busca conocer la calidad del suelo y las prácticas de manejo de cultivo que se han estado llevando a cabo en las diferentes producciones en invernadero.

Objetivo general:

Evaluar mediante indicadores de sostenibilidad el agroecosistema de Chile dulce en condiciones de invernadero.

Objetivos específicos:

1. Evaluar el efecto de la materia orgánica en la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través del tiempo.
2. Medir el incremento de los microorganismos en cada uno de los tratamientos evaluados
3. Evaluar índices de sostenibilidad para cada tratamiento.
4. Determinar el efecto de cada tratamiento sobre la producción.

II. Revisión de Literatura.

2.1 Invernaderos

Todo abrigo o encierro de construcción alta o baja, más o menos perfecta, donde el acondicionamiento puede ser controlado y se siembra de cultivos hortícolas u ornamentales, puede considerarse como un invernadero. También se dice que es aquella construcción especial, donde las cubiertas y paredes son transparentes y dejan pasar la luz, que se emplean para cultivar plantas mediante el control del clima en que se desarrollan. Una de las definiciones que más se usa es “Los invernaderos o abrigos son construcciones agrícolas, que tienen por objeto la producción sistemática y fuera de estación de productos horto – frutícolas, convirtiéndose en instrumentos de trabajo que permite controlar eficazmente los rendimientos en calidad y cantidad” (Robledo y Vicent, 1981).

En opinión de Mendizábal (1976), para comenzar la producción en invernaderos, se debe de construir instalaciones pequeñas, alrededor de 1.500 a 2.000 m², con el objeto de ir familiarizándose con esta nueva modalidad de producción, de tal forma que si se producen fallas al inicio no se incurra en grandes pérdidas.

Para Pérez *et al.* (1998), el control ambiental en un invernadero está íntimamente relacionado con la forma y los materiales. Si se controla en forma eficaz la temperatura, humedad y concentración de gases en el interior del invernadero, se aprovechan en forma adecuada la radiación solar y la ventilación natural. La forma del invernadero hace que se aumente o disminuya la radiación incidente; aumentando la superficie que capta energía y utilizando materiales con elevado coeficiente de transmisión. La altura, superficie y distribución de aberturas determinan el volumen y la tasa de renovación de aire en el interior. En el invernadero se aumenta la temperatura interior, esto repercute en un acortamiento del ciclo de la planta, modifica la humedad relativa y el contenido de anhídrido carbónico en el aire. Casi ningún invernadero está climatizado en forma automática, por lo que el agricultor debe manejar en una forma adecuada y manualmente, los factores climáticos dentro de sus posibilidades, para permitir que los cultivos se encuentren en las condiciones más favorables posibles.

Opina T.P. Agro S. A. (2000), que el invernadero debe ser un área protegida y controlada, establecida para evitar que la plantación se exponga a todos los factores que pudieran perjudicar su desarrollo tales como: exceso de humedad relativa, altas o bajas temperaturas, lluvia, luz ultravioleta, vientos, áfidos, aves y otros depredadores.

Lo que se debe de conocer para diseñar un invernadero es pH y conductividad del agua, pH y análisis físico del suelo, temperatura máxima y mínima de la zona, humedad relativa máxima y mínima de la zona, velocidad y dirección del viento, pluviosidad y cultivo. Un invernadero debe ser un espacio con un microclima apropiado para el óptimo desarrollo de una plantación específica. Cuando una planta no es productiva es porque se presentan problemas de: diseño del invernadero, construcción del invernadero, manejo de la plantación. Los invernaderos se pueden construir en madera, caña guadua, mixtos o metálicos.

2.2 El cultivo de chile dulce.

El chile es originario de América, se le ubica al sur de México y Centro América (Biamonte *et al.*, 1974).

De acuerdo con Sánchez (1970), el cultivo de chile dulce fue introducido en Europa por navegantes españoles y portugueses, a su vuelta de América en el año 1514.

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (1991), describe 5 especies cultivadas: *Capsicum annum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. pubescens*. De estas especies la que más se cultiva, tanto por sus variedades dulces como picantes, es la *C. annum*.

En la Guía para manejo integrado de plagas del cultivo de chile dulce (CATIE, 1995), se menciona que en América Central el *C. annum* es parte muy importante de la canasta familiar, aunque a nivel comercial, las formas menos picantes son las que predominan.

Opina el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en su publicación “Aspectos Técnicos Sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica” (1991), que las zonas de mayor producción son: Grecia, Alajuela, Cartago, Sardinal, Tilarán y Cañas. Las dos épocas de siembra se extienden de mayo

hasta principios de agosto, la primera y, en noviembre, la segunda. Cuando hay disponibilidad de riego se puede sembrar en cualquier época del año.

En forma tradicional, los agricultores planifican la siembra de chile dulce para obtener sus cosechas en el mes de diciembre, que es cuando se produce la mayor demanda (Bolaños, 1998).

En la publicación del CATIE (1995), se menciona la factibilidad de cultivar chile donde la temperatura media anual está en el rango de 13 a 24 °C; en éste ámbito, las temperaturas altas aumentan la tasa de crecimiento del cultivo, mientras que las bajas la reducen. Cuando las temperaturas son bajas, el tiempo para que el chile complete su ciclo es mayor.

2.3 Fertilización en chile.

Las recomendaciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería, citadas por Bolaños (1998), para la fertilización en chile dulce en las zonas productoras del Valle Central son las que se muestran en el Cuadro 1.

Además, se recomiendan aplicaciones foliares, cada veintidós días después de la siembra, con otros elementos como boro (poliboro 10 – 40 g/bomba), magnesio (sulfato de magnesio 80 g/bomba), azufre (azufro 30 g/bomba).

Cuadro 1. Fertilización recomendada para chile dulce.

Días después del trasplante	Nutrientes en (Kg./ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
10	13,8	41,4	13,8
25	50,6	151,8	50,6
45	33,1	9,2	18,4
85	23,1	0	0
115	23,1	0	0
Totales	143,7	197,4	82,8

Fuente: Bolaños, A. 1998.

Nathan (1994), recomienda las aplicaciones de fertilizante que se dan en el Cuadro 2, según el ciclo del cultivo.

Cuadro 2. Requerimientos de fertilizante para chile dulce.

Tiempo de aplicación	Total de nutrientes (Kg./ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Trasplante a 15 días	22	46	22
16 a 45 días	126	66	126
46 a 95 días	180	90	270
Total	328	201	418

Fuente: Nathan, R. 1994.

Generalmente, el chile absorbe la totalidad de nutrimentos que requiere por la raíz, aunque también si se dan aplicaciones foliares, el follaje absorbe cantidades de algunos nutrimentos. La mayor cantidad de elementos que se requieren son nitrógeno, fósforo y potasio, y en menores cantidades calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, zinc, boro y cobre, en orden descendente de cantidad (CATIE, 1995).

En el proyecto de investigación “Producción de chile en invernadero con tres agotamientos de humedad y tres coberturas diferentes”, que se desarrolló en la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica, se aplicaron para un área de 680 m² (636 plantas), en forma semanal, según la edad del cultivo, las dosis que se presentan en el Cuadro 3. Dichas aplicaciones se realizaron usando el sistema de riego por goteo.

Cuadro 3. Dosis de fertilizante aplicada por semana.

Producto	Semana de la 4 a la 11	Semana de la 12 a la 17	Semana de la 18 en adelante.
Urea	1,00 kg	1,66 kg	1,90 kg
Nitrato potasio	0,28 kg	0,70 kg	1,40 kg
Fosfato Monohamónico	0,35 Kg.	1,40 kg	1,40 kg
Ácido fosfórico	340 CC	340 CC	340 CC
Sulfato de magnesio	1,40 kg	2,10 kg	2,10 kg
Sulfato de potasio	0,70 kg	2,52 kg	2,80 kg
Ácido bórico	7,00 g	14,00 g	14,00 g
Sulfato de zinc	7,00 g	11,20 g	11,20 g
Sulfato de hierro	---	7,00 g	7,00 g
Sulfato de cobre	---	5,00 g	5,00 g
Sulfato de manganeso	7,00 g	25,20 g	25,2 g
Molibdato de sodio	1,00 g	1,00 g	1,00 g

Fuente: Villalobos *et al.*, 2002

2.4 Materia Orgánica

Según Núñez (2000), la materia orgánica es “la fracción orgánica del suelo que incluye los residuos provenientes de plantas y animales que se encuentran en el suelo en diferentes etapas de descomposición”. Contiene residuos frescos, parcialmente descompuestos y totalmente descompuestos (humus).

En opinión de Kass (1996), “es la fracción del suelo, que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, incluyendo tejidos y células de organismos que viven en el suelo, y sustancias producidas por los habitantes del mismo.

De acuerdo a Silva (s.f), la materia orgánica contribuye al crecimiento de las plantas a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El último tiene una función nutricional en la que sirve como fuente de N, P y S para el crecimiento de las plantas, una biológica en la que afecta profundamente la actividad de la microflora y microfauna y una función física en la que promueve una buena estructura, con lo que se mejora las labores de labranza, aireación y la retención de humedad.

Para Julca *et al.* (2006), Una primera mirada al suelo muestra una homogeneidad relativa, sin embargo, existe una comunidad subterránea con cadenas tróficas complejas y diversas, mantenidas por los productos de las raíces en la rizósfera. Las raíces son una fuente de complejos recursos que varían química y morfológicamente, en interacción con la microflora y fauna del suelo encargados de la descomposición y mineralización de la materia orgánica. El estudio de los microorganismos en el suelo es un reto, pues son variadas las técnicas y metodologías que se requieren para ello.

En opinión de Meléndez (2003), el efecto de la materia orgánica en la fertilidad de los suelos, especialmente sobre aquellos altamente meteorizados es de una importancia dramática en relación con sus contenidos, pues está demostrado que incrementos mínimos benefician simultáneamente las propiedades física, químicas y biológicas del suelo.

La materia orgánica altera las propiedades físicas y químicas del suelo y contribuye a la formación de horizontes (procesos pedogenéticos) o en otros procesos formadores del suelo (Núñez, 2000).

“La materia orgánica del suelo forma parte de un extenso sistema de reciclaje de nutrientes, lo que contribuye a disminuir la pérdida de los elementos

importantes para el desarrollo de las plantas, por lavado, volatilización y erosión” (Kass, 1996).

2.5 Sostenibilidad

Para Altieri (1995), un agroecosistema saludable es donde se logra una producción de calidad y estable, poco dependiente de insumos externos que permita bajar los costos de producción y hacer el sistema más sostenible a través del tiempo.

“Las necesidades de investigación en ciencia y tecnología para estos contextos son apremiantes, pues la generación y difusión del conocimiento es una herramienta decisiva en la búsqueda de soluciones” (Murgueitio, 1992).

“La agricultura sostenible en Costa Rica debe reconocer la necesidad de intensificar la productividad como medio de soportar la acelerada demanda creada por el incremento poblacional, pero al mismo tiempo debe prever el mejor uso y conservación de los recursos naturales. Sin recursos naturales no hay agricultura y sin ésta no hay seguridad alimentaria”. (Morera, 2000)

“Con LA AGRICULTURA SOSTENIBLE el cultivo necesita menos cantidad de energía física y química; garantiza la conservación del suelo, del aire puro, del bosque, de los animales, del desarrollo y la salud del hombre.” (Augusto, 1998). El objetivo final, por tanto es diseñar agroecosistemas que presenten una alta resistencia a plagas y enfermedades, alta capacidad de reciclaje y de retención de nutrientes, así como niveles altos de biodiversidad (Gliessman 1998). Un suelo rico en materia orgánica y biológicamente activo se considera un sistema no degradado, robusto y productivo. En otras palabras un agroecosistema rico en biodiversidad la cual a partir de una serie de sinergismos subsidia la fertilidad edáfica, la fitoprotección y la productividad del sistema se dice ser sustentable o saludable (Fernández y Muschler 1999).

Los recursos suelo, agua y diversidad genética se han utilizado de manera desmedida y los resultados son: suelos salinizados por el exceso de riego, compactación por exceso de labranza, pérdida de la capacidad de permeabilidad de los suelos e incremento de escorrentía, contaminación de los suelos y aguas por plaguicidas, reducción de la calidad estructural del suelo por

pérdida de materia orgánica y pérdida de la fertilidad e incremento de la erosión así como erosión genética por el uso de monocultivos (Gliessman 2002).

Es por esta razón que es necesario tomarle el pulso al agroecosistema y para ello los indicadores de sostenibilidad se constituyen en una herramienta muy importante para lograrlo (Gómez *et al.* 1996; Maserá *et al.* 1999). Los indicadores consisten en observaciones que se realizan a nivel de invernadero para ver si el suelo es fértil, si las plantas están sanas, vigorosas y productivas (Altieri, 1995).

La sostenibilidad se define como un conjunto de requisitos agroecológicos que deben ser satisfechos por cualquier unidad productiva, independiente de las diferencias de manejo, nivel económico, posición en el paisaje etc. Como todas las mediciones realizadas se basan en los mismos indicadores, los resultados son comparables de manera que se puede seguir la trayectoria de un agroecosistema a través del tiempo. Lo más importante es que una vez aplicados los indicadores cada productor puede percatarse del estado de su unidad productiva observando que atributos del suelo o de la planta andan bien o mal con relación a un umbral establecido. Esto es útil para que los productores entiendan por qué ciertas unidades productivas se comportan ecológicamente mejor que otras, y que hacer para mejorar los valores observados en unidades con valores menores (Altieri, 1995).

Este tipo de agricultura es un sistema global de gestión de la producción, que incrementa y realza la salud de los agrosistemas, inclusive la diversidad biológica, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo.

La sostenibilidad implica una producción a largo plazo sin causar gran daño al medio ambiente o agotar los recursos naturales (Benzing, 2001). Se dice que la agricultura es sostenible cuando es ecológicamente segura, económicamente viable, socialmente justa y culturalmente apropiada, donde el medio ambiente y los recursos naturales son la base de la actividad económica.

La agricultura sostenible resguarda la biodiversidad, conserva el suelo, el agua y la energía, valora el conocimiento local, minimiza los insumos externos que el productor necesita para cultivar haciéndolo más autosuficiente (FAO (1992), citado por Labrador y Altieri (2001).

En la agricultura orgánica, las prácticas que más se utilizan son la rotación de cultivos, el uso de rastrojos vegetales, abonos animales, asocio con

leguminosas, abonos verdes, rocas minerales, y el control biológico de plagas y enfermedades. Estas prácticas incrementan la fertilidad del suelo y ayudan en el control de malezas, enfermedades y plagas dentro del cultivo (Altieri, 1999). Samadiego (2006), en estudios que realizó en Alfaro Ruíz, Costa Rica sobre la producción de chile dulce orgánico y convencional en invernadero, concluyó que se encontraron pocas diferencias en las variables evaluadas entre ambos sistemas, lo cual es positivo para los productores orgánicos porque sin la utilización de productos sintéticos mantienen el cultivo en buen estado, comparado con los productores convencionales que si usan los productos sintéticos.

Según Doran y colaboradores (1994), para definir calidad de suelos se deben tener en cuenta tres características: primera el suelo debe ser un medio para promover el crecimiento de plantas y animales (incluyendo humanos), regulando el flujo de agua en el ambiente; segunda el suelo debe ser un regulador ambiental que asimila y degrada componentes ambientalmente peligrosos; y tercera debe ser un factor que promueva la salud de las plantas y animales (incluyendo humanos).

Como se dice en el Plan Nacional de Desarrollo (2010) “Uno de los desafíos más importantes con los que enfrenta esta administración es velar porque el desarrollo económico y social vaya de la mano con la protección del ambiente. El País enfrenta el reto de integrar lo ambiental y lo productivo en un contexto de equidad y desarrollo humano”

Por lo que se deben de buscar alternativas de producción en ambientes protegidos que ayuden a la buena utilización del suelo y de manejo de sistemas de producción con menos agroquímicos, lo cual minimiza la contaminación del medio ambiente.

III. Metodología

3.1 Localización del área de estudio

La investigación se desarrolló en la sede central del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago, en un invernadero de metal que posee la Escuela de Ingeniería Agrícola. La ubicación exacta es 09°55'09" latitud norte y 83°54'35" longitud oeste, con una altitud de 1421 m.s.n.m.

El invernadero tiene un área de 680 m², tiene forma de arco y monitor en la parte superior, la altura mínima es de 3 m de la canoa al suelo y de 5 m del centro del invernadero al suelo; está cubierto en las partes laterales con malla antiáfidos, al igual que el monitor.

En la Figura 1, se muestra el invernadero donde se llevó a cabo la investigación.



Figura 1. Invernadero usado para la investigación.

El suelo es de textura arcillosa, con pendiente del orden del 0,5 a 1%.

Se cuenta con una distribución de tubería hasta el campo donde está el invernadero y con equipo de goteo instalado. El sistema cuenta con doce

líneas de goteo ubicadas a 1,30 metros entre sí, con una distancia entre goteros de 0,40 m. Las plantas de chile se sembraran a 0,50 m x 1,30 m. Se sembró chile dulce Natalye.

En la Figura 2, se puede ver un esquema del sistema de riego utilizado.

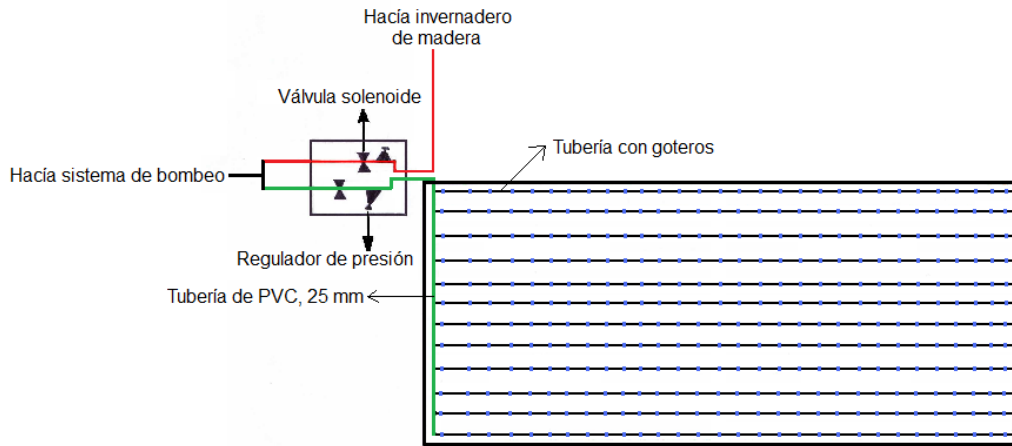


Figura 2. Sistema de riego utilizado.

La lámina de riego que se aplicó, se obtuvo con base en las pruebas físicas de suelo, que ya se tienen para ese suelo, la ecuación que se utilizó para su cálculo es:

$$L = \frac{CC - PMP}{100} \times Pe \times Prof \times Ag \times Par \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

CC es la capacidad de campo con b.s.s (%)

PMP es el punto de marchitez permanente con b.s.s (%)

Pe es el peso específico aparente (gr/cc)

Prof es la profundidad radicular (mm)

Ag es el agotamiento permitido (decimal)

Par es el porcentaje de suelo humedecido (decimal)

Para nuestro caso se utilizó una tubería con goteros integrados de la marca comercial Naan Paz, con gotero cada 40 centímetros y con una descarga nominal de 1,7 litros por hora a una presión de 7 metros columna de agua.

El espaciamiento entre filas es de 1,3 metros, pero como se había colocado coberturas plástica se estimó un porcentaje de suelo humedecido del 50%, es decir se humedeció una franja continua de un ancho de 71 centímetros.

En investigaciones anteriores se determinó que el óptimo agotamiento para chiles fue del 25%, por lo que este fue el agotamiento utilizado.

La eficiencia de riego para nuestro caso se estimó en un 80%.

Debido a que el suelo es arcilloso, y se está regando con una tensión baja, la profundidad radicular se estimó en 40 centímetros.

Para invernaderos y con base en investigaciones anteriores, se tiene una evapotranspiración real de 4 mm/día.

De estudios físicos de suelo se sabe que la capacidad de campo es de 37,5 %, punto de marchitez permanente de 24,05 % y peso específico de 1,3 gramos sobre centímetro cúbico, y utilizando un Par de 0,50 un agotamiento del 25% y una profundidad de 40 cm, se tiene:

$$L = \frac{37,5 - 24,05}{100} \times 1,3 \times 400 \times 0,25 \times 0,50 = 8,743 \text{ mm}$$

Luego la lámina bruta a aplicar con una eficiencia del 80% es:

$$L_b = 8,743 / 0,80 = 10,93 \text{ mm.}$$

El tiempo de riego requerido (Tr), para aplicar dicha lámina se calculó con base en el grado de aplicación (I) que están dando los goteros el cual fue de:

$$I = q_{\text{gotero}} / (\text{espaciamiento de gotero} \times \text{franja humedecida})$$

$$I = 1,7 / (0,40 \times 0,71) = 5,98 \text{ mm / hr.}$$

$$Tr = 10,93 / 5,98 = 1,83 \text{ hr.}$$

Los datos anteriores indicarían que se debe de regar aproximadamente dos horas cada dos días, pero para efectos prácticos se aplicó un tiempo de riego de una hora pero con una frecuencia diaria. Se cuenta con un controlador donde se programó el riego en forma automática.

3.2 Preparación del terreno.

Se limpiaron los invernaderos de malas hierbas en forma mecánica y se le dio una pasada con arado de disco y posteriormente se utilizó el rotador; con el fin de que quedará apto para la colocación de las coberturas plásticas, tubería con goteros y posteriormente la siembra.

La Figura 3, muestra como quedó preparado el terreno. En la figura 4, puede verse las camas con la cobertura plata - negra instalada lista para la siembra.



Figura 3. Terreno preparado para la siembra.



Figura 4. Camas con cobertura plata – negra lista para la siembra.

3.3 Análisis de suelo.

Se tomaron muestras de suelo en tres ocasiones para evaluar el efecto de la materia orgánica sobre la disponibilidad de los nutrientes. Las muestras se enviaron al Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

Se realizaron análisis químico del suelo y de los abonos orgánicos para conocer su contenido nutricional, como un parámetro inicial.

3.4 Siembra del chile.

El cultivo se trasplantó el 15 de octubre de 2010, se realizaron aplicaciones de abonos orgánicos a partir del 11 de noviembre según lo establecido en el plan de trabajo, se aplicó a razón de 20 Kg de orgánico por cada surco o lo mismo que 70 gr por planta, las otras dos aplicaciones se realizaron el 23 de Diciembre y la última el 4 de febrero de 2011.

En el caso particular de las sales formuladas se aplicó un programa de manejo semanal según la curva de absorción de chile dulce. Las cantidades aplicadas se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Cantidad de sales aplicadas.

Número de plantas = 1000	Kilos por semana				
	Semanas				
Macronutrientes	0 a 2	3 a 8	9 a 15	16 a 22	23 a 28
Nitrato de calcio	0,24	0,8	0,875	1,4	1,3
Nitrato de potasio	0	0,12	0,2	0,8	0,5
Fosfato mono amónico (12-61-0)	0,32	0,28	1,32	1,2	1,2
Fosfato mono potásico (0-52-34)	0,72	0,8	0,925	1,2	1
Sulfato de potasio	0	0,42	0,9	0,85	2,1
Sulfato de magnesio	0,645	0,8	1,25	1,85	1,65
Acido Fosfórico	0	0	0	0	0
Nitrato de Magnesio	0	0	0	0	0
Micronutrientes	0 a 2	3 a 8	9 a 15	16 a 22	23 a 28
Acido Bórico	0,025	0,03	0	0	0
Sulfato de Zinc monohidratado	0,025	0,05	0	0	0
Sulfato de Manganeso Monohid.	0	0,06	0	0	0
Nutrex Micros	0	0	0,25	0,25	0,25

En la Figura 5, se puede observar el almácigo utilizado para la siembra y en la Figura 6, las plántulas sembradas.



Figura 5. Almacigo utilizado en la siembra.



Figura 6. Plantas sembradas con la cobertura.

A todo el invernadero se le aplicó el mismo manejo agronómico para el control de plagas y enfermedades, independientemente de los tratamientos.

Desde el inicio se presentaron problemas de gusanos cortadores como *Agrotis sp.* y *Spodoptera spp.*, los cuales fueron controlados con productos específicos como Avaunt, Spintor y Proclaim. Sin embargo el insecto que presentó mayor problema al cultivo fue el picudo del chile dulce (*Anthonomus eugeni*), el cual está registrado a nivel nacional como la plaga de mayor importancia en el cultivo del chile dulce, para el manejo de este insecto se utilizó rotación de productos de diferente modo de acción como Regent, Monarca, Actara, Lorsban. Estos productos están especificados para el control de la plaga sin embargo se nota que existe resistencia de la misma a los productos, pues a pesar de la aplicaciones, la presencia de la plaga fue constante, lo cual implicó la necesidad de implementar un adecuado Manejo Integrado de la plaga con prácticas culturales como recolección de frutos caídos y fumigar el cultivo por las tardes que es la hora de mayor actividad del insecto.

Por otra parte, la presencia continua de ácaros (*Tetranychus sp.*) requirió de aplicaciones escalonadas de productos dirigidos al control de los huevos como el Oberon, y de los adultos como el Vertimec y el Relámpago. Esta plaga fue estacional y se controló adecuadamente con las estrategias establecidas para su manejo.

Con respecto a las enfermedades, el mildew veloso, (*Leveillula taurica*) fue la enfermedad más ampliamente desarrollada en el cultivo, gracias a condiciones de clima como noches frías y días cálidos y húmedos. El control químico de esta enfermedad se basó en aplicaciones de productos como Bellis y Silvacur, en combinación con otros tales como Mirage y Cycosin, con los cuales se obtuvo un buen control; también se utilizó fungicidas protectores como Polyram, Antracol, Folpan y Kalsil, para mejorar espectro de acción.

3.5 Definición de los indicadores de sostenibilidad

Se seleccionaron 7 indicadores de calidad del suelo y 6 indicadores de salud del cultivo. Cada indicador se estimó en forma separada y se le asignó un valor de 1 a 10, siendo 1 el valor menos deseado, 5 un valor promedio y 10 el valor más deseado de acuerdo con las características que presenta el suelo o el cultivo según los atributos a observar para cada indicador. Por ejemplo en el caso del indicador de estructura del suelo se asigna un valor de 1 al suelo polvoso, sin agregados visibles, un valor de 5 a un suelo con algo de estructura

granular y cuyos gránulos se rompen fácil bajo una suave presión con los dedos y un valor de 10 para un suelo friable y granuloso con agregados que mantiene su forma después de humedecidos y sometidos a una presión leve.

Una vez que se asignaron los valores a cada indicador, se sumaron los valores obtenidos y se dividió por el número de indicadores observados y se obtuvo un valor promedio de **calidad del suelo** y otro **de salud del cultivo**. Las evaluaciones de calidad del suelo o salud del cultivo que fueron menores de 5 se consideraron que están por debajo del umbral de sostenibilidad y que por lo tanto ameritan manejos que corrijan aquellos indicadores que exhiben valores bajos.

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Para mayor rigurosidad en el análisis estadístico se realizó un submuestreo de seis plantas por subparcela, a la vez se cosechó toda la parcela para obtener datos de producción total.

3.6 Diseño Estadístico.

Tratamientos

Se evaluó el efecto de un abono orgánico a base de gallinaza con roca fosfórica (Abimgra) a razón de 200 Kg/ha, abono orgánico a base de broza de café (Juan Viñas), a razón de 200 Kg/ha, un tratamiento testigo absoluto y utilización de sales aplicadas con el sistema de riego por goteo según los requerimientos obtenidos de la curva de absorción.

A los abonos orgánicos, se les realizó un análisis químico en los laboratorios del Centro de Investigación en Agronomía (CIA), de la Universidad de Costa Rica.

Los tratamientos se aplicaron tres veces durante el ciclo del cultivo, una a la siembra, otra al inicio de la floración y una última en producción.

Se realizaron evaluaciones de fertilidad y microbiológicos antes del inicio del ensayo a mediados de la producción y al final de la misma, para tener un patrón de comparación a través del tiempo.

3.7 Diseño Experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con mediciones en el tiempo, con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Para mayor rigurosidad en el análisis estadístico se realizó un submuestreo de seis plantas por subparcela, a la vez se cosechó toda la parcela para obtener datos de

producción total. A partir de esto se generaron los análisis de acuerdo con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + B_i + T_j + \varepsilon_{ij} + F_k + FT_{jk} + \varepsilon_{jk} \text{ donde:}$$

Y_{ij} = Variable de respuesta.

μ = Media general.

B_i = Efecto del Bloque i.

T_j = Efecto principal del nivel k de fertilizante

ε_{ij} = Error experimental.

F_k = Efecto de la k-esima fecha

FT_{jk} = Interacción fecha tratamiento.

ε_{jk} = Error debido al tiempo o fecha.

La Figura 7, muestra el esquema del diseño experimental utilizado

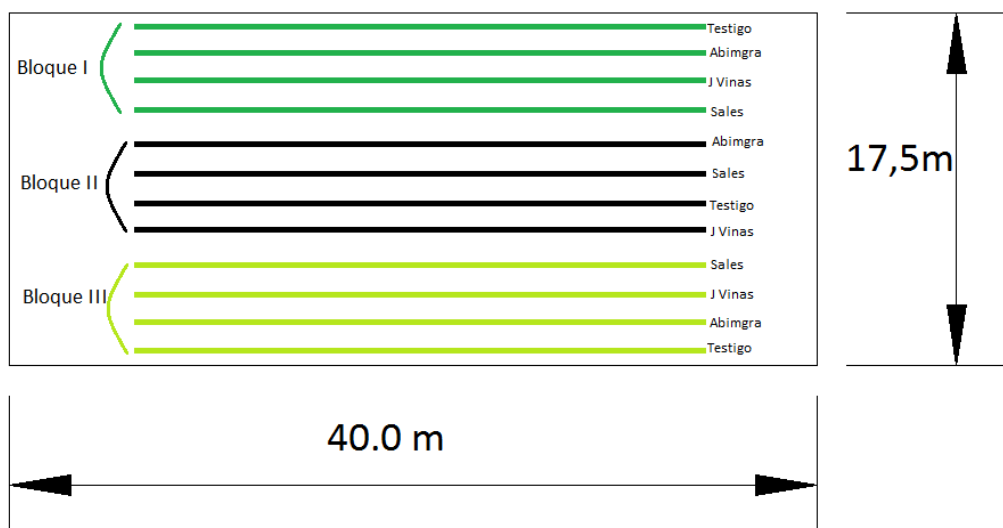


Figura 7. Esquema del diseño experimental utilizado

3.8 Variables a evaluar.

1. Se evaluó el efecto de la materia orgánica sobre la estructura, la compactación, profundidad del suelo, presencia de residuos, retención de humedad, desarrollo de raíces, actividad biológica y disponibilidad de nutrientes (**Indicadores del suelo**).
2. Se avaluó el estado de sanidad del cultivo mediante apariencia, crecimiento del cultivo, resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades, nematodos y rendimiento (**Sanidad del cultivo**).

Para la recolección de la información de los indicadores del suelo, como de la sanidad del cultivo, se confeccionó el Cuadro 5.

Cuadro 5. Indicadores de calidad del suelo y sanidad del cultivo, para Chile en condiciones de invernadero.

Calidad del suelo

1. Estructura

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Suelo polvoso sin gránulos visibles	
5	Suelo suelto con pocos gránulos que se rompen al aplicar presión suave	
10	Suelo friable y granular, agregados mantienen forma después de aplicar presión suave, aún humedecidos	

2. Compactación y conductividad hidráulica

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Compacto, se anega	
5	Presencia de capa delgada, agua infiltra lentamente	
10	Suelo no compacto, agua infiltra fácilmente	

Se llevaron a cabo pruebas de conductividad hidráulica para poder definir la característica.

3. Profundidad del suelo

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Subsuelo casi expuesto	
5	Suelo superficial delgado (menos de 10 cm)	
10	Suelo superficial más profundo (mayor de 10 cm)	

Mediante calicatas se midió esta característica.

4. Estado de residuos

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Residuo orgánico presente que no se descompone o muy lentamente.	
5	Aún persiste residuo del ciclo anterior en vías de descomposición	
10	Residuos de varios estados de descomposición, pero residuos viejos bien descompuestos.	

Por observación se determinó la cantidad y estado de los residuos.

5. Retención de humedad

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Suelo se seca rápido	
5	Suelo permanece seco en época seca	
10	Suelo mantiene algo de humedad en época seca	

Mediante curvas de retención de humedad elaboradas en el laboratorio de suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola, se determinó la capacidad de retención del suelo.

6. Desarrollo de raíces

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Raíces poco desarrolladas, enfermas y cortas	
5	Raíces de crecimiento algo limitado, se ven algunas raíces finas	
10	Raíces con buen crecimiento, saludables y profundas, con abundante presencia de raíces finas.	

Se observó el desarrollo radicular del cultivo, para ver el estado y desarrollo del crecimiento.

7. Actividad biológica

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Sin signos de actividad biológica, no se ven lombrices ni invertebrados	
5	Se ven algunas lombrices y artrópodos	
10	Mucha actividad biológica, abundantes lombrices y artrópodos	
<i>Promedio calidad del suelo</i>		

Se realizaron análisis microbiológicos en el CIA, de la Universidad de Costa Rica y se observó el suelo para ver la actividad biológica que se estaba desarrollando.

Sanidad del cultivo

1. Apariencia

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Cultivo clorótico con signos severos de deficiencias de nutrientes	
5	Cultivo verde claro con algunas decoloraciones	
10	Follaje verde intenso sin signos de deficiencia.	

2. Crecimiento del cultivo

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Cultivo de crecimiento pobre, tallos y ramas cortas y quebradizas, casi no hay brotes nuevos	
5	Cultivo más denso pero no muy uniforme, con crecimiento nuevo y con ramas y tallos aún delgados	
10	Cultivo denso, uniforme, buen crecimiento con tallos y ramas gruesas y firmes.	

3. Incidencia de enfermedades

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Susceptible a enfermedades, más del 50% de plantas con síntomas.	
5	Entre 20y 45 % de plantas con síntomas de leves a severos.	
10	Resistentes, menos del 20% de plantas con síntomas leves	

4. Rendimiento actual o potencial

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Bajo con relación al promedio de la zona.	
5	Medio, aceptable	
10	Bueno o alto	

5. Nematodos

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Mas del 50% de plantas con nematodos	
5	De 50 a 25%	
10	Menos de 25%	

6. Plagas

Valor establecido	Característica	Valor en el invernadero
1	Alta incidencia	
5	Leve incidencia	
10	Sin plagas	
<i>Promedio sanidad del cultivo</i>		

Para la recolección de la información de producción se utilizó el Cuadro 6.

Cuadro 6. Modelo para toma de datos de producción

	BLOQUE	FECHA	LINEA	TRATAMIENTO	NO PLANTA	CANTIDAD	PESO
FECHA	1	0	1	Testigo	1		
	1	0	1	Testigo	2		
	1	0	1	Testigo	3		
	1	0	1	Testigo	4		
	1	0	1	Testigo	5		
	1	0	1	Testigo	6		
	1	0	2	Abimgra	1		
	1	0	2	Abimgra	2		
	1	0	2	Abimgra	3		
	1	0	2	Abimgra	4		
	1	0	2	Abimgra	5		
	1	0	2	Abimgra	6		
	1	0	3	Juan Viñas	1		
	1	0	3	Juan Viñas	2		
	1	0	3	Juan Viñas	3		
	1	0	3	Juan Viñas	4		
	1	0	3	Juan Viñas	5		
	1	0	3	Juan Viñas	6		
	1	0	4	Sales	1		
	1	0	4	Sales	2		
	1	0	4	Sales	3		
	1	0	4	Sales	4		
	1	0	4	Sales	5		
	1	0	4	Sales	6		
	2	0	5	Abimgra	1		
	2	0	5	Abimgra	2		
	2	0	5	Abimgra	3		
	2	0	5	Abimgra	4		
	2	0	5	Abimgra	5		
	2	0	5	Abimgra	6		
	2	0	6	Sales	1		
	2	0	6	Sales	2		
	2	0	6	Sales	3		
	2	0	6	Sales	4		
	2	0	6	Sales	5		
	2	0	6	Sales	6		
	2	0	7	Testigo	1		
	2	0	7	Testigo	2		
	2	0	7	Testigo	3		
	2	0	7	Testigo	4		
	2	0	7	Testigo	5		
	2	0	7	Testigo	6		
2	0	8	Juan Viñas	1			
2	0	8	Juan Viñas	2			

BLOQUE	FECHA	LINEA	TRATAMIENTO	NO PLANTA	CANTIDAD	PESO
2	0	8	Juan Viñas	3		
2	0	8	Juan Viñas	4		
2	0	8	Juan Viñas	5		
2	0	8	Juan Viñas	6		
3	0	9	Sales	1		
3	0	9	Sales	2		
3	0	9	Sales	3		
3	0	9	Sales	4		
3	0	9	Sales	5		
3	0	9	Sales	6		
3	0	10	Juan Viñas	1		
3	0	10	Juan Viñas	2		
3	0	10	Juan Viñas	3		
3	0	10	Juan Viñas	4		
3	0	10	Juan Viñas	5		
3	0	10	Juan Viñas	6		
3	0	11	Abimgra	1		
3	0	11	Abimgra	2		
3	0	11	Abimgra	3		
3	0	11	Abimgra	4		
3	0	11	Abimgra	5		
3	0	11	Abimgra	6		
3	0	12	Testigo	1		
3	0	12	Testigo	2		
3	0	12	Testigo	3		
3	0	12	Testigo	4		
3	0	12	Testigo	5		
3	0	12	Testigo	6		

Los datos se recolectaron todas las semanas, excepto cuando se tenían periodos de vacaciones, que en algunas ocasiones se cosechó cada quince días.

Para el análisis de datos se utilizó un análisis de variancia, con una prueba de diferenciación de medias de Duncan al 5%.

IV. RESULTADOS.

4.1 Fertilidad del suelo y estado nutricional del cultivo.

Para el análisis de los resultados de fertilidad del suelo y del estado nutricional del cultivo, se evaluó el efecto de los tratamientos sobre la disponibilidad de nutrientes a nivel de suelo y la concentración foliar de cada elemento a nivel foliar. A continuación se presentan gráficos con la dinámica de los elementos en el suelo durante el ciclo del cultivo y el estado nutricional de la planta en cada tratamiento, además se presenta el estado nutricional del suelo de un bosque nutricionalmente equilibrado.

4.1.1 pH de los tratamientos

En la Figura 8, se muestra un gráfico con la dinámica del pH para cada tratamiento durante el ciclo de cultivo, en éste se presenta el valor del nivel crítico de pH (línea roja, 5,5), que en este caso, el Laboratorio de Suelos y Foliar de la Universidad de Costa Rica define como el punto por debajo del cual, el desarrollo normal de la planta se afecta de manera negativa. Se puede ver que un bosque en estado natural tiene un pH de suelo sobre el nivel crítico (línea roja = 5,5) de 6,0, al inicio del ensayo todos los tratamientos tenían pH de suelo superior al nivel crítico (5,8 aproximadamente), luego de aplicados los tratamientos se observa que el tratamiento testigo sin aplicación mantiene el pH de suelo fluctuando entre 5,4 y 5,8, sin mostrar tendencias marcadas, esto debido a que al no ser aplicado el pH se mantiene estable. Por otro lado, los diferentes tratamientos tuvieron un efecto marcado, siendo el tratamiento a base de sales el que bajó el pH por debajo del nivel crítico, el tratamiento aplicado con abono orgánico de Juan Viñas mejoró el pH, llevándolo sobre el nivel del bosque en equilibrio. Según Orellana et al (2002), el pH óptimo para el crecimiento y desarrollo del chile ronda entre 5,5 y 7,0, tomado en cuenta esto, el nivel crítico de 5,5 y el pH del bosque como modelo de suelo con pH equilibrado, se puede decir que el tratamiento aplicado con Abimgra fue el que mejor efecto tuvo sobre el pH, pues alejó el pH del suelo del nivel crítico, aumentándolo entre 6,5 y 7.

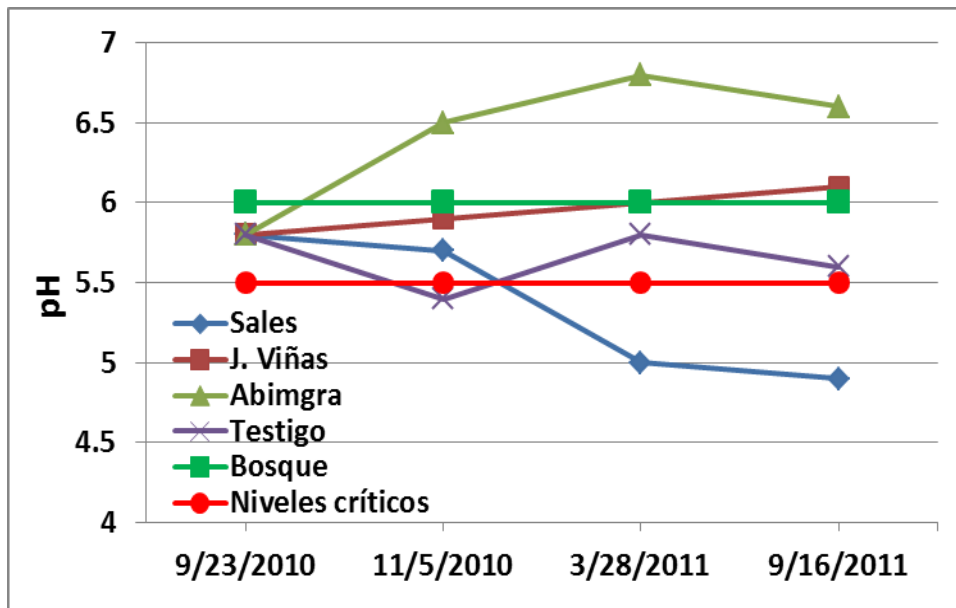


Figura 8. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el pH del suelo en las cuatro fechas de evaluación.

4.1.2 Acidez de los tratamientos

En la Figura 9, se presenta un gráfico con la acidez del suelo durante el ciclo de cultivo para cada tratamiento, en ésta se observa que la acidez intercambiable, conocida también como aluminio intercambiable, se encuentra bajo los niveles críticos en todos los tratamientos al igual que el bosque con un valor aproximado de 0,2 cmol(+)/L, luego de aplicados los tratamientos se observa que el tratamiento testigo sin aplicación, mantiene la acidez intercambiable del suelo alrededor de 0,2 cmol(+)/L, mientras que los diferentes tratamientos generaron tendencias a la baja, siendo el tratamiento a base de sales el que aumento la acidez del suelo hasta 0,4 cmol(+)/L, los tratamientos aplicados con abono orgánico de Juan Viñas y Abimgra mejoraron la acidez, bajándola hasta 0,1 cmol(+)/L, el comportamiento de la acidez en cada tratamiento correlaciona con el comportamiento del pH del suelo, esto debido a que cuando baja el pH aumenta la solubilidad del aluminio en el suelo y por lo tanto la aumenta la acidez intercambiable. En el caso del tratamiento testigo sin aplicación, se puede ver que la acidez se mantiene relativamente estable (entre 0,16 y 0,20) sin mostrar tendencias marcadas, y al igual que en el caso del pH, esto se debe a que al no ser aplicado la acidez se mantiene estable.

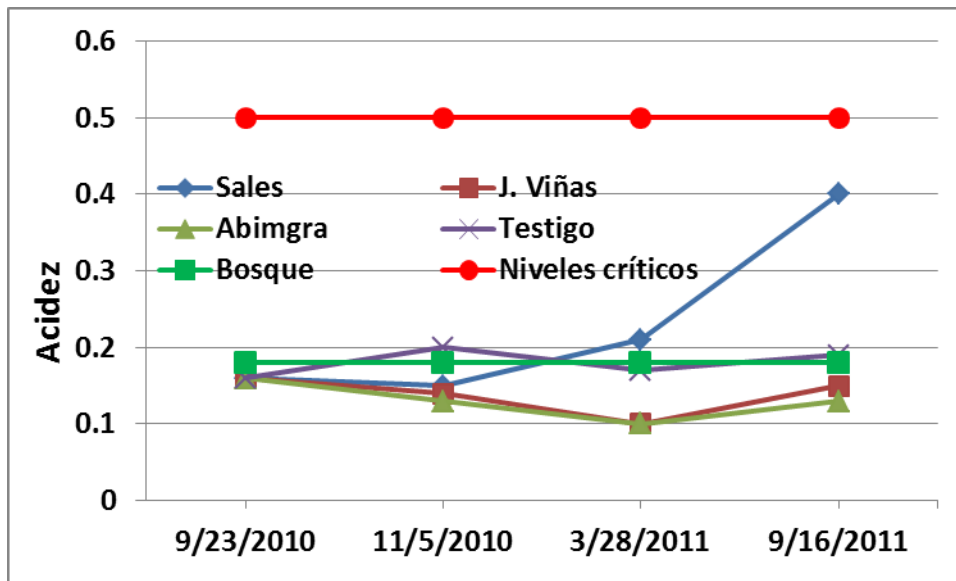


Figura 9. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la acidez del suelo en las cuatro fechas de evaluación.

4.1.3 Nitrógeno de los tratamientos

En la Figura 10, se presenta un gráfico con la concentración foliar de nitrógeno (%) para cada tratamiento, en ésta se observa que el tratamiento con sales generó un alto porcentaje foliar de nitrógeno desde el inicio y lo mantuvo durante el ciclo del cultivo, el tratamiento aplicado con Abimgra fue el que generó mayor porcentaje de nitrógeno foliar al finalizar el ciclo, seguido por el tratamiento aplicado con sales y con abono orgánico de Juan Viñas, las plantas del tratamiento testigo sin aplicación fueron las que tuvieron menor porcentaje foliar de nitrógeno.

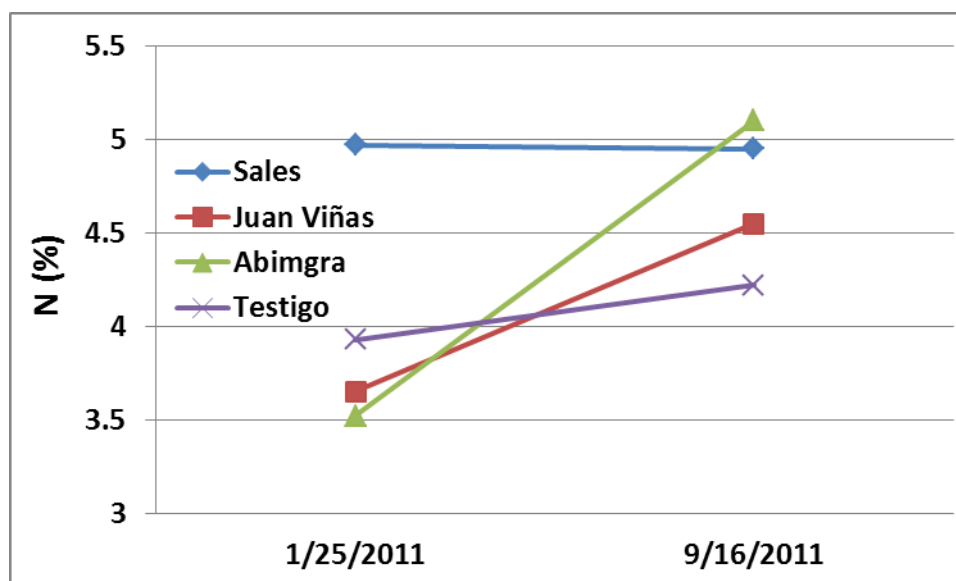


Figura 10. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el porcentaje de nitrógeno foliar en el cultivo.

4.1.4 Fósforo de los tratamientos

En la Figura 11, se presenta un gráfico con la concentración de fósforo (mg/L) que hay en el suelo en cada tratamiento durante el ciclo de cultivo, en este se observa que, la concentración de fósforo en el suelo del tratamiento testigo sin aplicación, se mantuvo fluctuando durante todo el ciclo de cultivo, entre 21 y 195 mg/L, al igual que los tratamientos con aplicación de Abimgra, Sales y Abono orgánico, por lo tanto, los datos de concentración de fósforo en el suelo (mg/L) no evidencian respuesta a la aplicación de los tratamientos.

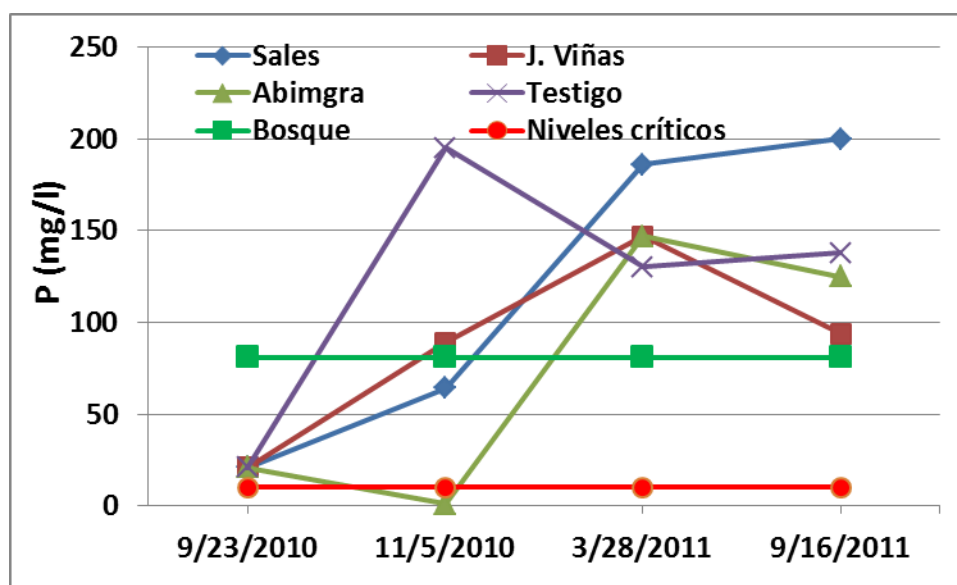


Figura 11. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la concentración foliar de fósforo en el suelo en las cuatro fechas de evaluación.

En la Figura 12, se muestra un gráfico, con las concentraciones foliares de fósforo de las plantas de cada tratamiento durante el ciclo de cultivo, en esta se puede ver que los tratamientos aplicados con abono orgánico de Juan Viñas y con Abimgra, generaron mayor porcentaje de fósforo foliar al final del ciclo del cultivo, tomando en cuenta que la disponibilidad del fósforo aumenta conforme el pH del suelo se torne Neutro, se puede decir que la absorción de fósforo correlaciona con el cambio de pH en suelo y que los tratamientos que generan mayor absorción de fósforo por parte de la planta fueron los aplicados con abono orgánico de Juan Viñas y con Abimgra.

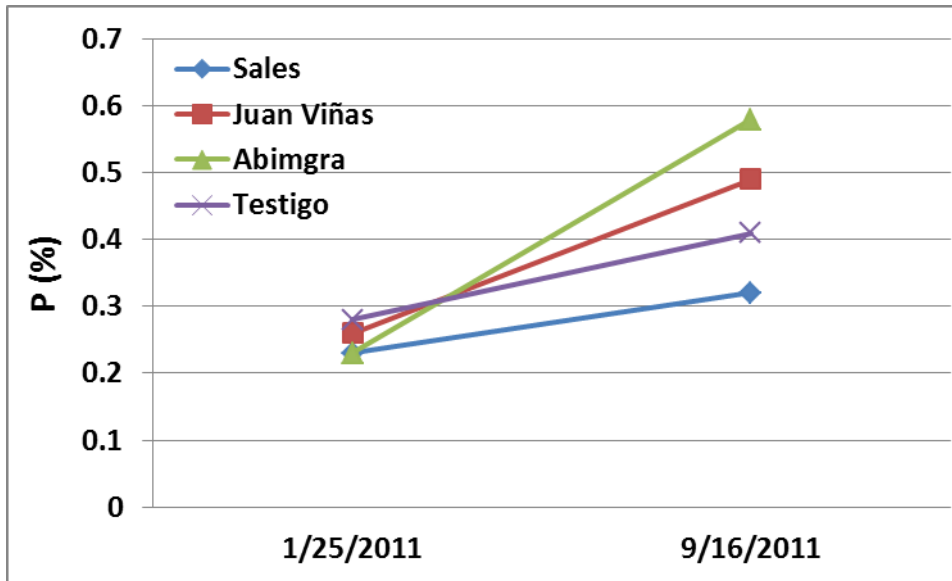


Figura 12. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el porcentaje de fósforo foliar en el cultivo.

4.1.5 Calcio de los tratamientos

En la Figura 13, se observa un gráfico con los niveles de calcio en el suelo, en cada uno de los tratamientos durante el ciclo de cultivo, en este se observa que el único tratamiento que generó diferencias en la concentración de calcio en el suelo fue el aplicado con Abimgra, se debe tomar en cuenta que Abimgra posee un 20% de polihalita ($K_2MgCa_2(SO_4)_4 \cdot 4H_2O$), por lo que ésta fuente aporta calcio al ser aplicada, los demás tratamientos mantuvieron constante la concentración de calcio a nivel de suelo, todos los tratamientos tuvieron concentraciones de calcio superiores al nivel crítico al igual que el suelo del bosque.

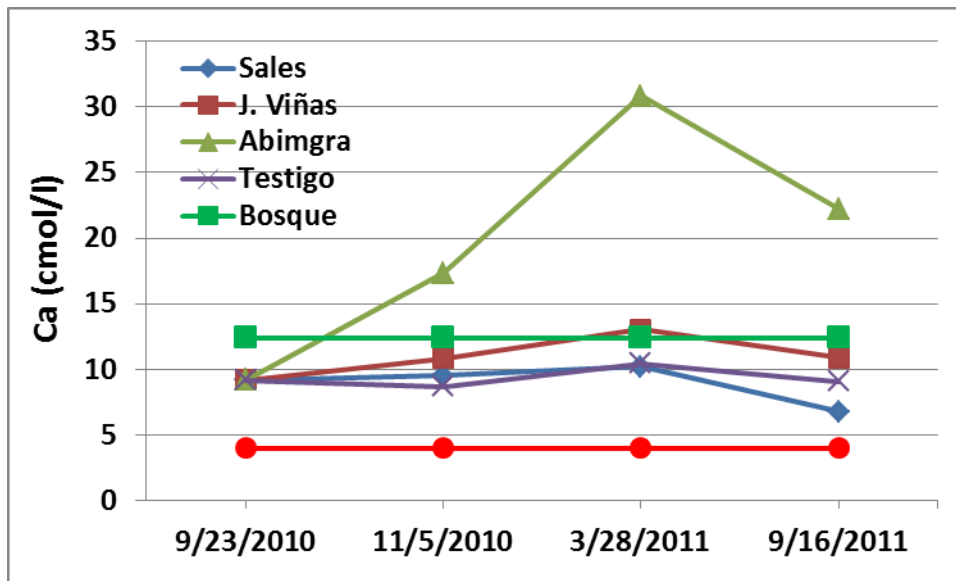


Figura 13. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la disponibilidad de calcio en el suelo en las cuatro fechas de evaluación.

En la Figura 14, se observa un gráfico con el porcentaje de calcio foliar en cada tratamiento, en este se puede ver que, a pesar de que en tratamiento con Abimgra fue el que generó mayor concentración de calcio en el suelo, éste tratamiento fue el que produjo menor concentración foliar de calcio, lo que sugiere que la polihalita ($K_2MgCa_2(SO_4)_4H_2O$) presente en Abimgra no se encuentra disponible y por lo tanto no es absorbida a corto plazo. El tratamiento a base de sales fue el que generó mayor concentración foliar de calcio en las plantas, debido a que la disponibilidad de calcio para la planta aumenta cuando se aplica como sal soluble.

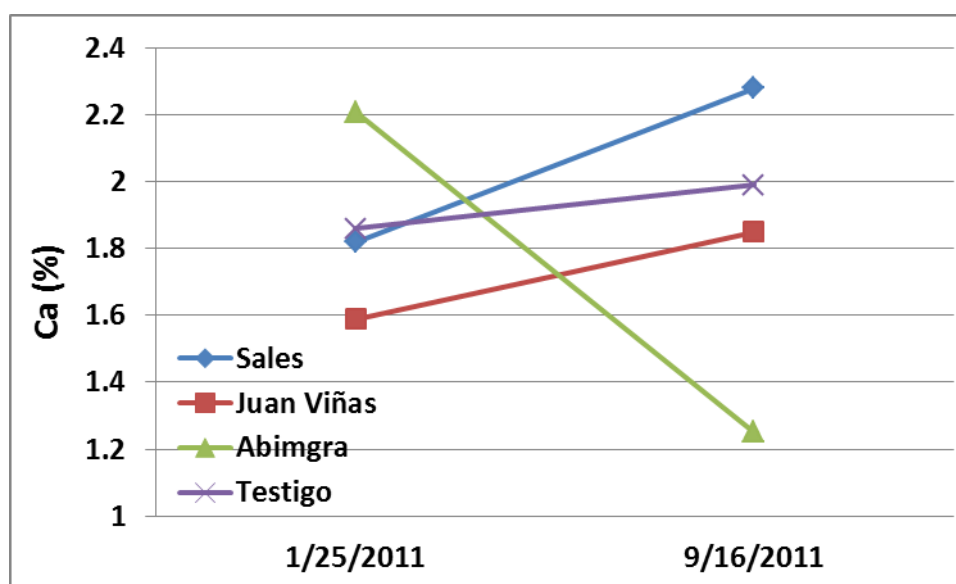


Figura 14. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el porcentaje de calcio foliar en el cultivo.

4.1.6 Magnesio de los tratamientos

En la Figura 15, se muestra un gráfico con la concentración de magnesio en el suelo por tratamiento durante el ciclo del cultivo, en éste se observa un comportamiento parecido al comportamiento del fósforo en el suelo, pues el comportamiento del tratamiento sin aplicación, fluctúa igual que los tratamientos aplicados, por lo tanto, no se puede correlacionar el efecto de los tratamientos con el comportamiento de la concentración de magnesio en el suelo durante el ciclo de cultivo.

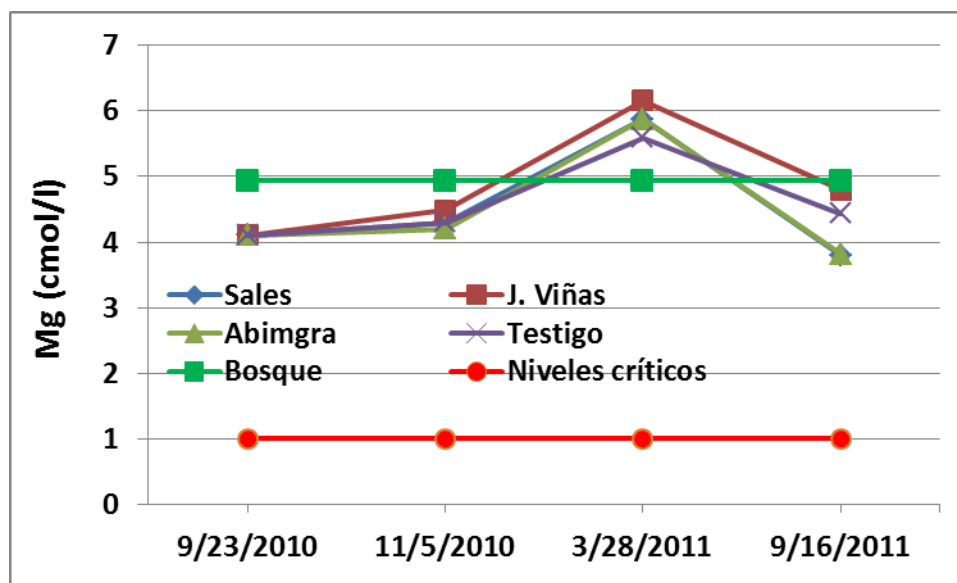


Figura 15. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la concentración de magnesio en el suelo en las cuatro fechas de evaluación.

En la Figura 16, se observa un gráfico con el porcentaje de magnesio foliar en cada tratamiento, en este se puede ver que, una respuesta similar con respecto a la concentración foliar de calcio, pues el tratamiento aplicado con Abimgra fue el que produjo menor concentración foliar de magnesio en la última lectura, esto que sugiere que el magnesio aportado por Abimgra no estuvo disponible a corto plazo al igual que en el caso de Ca. Los tratamientos aplicados con sales y con abono orgánico, fueron los que presentaron mayor concentración foliar de magnesio en la última fecha. Si se comparan las concentraciones de magnesio foliar del testigo con respecto a las concentraciones de magnesio foliar de los tratamientos aplicados, se puede ver que la aplicación de los tratamientos disminuyeron las concentraciones foliares de Magnesio.

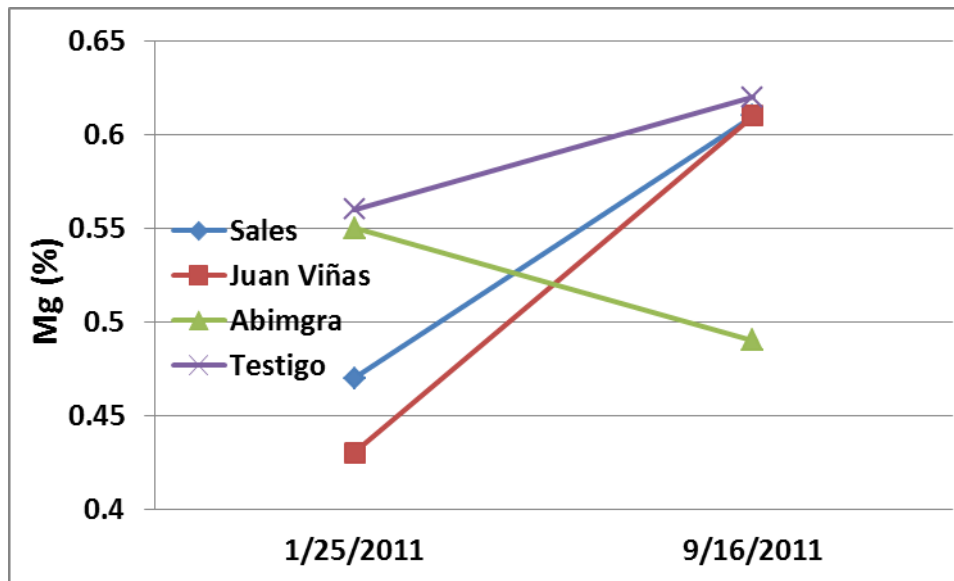


Figura 16. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el porcentaje de magnesio foliar en el cultivo.

4.1.7 Potasio de los tratamientos

En la Figura 17, se muestra un gráfico con la concentración de potasio a nivel de suelo en cada tratamiento durante el ciclo del cultivo, en este se observa que, en la tercera fecha de evaluación los tratamientos aplicados con el abono orgánico de Juan Viñas y Abimgra fueron los que produjeron el mayor aumento de la concentración de potasio en el suelo, seguido por el tratamiento a base de sales. En la última fecha de evaluación los tratamientos aplicados con sales, abono orgánico y Abimgra tenían la misma concentración de potasio a nivel de suelo. El tratamiento testigo mantuvo una concentración de potasio constante durante el ciclo de cultivo.

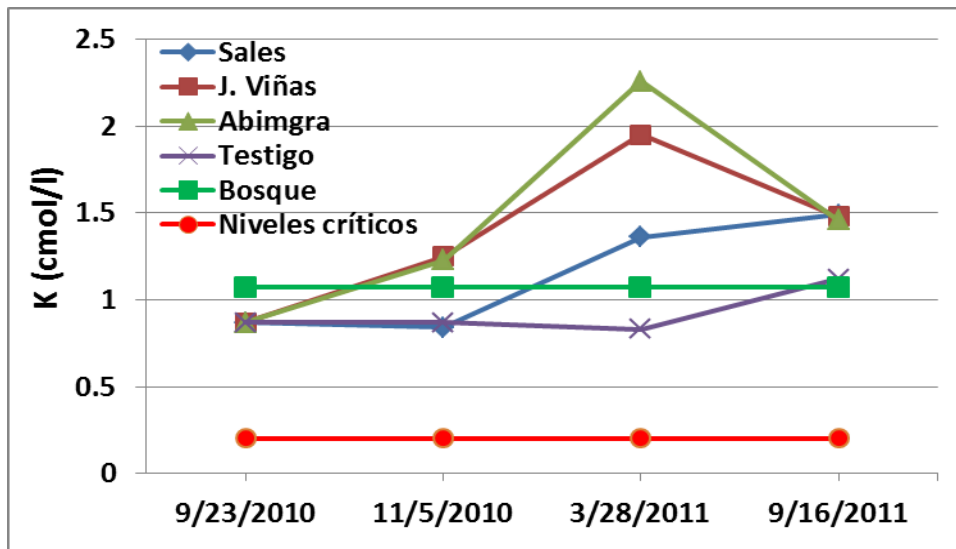


Figura 17. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la concentración de potasio en el suelo en las cuatro fechas de evaluación.

En la Figura 18, se presenta un gráfico con la concentración foliar de potasio de cada tratamiento, en este se puede ver que los tratamientos que generaron mayor porcentaje de potasio foliar fueron los aplicados con abono orgánico de Juan Viñas y el aplicado con sales, el tratamiento aplicado con Abimgra mantuvo el porcentaje de potasio foliar relativamente homogéneo durante el ciclo de cultivo, a pesar de haber sido el tratamiento que produjo mayor concentración de potasio a nivel de suelo. Al final del ciclo, las plantas del tratamiento testigo fueron las que tuvieron menor porcentaje de potasio foliar, a pesar de que al inicio fue el tratamiento con mayor porcentaje de potasio foliar.

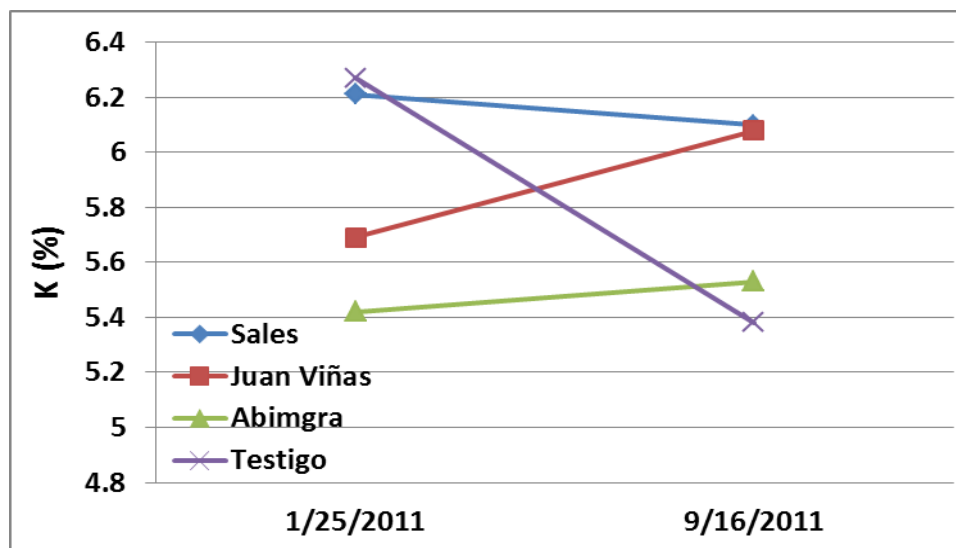


Figura 18. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el porcentaje de potasio foliar en el cultivo.

4.1.8 Hierro de los tratamientos

En la Figura 19, se muestra los datos de concentración de hierro a nivel de suelo para cada tratamiento, en este se presenta con la línea roja, el nivel crítico del hierro (10 mg/L), por debajo del cual la planta manifiesta deficiencias. Éste gráfico evidencia que todos los tratamientos tienen concentraciones de hierro altas con respecto al nivel crítico, ésta condición también puede generar toxicidad por exceso de hierro. El tratamiento aplicado con Abimgra fue el único que bajó la concentración de hierro a niveles cercanos al punto crítico, el tratamiento aplicado a base de sales fue el que generó mayor aumento de las concentraciones de hierro en el suelo, esto se correlaciona con el efecto de los tratamientos sobre el pH y la acidez, pues al disminuir el pH, aumenta la acidez y aumenta la solubilidad del hierro y por ende la concentración de hierro disponible para la planta.

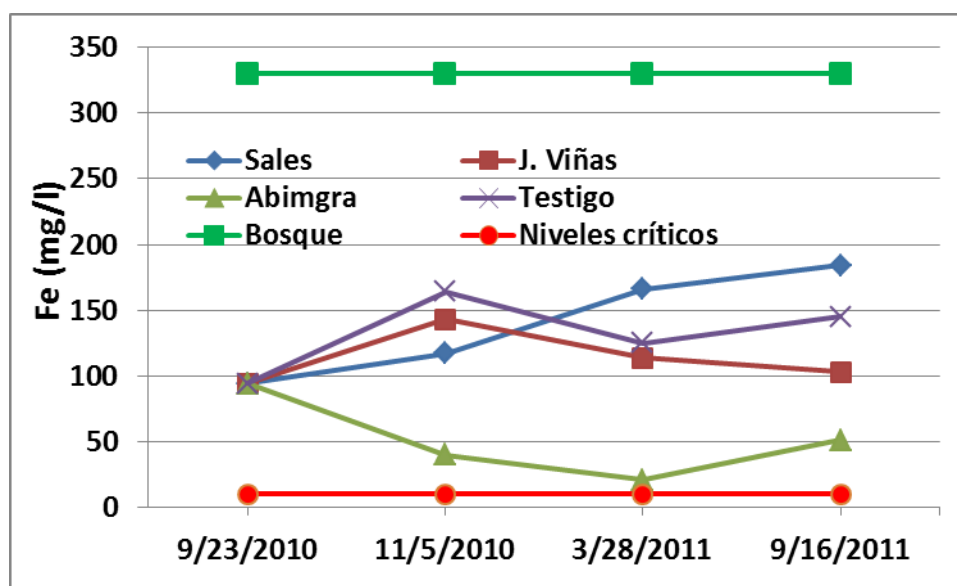


Figura 19. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la concentración foliar de hierro en el suelo en las cuatro fechas de evaluación.

En la Figura 20, se muestra un gráfico con la concentración foliar de hierro en las plantas de chile para cada tratamiento, en este se observa que el tratamiento testigo sin aplicación fue el que tuvo mayor concentración de hierro foliar, el tratamiento aplicado con Abimgra fue el que mantuvo más baja las concentración foliar de hierro en la planta, lo que correlaciona con el efecto del tratamiento sobre el pH del suelo, la acidez del suelo, y la disponibilidad del nutriente en el suelo. Pues al aumentar el pH, disminuye la acidez y la

solubilidad de hierro en el suelo, y por ende disminuye la absorción del elemento por parte de la planta. Las altas concentraciones de hierro a nivel de suelo (figura 19), correlacionan con altas concentraciones foliares del elemento.

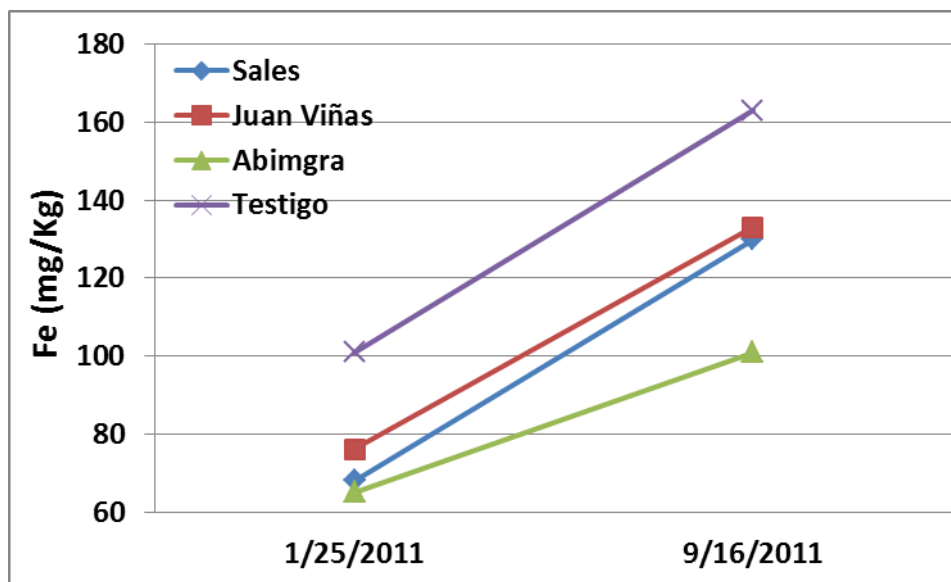


Figura 20. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre el porcentaje de hierro foliar en el cultivo.

4.2 Incremento de microorganismos a nivel del suelo.

En el Cuadro 7, se observa que en los aislamientos de hongos el más frecuente fue la *Trichoderma*, se observó que aparece en concentraciones muy parecidas en las dos evaluaciones realizadas, esto debido a que el hongo se clasifica como parásito facultativo, por tanto se puede encontrar tanto en el hospedero como en el suelo en distintas condiciones. A pesar de ser un hongo muy frecuente en los suelos para este caso en particular se observó que la población aumentó en el tratamiento de abono orgánico de Juan Viñas en la segunda evaluación, la cual se realizó a los cinco meses después de la primera. La presencia de este hongo en todos los tratamientos es importante porque es conocido el efecto antagónico de la *Trichoderma* contra hongos patógenos del suelo, además de los efectos positivos en la comunidad microbiana, en los procesos bioquímicos y en la resistencia a enfermedades. (Windham *et al.*, 1986, Andreú *et al.*, 1992).

Con respecto a los actinomicetos, se determinó que solo estuvieron presentes en el tratamiento de abono orgánico Abimgra en las dos evaluaciones

realizadas, debido posiblemente a que este abono presentó las condiciones de pH necesarios para el desarrollo de los mismos (pH mayor a 5), se sabe que no crecen en condiciones de anegamiento, por lo que este resultado hace suponer que el Abimgra mejora la infiltración del agua en el suelo permitiendo que este tipo de organismo se desarrollara adecuadamente, este es un microorganismo que realiza diversas actividades en el ecosistema, tales como el mejoramiento de la estructura del suelo y producción de compuestos bioactivos con actividad antagonista contra microorganismos patógenos, siendo los principales productores de antibióticos. (Allison, 1973), por tanto su presencia en el suelo es muy importante desde al punto de vista agroecológico pues favorecen un equilibrio en el suelo y con ello la sostenibilidad del sistema a través del tiempo.

En este sentido, todos los aportes antes mencionados de los actinomicetos están ausentes en los demás tratamientos evaluados, lo cual influye directamente sobre la sostenibilidad del sistema desde un punto de vista agroecológico.

La presencia de bacterias anaeróbicas en todos los tratamientos indica que las raíces se encontraron en condiciones de hipoxia en algún momento de su desarrollo, debido a un pobre drenaje o por características propias del suelo evaluado, bajo estas condiciones las raíces pueden ser vulnerables al ataque de patógenos debido a la degradación de las paredes celulares por el efecto de la humedad, sin embargo en el tratamiento de Abimgra se encontró poblaciones altas de bacterias aeróbicas, anaeróbicas y actinomicetos lo que nuevamente refuerza que este abono mejora el drenaje y la aireación del suelo favoreciendo el equilibrio ecológico de los organismos a nivel de suelo.

En términos generales se determinó que la materia orgánica incrementó los niveles de microorganismos benéficos principalmente en el tratamiento de Abimgra, el cual mostró la presencia de *Trichoderma*, actinomicetos y bacterias aeróbicas las cuales realizan funciones específicas como la oxidación del amoníaco a nitratos, mientras que otras intervienen en el proceso general de descomposición de materiales orgánicos (Thompson y Troeh, 1988). Por otra parte los tratamientos de Juan Viñas, Testigo y Sales, por el contrario mostraron la ausencia de actinomicetos, de bacterias aeróbicas y la presencia de bacterias anaeróbicas, lo que implica plantas desarrollándose en

condiciones de hipoxia, con alta incidencia de enfermedades del suelo, pobre desarrollo radicular y poca producción.

Cuadro 7. Análisis microbiológicos realizados a los diferentes tratamientos, en dos fechas de evaluación.

TRATAMIENTO	HONGOS	ACTINOMICETES	BACTERIAS ANAEROBICAS	BACTERIAS AEROBICAS
JUAN VIÑAS 1	Mayor 10 ² UFC/g. Trichoderma	No presencia	Mayor 10 ³ UFC/g. Crecimiento confluyente	No presencia
JUAN VIÑAS 2	Mayor 10 ³ UFC/g. Trichoderma	No presencia	Mayor 10 ³ UFC/g. Crecimiento confluyente	No presencia
TESTIGO 1	Mayor 10 ³ UFC/g. Trichoderma	No presencia	Mayor 10 ³ UFC/g. Crecimiento confluyente	No presencia
TESTIGO 2	Mayor 10 ³ UFC/g. Trichoderma	No presencia	Mayor 10 ³ UFC/g. Crecimiento confluyente	1,0 X 10 ⁶ UFC/g
SALES 1	Mayor 10 ³ UFC/g.	No presencia	Mayor 10 ³ UFC/g. Crecimiento confluyente	No presencia
SALES 2	Mayor 10 ³ UFC/g. Trichoderma	No presencia	Mayor 10 ³ UFC/g. Crecimiento confluyente	No presencia
ABIMGRA 1	Mayor 10 ³ UFC/g. Trichoderma	1,0 X 10 ² UFC/gr	5,6 X 10 ³ UFC	2,0 X 10 ⁶ UFC/g
ABIMGRA 2	Mayor 10 ³ UFC/g. Trichoderma	1,0 X 10 ⁴ UFC/gr	Mayor 10 ³ UFC/g. Crecimiento confluyente	Mayor a 10 ⁶ UFC

Análisis realizados en Noviembre de 2010 y Marzo de 2011

4.2.1 Nemátodos de los tratamientos

En la Figura 21, se muestra una figura con la cantidad de nematodos *Helicotylenchus*, *Tylenchus*, *Hemicyclophora*, *Meloidogyne* y nematodos de vida libre presentes en 100 gramos de raíz en cada tratamiento, al observar las barras correspondientes al análisis realizado en el Bosque equilibrado, se puede observar que, nematodos como *Tylenchus*, *Meloidogyne* y nematodos de vida libre se encuentran en el suelo en forma natural.

En las parcelas de los tratamientos aplicados con Abimgra, además de los nematodos encontrados en el bosque, aparecen nematodos del género *Helicotylenchus* y *Hemicyclophora*, éste tratamiento fue el que generó mayor cantidad de nematodos de vida libre, lo que sugiere que el tratamiento aplicado con Abimgra, a pesar de no controlar de manera directa los nematodos fitófagos, genera mayor diversidad en el suelo y por lo tanto promueve un agroecosistema con características de bosque en equilibrio.

Al observar las barras correspondientes a los tratamientos aplicados con abono orgánico de Juan Viñas, se puede ver que hay presencia de *Helicotylenchus*, *Tylenchus* y *Meloidogine*, por lo que el tratamiento no ejerció control directo

sobre las poblaciones, pero al igual que el tratamiento aplicado con Abingra mantuvo altas las poblaciones de nematodos de vida libre, promoviendo la diversidad al igual que en un bosque en equilibrio. Al ver los resultados del análisis de nematodos del tratamiento aplicado a base de sales se puede ver que en las parcelas de este tratamiento había presencia de *Helicotylenchus*, *Tylenchus*, *Hemicycliophora* y *Meloidogyne*, a diferencia de los tratamientos a base de insumos orgánicos, el tratamiento aplicado con sales fue el que tuvo menor cantidad de nematodos de vida libre.

Al ver el tratamiento testigo sin aplicación se puede ver que al igual que en los demás tratamientos hay presencia de nematodos fitófagos y nematodos de vida libre, por lo tanto la aplicación de los tratamientos no tuvo un efecto directo sobre los nematodos fitófagos, pero algunos como los aplicados con abono orgánico de Juan Viñas y con Abingra, lograron aumentar la diversidad de nematodos en el suelo lo que genera una condición en el agroecosistema más parecida a la de un bosque en equilibrio.

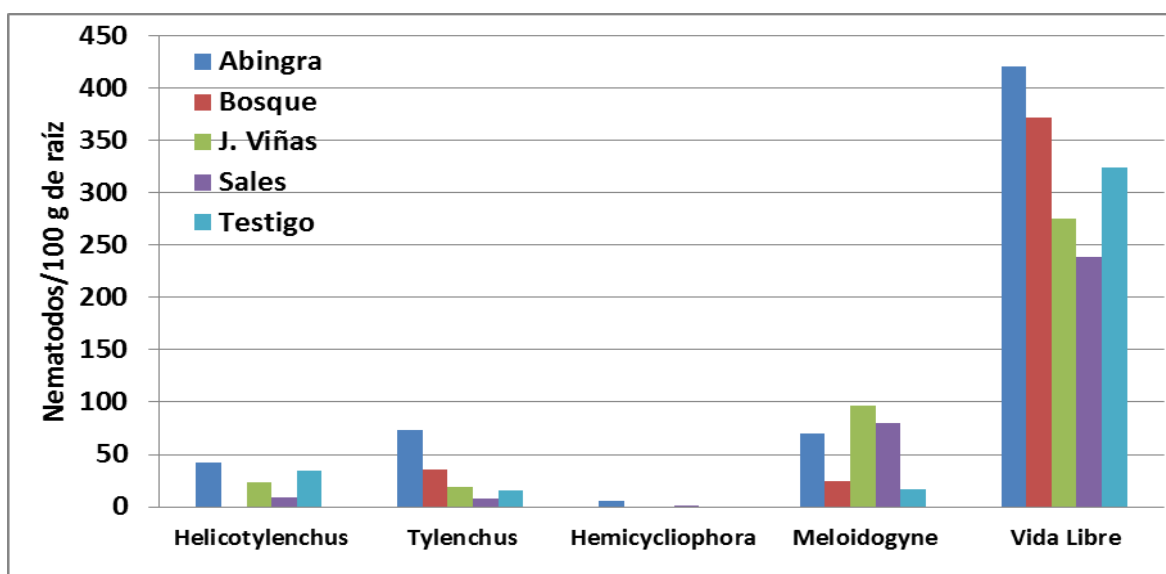


Figura 21. Cantidad de *Helicotylenchus*, *Tylenchus*, *Hemicycliophora*, *Meloidogyne* y nematodos de vida libre presentes en 100 gramos de raíz en cada tratamiento.

4.3 Evaluación de los índices de sostenibilidad en los tratamientos evaluados.

La Figura 23, representa el comportamiento para los tratamientos evaluados a los veinte días después de realizado el transplante, se observa que en el indicador de la estructura del suelo, los mejores resultados se presentaron en

los tratamientos de orgánico de Juan Viñas y Abimgra, con valores que superaron el valor o umbral de cinco previamente establecido. Se observó que el suelo tendió a ser friable, con agregados que se mantuvieron después de aplicar presión sobre los mismos; por su parte el tratamiento testigo, el cual no tiene ningún aporte orgánico y el tratamiento con sales estuvieron por debajo del umbral, lo que indica que las raíces en estas circunstancias crecieron en menor cantidad y profundidad, debido a que en el caso del testigo no hubo aplicación de ningún abono y en el caso de las sales, no se aplicaron a la siembra, sino hasta los ocho días.

Con respecto a la compactación se observó que los tratamientos orgánicos no presentaron compactación y el agua infiltraba más fácilmente con respecto al tratamiento de sales y al testigo absoluto, esto debido a que la materia orgánica ayuda a formar agregados que contribuyen a la aireación de suelo y favorecer la capacidad exploratoria de la raíz, además de darle estabilidad a la estructura del suelo.

En cuanto a la profundidad del suelo todos los tratamientos mostraron la presencia de un suelo expuesto principalmente por el origen del suelo el cual es de tipo ultisol y la poca cantidad de materia orgánica agregada en comparación con el volumen total del suelo. Por otra parte en la cantidad de residuos en el suelo como era de esperar se encontró mayor cantidad en los tratamientos de Juan viñas y Abimgra, esto por que la distancia entre el trasplante y la evaluación fue muy corto.

Con respecto al indicador retención de humedad la cual fue medida en forma manual, se puede observar que es igual para todos, lo anterior se debe a que la aplicación de materia orgánica en realidad no influyó mucho en la capacidad de retención debido a que la aplicación fue poca en comparación a la profundidad del suelo en que se desarrolla el sistema radicular, por otra parte al tener riego por goteo en forma diaria, siempre se va a tener en el suelo un contenido de humedad alto.

Otro indicador evaluado fue la apariencia del cultivo, en este índice se observó que las plantas que crecieron en los tratamientos orgánicos presentaban una mejor apariencia, con follaje verde sin presencia de deficiencias y con mucho vigor, situación totalmente contraria a los tratamientos de sales y testigo en los cuales se observó que las plantas eran más pequeñas, con menor vigor y

menor tamaño con respecto a los tratamientos orgánicos, esta situación se puede explicar por el hecho de que las sales aumentan la conductividad eléctrica del suelo, aumentando con ello la oxidación de la raíz, estimulando raíces con menor capacidad de absorción y por ende plantas con menor tamaño.

En cuanto al crecimiento del cultivo, nuevamente los tratamientos orgánicos fueron los que presentaron plantas más grandes, en primer lugar el Abimgra seguido por el orgánico de Juan viñas, en tercer lugar de crecimiento estuvo el tratamiento con sales, el cual a pesar de tener mejor nutrición a esta altura no pudo superar el buen arranque proporcionado por los abonos orgánicos aplicados, por último el tratamiento testigo el cual presentó plantas más pequeñas con relación a las demás.

En la Figura 22, se puede observar el crecimiento del cultivo con cada tratamiento a los veinte días de la siembra. El orden es: Abimgra, Juan Viñas, Sales y Testigo.



Figura 22. Cultivo a los cinco meses de sembrado (Abimgra, Juan Viñas, Sales, Testigo).

En esta evaluación se observó que todas las plantas estaban sanas con respecto a plagas y enfermedades por lo cual presentaron el valor máximo de evaluación que era 10.

El desarrollo radicular es un indicador muy importante de evaluar pues determina la capacidad de producción de la planta ya que si existe un buen sistema radicular esta tendrá mayor capacidad de exploración y por ende mayor capacidad de absorción de nutrientes, en este caso en particular los tratamientos orgánicos de Juan viñas y Abimgra nuevamente presentaron un mejor desempeño puesto que las raíces evaluadas alcanzaron valores por encima del umbral, se observó raíces con buen crecimiento, saludables, profundas, blancas y con gran presencia de pelos absorbentes. En esta evaluación la actividad biológica como presencia de lombrices e invertebrados no fue encontrada.

En términos generales los tratamientos con abonos orgánicos fueron los que presentaron un mejor desenvolvimiento en los diferentes indicadores evaluados, en donde se debe rescatar un excelente desarrollo radicular con respecto a los demás tratamientos, también el comportamiento de las sales químicas y el testigo a esta altura del ensayo presentaron un comportamiento muy similar a excepción de un mayor crecimiento en el tratamiento de sales.

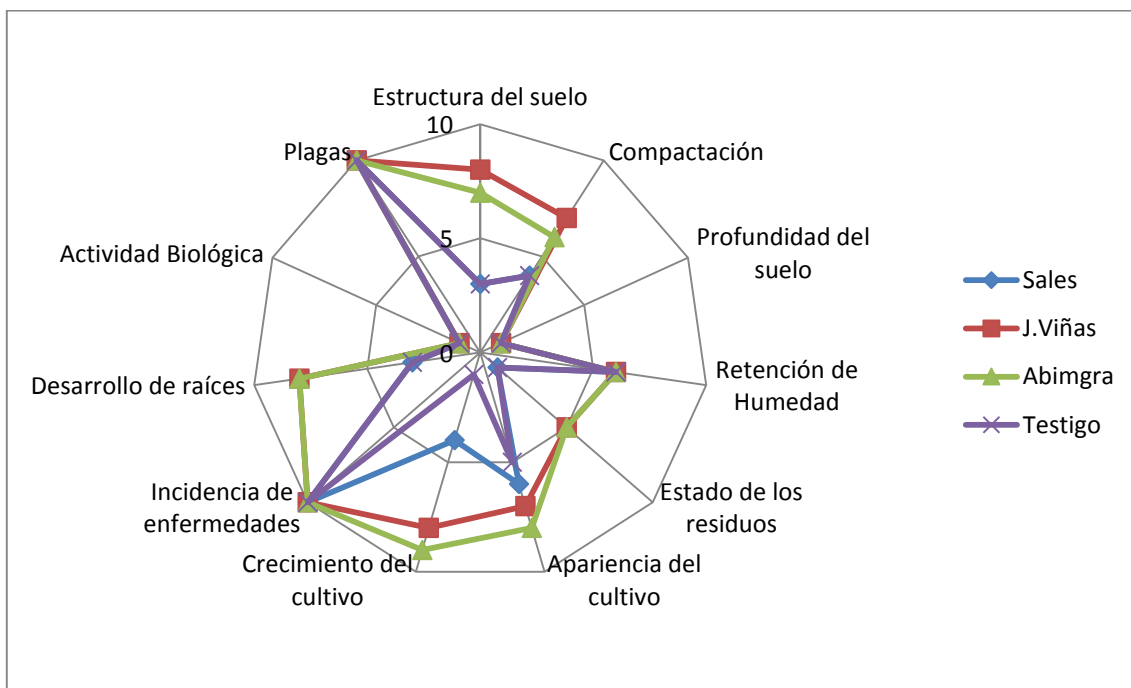


Figura 23. Ameba representativa de los diferentes indicadores evaluados en chile dulce a nivel de invernadero.

En la Figura 24, se puede observar el crecimiento a los cinco meses de sembrado el cultivo.



Figura 24. Cultivo a los cinco meses de sembrado (Abingra, Juan Viñas, Sales, Testigo).

En cuanto a la incidencia de enfermedades a esta altura se observó que las plantas se vieron afectadas por enfermedades como *Leveillulla taurica*, *Alternaria*, *Botrytis*, principalmente en los tratamientos orgánicos y el testigo

absoluto, en el tratamiento de sales la incidencia fue mucho menor debido a la mejor nutrición que presenta la planta y por ende una mejor resistencia a las enfermedades.

Un mejor desarrollo radicular se observó en el tratamiento con Abimgra seguido por el orgánico de Juan Viñas, en ambos tratamientos se observó que las raíces eran profundas, blancas, bien desarrolladas, a pesar de esto las plantas no crecieron adecuadamente y su apariencia presentó un menor vigor, esto se explica porque la materia orgánica incorporada a estas alturas del ciclo del cultivo no está en capacidad de suministrar la cantidad de nutrientes necesarios para el desarrollo del mismo aun cuando las plantas tengan un excelente sistema radicular.

En la Figura 25, se puede observar el desarrollo radicular para cada uno de los cultivos a los cinco meses de sembrado.



Figura 25. Raíces a los cinco meses de sembrado (Abingra, Juan Viñas, Sales y Testigo.

En esta evaluación tampoco se encontró la presencia de lombrices e invertebrados. En cuanto a plagas se observó que la menor incidencia se presentó en el tratamiento de sales, mientras que en los tratamientos orgánicos se notó la presencia de mayor cantidad de ácaros, menor llenado de la fruta y plantas más precoces en cuanto a la maduración.

En general se observó en esta evaluación que el tratamiento con sales presentó un mayor crecimiento, mejor apariencia del cultivo, menor incidencia de plagas y enfermedades a pesar de tener un sistema radicular más pobre según la evaluación realizada.

La segunda evaluación (Figura 26), de la sostenibilidad se realizó a los cinco meses después de realizado el trasplante del cultivo, los resultados de las evaluaciones de sostenibilidad muestran que los tratamientos orgánicos (Juan Viñas y Abimgra) presentaron una mejor estructura del suelo, superando nuevamente el umbral establecido de cinco, se observó que el suelo en ambos tratamientos era friable, granular; por su parte el tratamiento de sales químicas

se ubicó en el tercer lugar de estructura del suelo superando el umbral ecológico establecido de cinco. El tratamiento testigo cinco meses después se ubicó en último lugar sin superar el umbral establecido, manteniendo características de estructura muy similares a la primera evaluación. En cuanto a la compactación del suelo, los tratamientos orgánicos nuevamente manifestaron tener menor compactación y una mayor infiltración de agua situación que favorece el desarrollo radicular y la capacidad exploratoria de la raíz.

En relación a la profundidad del suelo, los valores de los cuatro tratamientos tienden a alcanzar un nivel de uno en la escala, nuevamente se observa un suelo expuesto, cuya capa superficial no supera los cinco cm de profundidad aun cuando se le haya incorporado materia orgánica a dos de los tratamientos. Después de cinco meses de evaluación se observó residuos de la aplicación de materia orgánica indistintamente en los tratamientos de abono de Juan Viñas y Abimgra, lo que implica que la tasa de descomposición es lenta y el aporte de microorganismos y nutrientes aún continúa en el suelo.

Con respecto al indicador retención de humedad, el comportamiento es igual para todos, lo anterior se debe a que la aplicación de materia orgánica en realidad no influyó mucho en la capacidad de retención debido a que la aplicación fue poca en comparación con la profundidad del suelo en que se desarrolla el sistema radicular, por otra parte al tener riego por goteo en forma diaria, siempre se va a tener en el suelo un contenido de humedad alto.

En cuanto a la apariencia del cultivo se observó un comportamiento totalmente diferente a la evaluación anterior pues el mejor tratamiento fue el de las sales químicas, en donde se observó un cultivo verde intenso, sin signos de deficiencia, con una floración excelente y muy buena calidad y cantidad de chiles. En este sentido, el segundo mejor tratamiento en apariencia fue el orgánico de Abimgra, en el cual las plantas presentaron características similares a las sales pero con variantes en color y producción, aun así se presentó como un cultivo fuerte y con buena floración. En este punto se observó que el abono orgánico de Juan Viñas produjo plantas más débiles, con deficiencias nutricionales, menor floración y menor producción, este tratamiento se mantuvo en el umbral ecológico, no obstante sus características productivas no son deseables para un productor a nivel comercial.

Con respecto al crecimiento, el tratamiento con sales presentó plantas más densas, uniformes, con tallos y ramas gruesas, debido principalmente a que son plantas a las cuales se les aplicó un plan de manejo con sales formuladas semanalmente (Cuadro 4), en donde se les suministró todos los elementos necesarios para el desarrollo del cultivo de acuerdo con una curva de absorción de nutrientes, en segundo lugar se ubicaron los tratamientos orgánicos por encima del umbral ecológico, aquí se debe rescatar que aunque la apariencia en el caso de la Abimgra haya sido buena, las plantas dejaron de crecer debido posiblemente a que los aportes de nutrientes por parte de los abonos orgánicos no fue suficiente para suplir las necesidades básicas de crecimiento y producción de las plantas, en este punto se notó la diferencia en tamaño de los chiles y en su peso, situación que será analizada en el capítulo de producción.

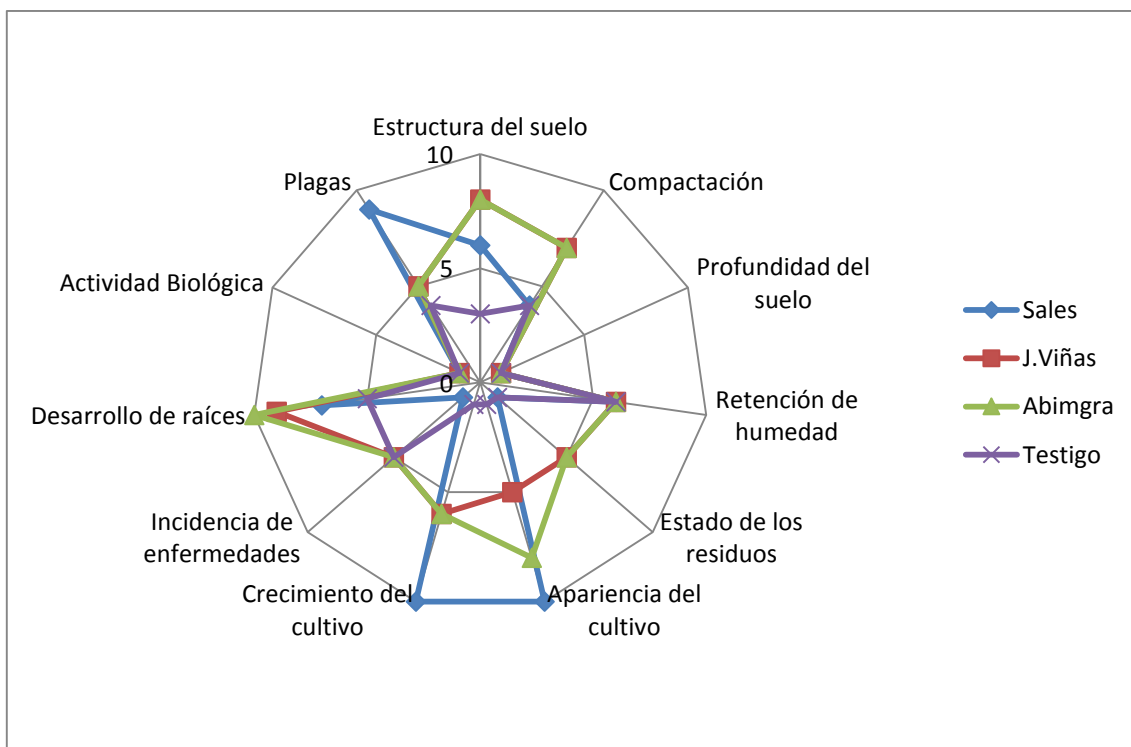


Figura 26. Segunda evaluación de los diferentes indicadores evaluados en chile dulce a nivel de invernadero.

La Figura 27, muestra el cultivo a los once meses de sembrado para los diferentes tratamientos.

La incidencia de enfermedades mostró que los tratamientos orgánicos fueron muy susceptibles a las distintas enfermedades, alcanzando niveles por debajo del umbral, caso contrario el tratamiento de sales el cual se mantuvo por encima del umbral con menor incidencia de plagas debido a la tolerancia favorecida por una nutrición balanceada.



Figura 27. Cultivo a los once meses de sembrado (Abimgra, Juan Viñas, Sales, Testigo).

En cuanto al desarrollo radicular, se debe mencionar que Abimgra cayó hasta llegar al umbral ecológico, a esta altura se encontraron raíces pobres y oxidadas, lo que implica que este tipo de abono por su aporte en fósforo y gallinaza es ideal para los inicios del cultivo, para favorecer de esta forma un sistema radicular fuerte que cumpla con las necesidades nutricionales del mismo. Para esta evaluación tampoco se encontró ningún tipo de detritívoro en el suelo. En la Figura 28, se puede observar las raíces de los diferentes tratamientos en la última evaluación.



Figura 28. Raíces a los cinco meses de sembrado (Abimgra, Juan Viñas, Sales y Testigo).

Por último y con respecto a plagas, se notó la presencia de *Anthonomus eugenii* en toda la plantación, a pesar de esto, la menor incidencia de la plaga se manifestó en el tratamiento de sales, aún cuando los tratamientos cercanos estaban con poblaciones muy altas del insecto.

La Figura 29, representa la ameba de la tercera evaluación realizada a los once meses después del trasplante, se observa que la estructura del suelo es friable y granular nuevamente para los tratamientos con abonos orgánicos, en este caso el aporte de materia orgánica después de mucho tiempo de aplicada sigue mejorando la estructura del suelo, superando a los tratamientos de sales y el testigo, situación similar se presenta con el indicador de compactación del suelo en donde el tratamiento Abimgra presenta una buena infiltración, superando al tratamiento de Juan Viñas, en último lugar con una mayor compactación y menor infiltración se encuentran los tratamientos sales y testigo, manteniendo un comportamiento similar a la última evaluación realizada.

A pesar del aporte de materia orgánica, once meses después, la profundidad del suelo sigue siendo la misma, no supera los cinco centímetros de profundidad, esto implica que para mejorar este indicador es necesario el aporte de mucha cantidad de materia orgánica y mucho tiempo de mineralización de la misma.

A esta altura se sigue observando residuos de las aplicaciones de orgánicos realizadas, lo que implica una lenta degradación de la materia orgánica a través del tiempo bajo las condiciones evaluadas, se debe señalar que en todas las evaluaciones los residuos nunca estuvieron por debajo del umbral ecológico, lo que implica una estabilidad del sistema a través del tiempo.

Con respecto al indicador retención de humedad, se puede observar que es igual para todos, por las mismas razones expuestas en las dos evaluaciones anteriores.

Para el caso de la apariencia del cultivo, nuevamente las sales químicas superan a los otros tratamientos, pero se debe mencionar que para el caso de los abonos orgánicos, la evaluación los colocó por debajo del umbral ecológico, esto significa que el cultivo se torno clorótico y con manifestaciones severas de deficiencias nutricionales, esto implica la necesidad de implementar un manejo integrado que combine las bondades de la materia orgánica con los efectos nutricionales de impacto de las sales, para lograr un balance adecuado entre sostenibilidad y producción. En cuanto al crecimiento del cultivo, el tratamiento con sales mostró plantas fuertes y uniformes y once meses después la planta siguió creciendo con buen cuaje de flores y cosecha, contrario sucedió con los

abonos orgánicos, los cuales se ubicaron por debajo del umbral ecológico, mostrando plantas cloróticas, con pocas flores y poca producción.

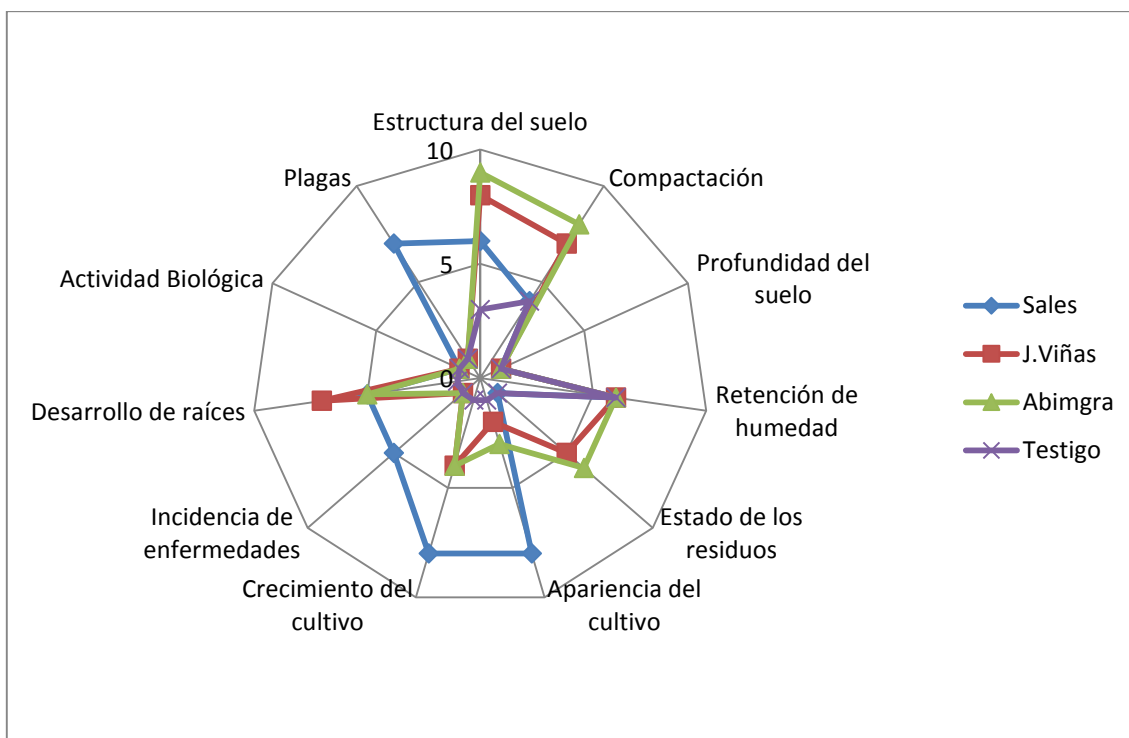


Figura 29. Tercera evaluación de los diferentes indicadores evaluados en chile dulce a nivel de invernadero.

En la Figura 30, se observan los promedios ponderados de todos los indicadores de sostenibilidad, en el se observa que agroecológicamente los tratamientos orgánico Juan Viñas y Abimgra se comportan como faros ecológicos en cuanto a sostenibilidad, no obstante están ubicados muy cerca del umbral lo que implica que se debe realizar muchas mejoras ecológicas para que estos tratamientos en la condición evaluada alcancen puntuaciones más altas en la escala ecológica a nivel de invernadero, los otros dos tratamientos (sales y testigo) se encuentran ubicados por debajo del umbral ecológico establecido, lo que implica que a un mediano o corto plazo no serán tan eficientes en producción y se notarán serios problemas de plagas y enfermedades.

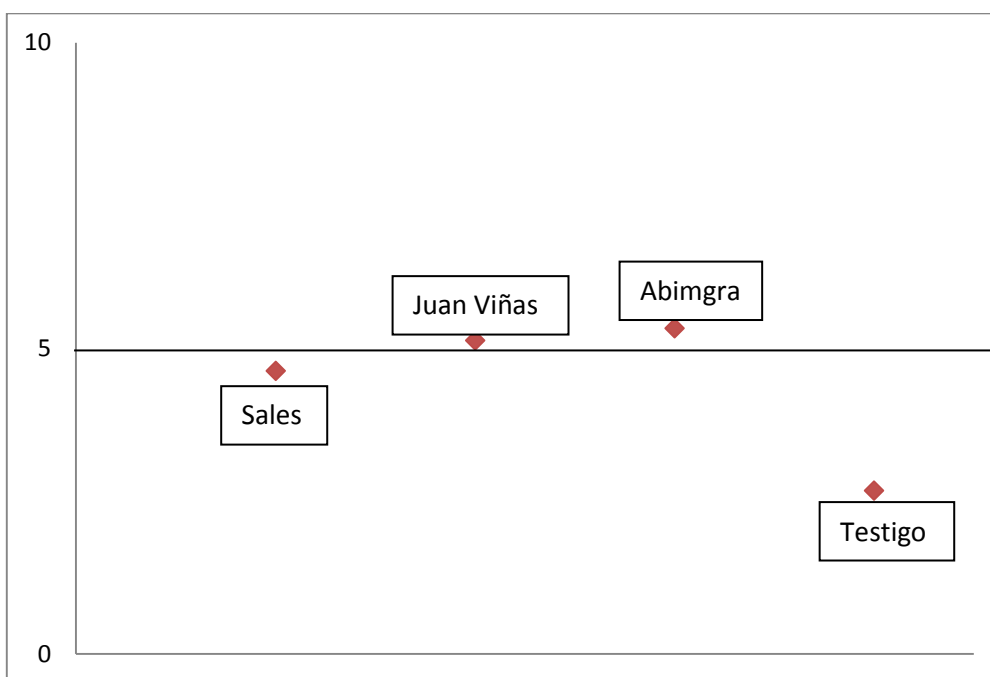


Figura 30. Comparación de los promedios de tratamiento, destacando tratamientos faros.

4.4 Determinación del efecto de los tratamientos sobre la producción de chile dulce.

4.4.1 Cantidad de frutos por tratamiento.

El análisis de varianza para la variable cantidad de frutos mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) (Cuadro 8), para el factor de variación que corresponde al tratamiento, en este sentido se explica que hay diferencias significativas entre los cuatro tratamientos evaluados Abimgra, orgánico de Juan Viñas, testigo absoluto y el tratamiento a base de sales. La prueba de diferenciación de medias utilizadas fue la de Duncan, esta indica que el mejor tratamiento en cuanto a cantidad de frutos producidos por planta fue el tratamiento de sales alcanzando en promedio 1,36 frutos por cada cosecha realizada por planta y difiere estadísticamente de los otros tratamientos evaluados. Por su parte el tratamiento de orgánico de Juan Viñas (0,82) se ubicó en el segundo lugar en cantidad de frutos producidos, seguido inmediatamente por la gallinaza mejorada Abimgra (0,81 frutos), por último se ubica el tratamiento testigo con un promedio de 0,45 frutos por día de cosecha, es importante señalar que el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre estos tres últimos tratamientos, no obstante las tendencias entre ellos muestran una clara

diferencia del comportamiento de la producción, en donde el testigo absoluto al no tener ningún insumo o fertilizante al suelo ve disminuida su producción en un 50 % con respecto a los tratamientos con enmiendas orgánicas y más del 100 % con respecto al tratamiento químico con fuentes puras (sales); Figura 31.

Cuadro 8. Análisis de variancia para la variable cantidad.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor	Error
Modelo	261,56	99	2,64	6,26	<0,0001	
Bloque	3,64	2	1,82	1,35	0,3274	(Bloque x Trat)
Tratam	28,83	3	9,61	7,14	0,0210	(Bloque*Trat)
Bloque x Trat	8,08	6	1,35	3,19	0,0053	
Fecha	137,35	22	6,24	14,80	<0,0001	
Fecha x Trat	83,65	66	1,27	3,00	<0,0001	
Error	74,24	176	0,42			
Total	335,80	275				

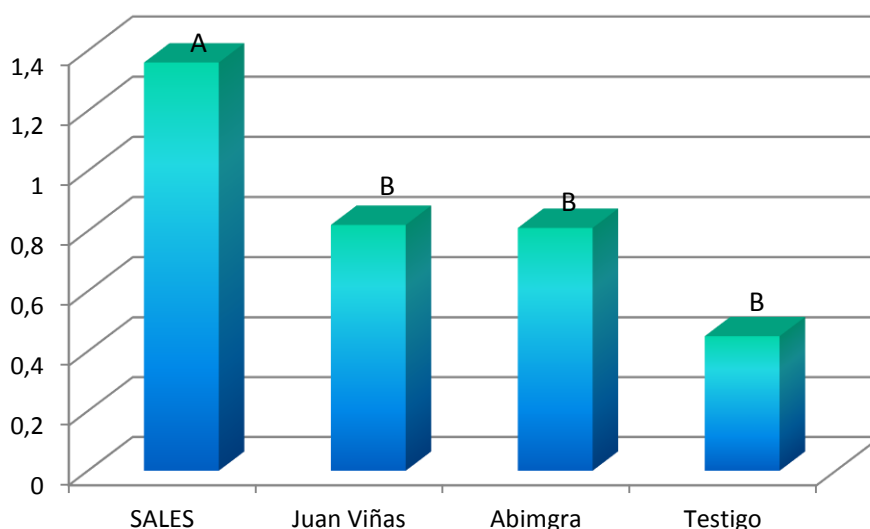


Figura 31. Cantidad promedio de frutos producidos por tratamiento, por planta y por día de cosecha.

4.4.2 Peso de frutos cosechados por cada tratamiento

El análisis de variancia mostró para la variable peso de frutos, que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) para el efecto del tratamiento (Cuadro 9), una vez más se cuantifica que de los cuatro tratamientos evaluados el tratamiento con sales puras es el que induce a un mayor peso en la fruta, seguido por los tratamientos orgánicos (Juan Viñas, Abimgra) y por último el tratamiento testigo. La prueba de diferenciación de medias mostró que el tratamiento con sales presenta diferencias significativas con respecto a los otros tratamientos y es el que produce mayor peso promedio en la fruta (152,83 gr) , esto debido al aporte de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo,

potasio, calcio, magnesio y elementos menores, los cuales fueron suministrados semanalmente de acuerdo a la curva de absorción del chile dulce, en este sentido las fuentes puras cumplen con el objetivo de mantener un planta bien nutrida y con una producción de calidad y sostenible en el tiempo, no obstante es necesario evaluar los efectos colaterales de las sales a nivel de suelo en cuanto a diversidad y estabilidad del sistema a través del tiempo.

El tratamiento orgánico de Juan Viñas es el segundo en cuanto a peso de la fruta (73,93 gr), seguido muy de cerca por la gallinaza mejorada Abimgra (73,04 gr), no obstante el análisis no muestra diferencias significativas entre estos tratamientos. Por último se encuentra el tratamiento testigo (43,03 gr) el cual no tuvo ningún suministro de fertilizantes en ninguna etapa del cultivo, y cubrió sus necesidades de nutrición gracias al aporte de nutrientes del suelo per se (Figura 32).

Los resultados muestran que las fuentes puras o sales son muy importantes pues suplen las necesidades básicas de la planta para crecer, defenderse y reproducirse. Se observa que con una nutrición balanceada la planta logra crecer y producir adecuadamente aún cuando el suelo presente problemas de fertilidad como el caso de los ultisoles en el cual se realizó este ensayo. Por otra parte, los tratamientos orgánicos muestran que son muy importantes pues a pesar de que no se les complementó con fertilizantes químicos, mejoraron considerablemente la producción y la sanidad de la planta, pues lograron un buen enraizamiento de la plántula, con esto mejoró la capacidad de exploratoria de la raíz, obteniendo mayor cantidad de recursos de los pocos disponibles en un suelo de tipo ultisol.

Cuadro 9. Análisis de variancia para la variable peso

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor	Error
Modelo	2605554,0	99	26318,73	6,97	<0,0001	
Bloque	15639,17	2	7819,58	0,95	0,4372	(Bloque x Trat)
Tratam	457233,97	3	152411,32	18,57	0,0019	(Bloque x Trat)
Bloque x Trat	49249,99	6	8208,33	2,17	0,0476	
Fecha	1164778,63	22	53944,48	14,02	<0,0001	
Fecha x Trat	918652,23	66	13918,97	3,69	<0,0001	
Error	664500,26	176	3775,57			
Total	3270054,25	275				

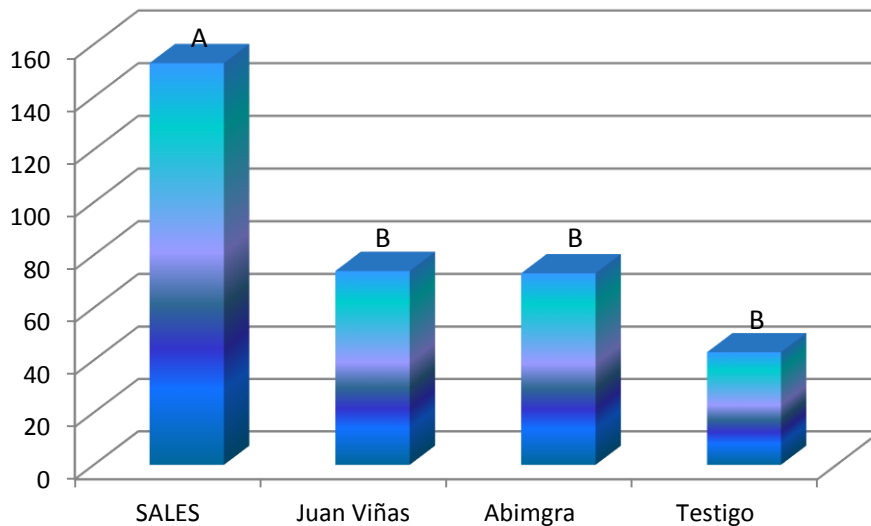


Figura 32. Peso promedio en gramos de cada fruto producido por cada tratamiento por planta y por día de cosecha.

Con respecto a la curva de producción en la Figura 33, se nota claramente que el tratamiento con fuentes puras fue el que mejor se comportó a través del tiempo, esto debido a que semanalmente se le proporcionaba a la planta los nutrientes necesarios de acuerdo con la curva de absorción a razón de tres veces por semana, durante las evaluaciones se notó que después de 3 semanas, este tratamiento presentaba un mayor crecimiento de la planta, así como un color mucho más verde, mejor floración y por ende mejor cosecha, situación que fue corroborada por el análisis estadístico anteriormente analizado.

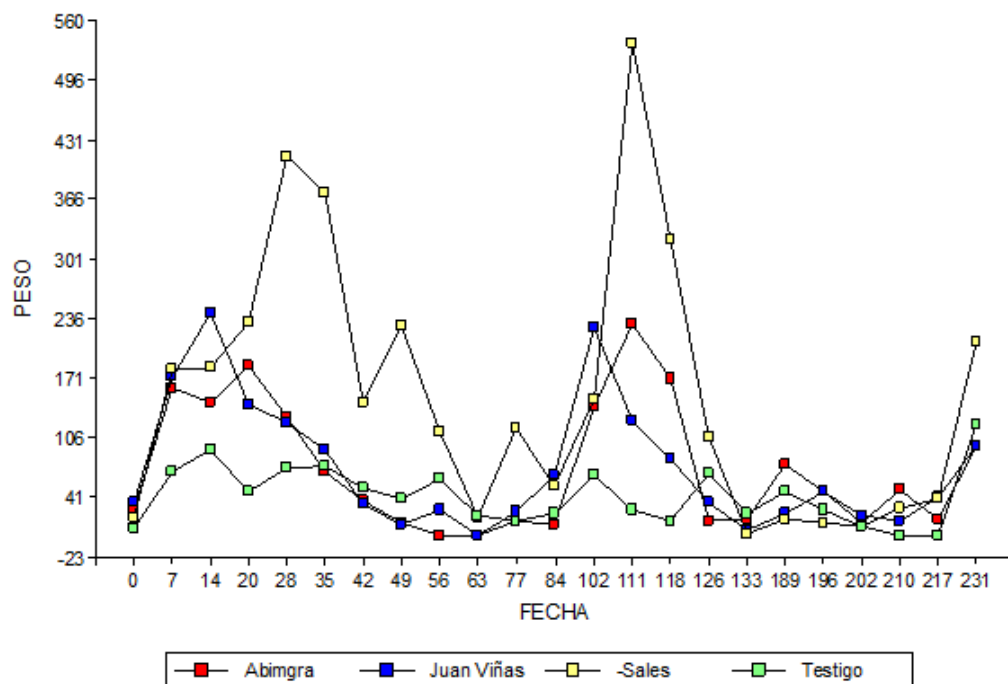


Figura 33. Curva de producción para los tratamientos.

Se observó también que la planta toleró mejor la presencia del mildew veloso (*Leveillula taurica*) y de plagas como araña roja (*Tetranychus sp*) y el picudo del chile (*Anthonomus eugenii*). Se observa en la curva que la producción es cíclica independientemente del tratamiento, disminuye cuando los chiles están engrosando y aumenta una vez que estos se cosechan, debido a que la planta disminuye la cantidad de recursos que gasta en reproducción y los invierte en mantenimiento, crecimiento y floración y nuevamente el ciclo se completa; a pesar de esto se nota claramente que la curva de las sales sobresale sobre los demás tratamientos pues son plantas más nutridas por ende más productivas. Los tratamientos orgánicos Juan viñas y Abimgra son los segundos en la curva de producción, esto debido a que la materia orgánica suministrada le aporta al suelo una cantidad de nutrientes que le ayudan a la planta a completar su ciclo de vida con menos desventaja, además estos tratamientos presentan una mayor cantidad de microorganismos que ayudan a la mineralización de la materia orgánica, a su vez la materia orgánica mejora la retención de humedad del suelo y la estructura del mismo y optimiza la disponibilidad de agua y nutrientes. En el tratamiento con Abimgra se notó, durante las primeras tres semanas, que la planta enraizó mucho mejor que los demás tratamientos esto debido a que la materia orgánica favorece el desarrollo radicular al actuar

directamente sobre la estructura del suelo, además por la presencia de fósforo y su impacto en la producción de raíces.

V. Conclusiones y Recomendaciones

- Existe un efecto de la aplicación de la materia orgánica sobre la disponibilidad de nutrientes en el cultivo de chile a nivel de invernadero.
- Las aplicaciones de Abimgra mejoraron el pH, la acidez del suelo y la concentración de Fe, aumentaron la disponibilidad de P, Ca, K en el suelo, y aumentaron la presencia de N, P y K foliar en la planta.
- Las aplicaciones del abono orgánico de Juan Viñas, mejoraron el pH, la acidez del suelo, aumentaron la disponibilidad de P, Ca, K en el suelo, y aumentó la presencia de P foliar en el cultivo.
- Las aplicaciones de sales fertilizantes, aumentaron el pH del suelo, la acidez del suelo, y las concentraciones de Fe en el suelo, además aumentó la presencia de Ca, Mg y Fe foliar en la planta.
- Se concluye que existió un incremento de microorganismos como *Trichoderma* y actinomicetos, aportados por los abonos orgánicos de Juan Viñas y Abimgra.
- En cuanto a los nematodos, ningún tratamiento ejerció control sobre los mismos en el área de experimento.
- Los tratamientos aplicados con abono orgánico de Juan Viñas y con Abimgra fueron los que generaron mayor cantidad de nematodos de vida libre, llevando el suelo a condiciones agroecológicas parecidas a las de un bosque en equilibrio.
- El tratamiento que menos diversidad de nematodos produjo fue el aplicado con sales fertilizantes.
- Los tratamientos orgánicos de Juan Viñas y Abimgra mejoraron el desarrollo radicular en los estados iniciales del cultivo.
- Después de los cinco meses de trasplante, los tratamientos orgánicos no suministran por si solos la cantidad de nutrientes necesarios para suplir las necesidades del cultivo.
- El tratamiento de sales mejora la apariencia del cultivo en tamaño y color, pero agroecológicamente es un tratamiento desbalanceado con respecto a los demás indicadores de sostenibilidad evaluados.
- Los tratamientos Abimgra y orgánico de Juan Viñas se comportan como faros ecológicos ya que presentan un mejor balance de los indicadores con respecto al testigo absoluto y las sales químicas.

- El tratamiento de sales por su alta carga de nutrientes químicos es el que produce mayor cantidad de frutos, aunque la sostenibilidad de este tratamiento está comprometido a futuro por los efectos adversos encontrados a nivel de suelo.
- Los tratamientos orgánicos son los segundos en producción y sanidad de la planta, superando por mucho al testigo absoluto.
- Se debe de continuar investigando con la aplicación de abonos orgánicos, sobre todo en aumentar las dosis y frecuencias.
- Se debe de investigar en la aplicación de abonos orgánicos al inicio de la siembra y posteriormente reforzarlo con la aplicación de sales.
- Es necesario la investigación con abonos orgánicos en otros cultivos para ver si los comportamientos se asemejan a la investigación llevada a cabo.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

Allison, F.E. 1973. Developments in soil science 3; Soil Organic matter and its role in crop production. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 437 p.

Altieri, M.A. 1995. Agroecology: The science of sustainable agriculture. Westview rocess.

Altieri, M.A. 1999. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo, Uruguay. Nordan-Comunidad. 338p.

Andréu, C.M., Cupulls, R.S., Mayea, S.S. 1992. Relaciones antagónicas sobre el crecimiento micelial de *Alternaria solani* Soraver, por *Trichoderma* spp. y *Verticillium* spp. Centro Agrícola, 19(2-3):114-116

Andrews, K.L Y Quezada, J.R. 1989. Manejo integrado de plagas y enfermedades. Extracto del Libro Manejo Integrado de plagas insectiles.

Augusto, C. (1998). *Agricultura Sostenible*. Consultado 20 de marzo, 2012, Documento disponible en <http://www.controlbiologico.com/noticias/agricultura-sostenible-cologica.htm.pdf>

Benzing, A. 2001. Agricultura Orgánica. Fundamentos para la región andina. Neckar– Verlag, Villingen–Schwenningen. 682p.

Biamonte, P.; Escoto, A.; Jiménez, R.; Sterling, F.; Subirós, F. 1984. Olericultura. San José, Costa Rica. EUNED. P 119 – 129.

Bolaños, A. 1998. Introducción a la olericultura. 1er edición. San José, Costa Rica. EUNED. P 93 – 116.

CATIE. 1995. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de chile dulce. Proyecto de manejo integrado de plagas. Serie Técnica, informe técnico N° 201. Turrialba, Costa Rica.

Doran, JW; Coleman, DC; Bezdicek, DF; Stewart, BA. 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, United States of America. Soil Science Society of America, Inc. 244p.

Fernández, C.E ; Muschler, R. 1999 Aspectos de sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América Central, En: Desafíos de la caficultora en Centroamérica. B, Bertrand (ed). IICA-PROMECAFE.-CIRAD, San José, Costa Rica.

Gliessman, S.R. 1998 Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture. Ann Arbor Press, Michigan.

Gliessman, SR. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 359p.

Gómez, A.A. *et al.* 1996. Measuring sustainability of agricultural systems at the farma level. *In*: Methods for assessing soil quality. SSSA Special Pub. 49, Madison Wisconsin.

Julca, A; Meneses, L; Blas, R; Bello, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú.

Kass, D.C.L. 1996. Fertilidad de suelos. San José, Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia. 233 p.

Labrador Moreno, J; Altieri, M.A. 2001. Agroecología y desarrollo: aproximación a los fundamentos agroecológicos para la gestión sustentable de agroecosistemas mediterráneos. Universidad de Extremadura. Cáceres–Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 566 p.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. San José, Costa Rica. P 337 – 346.

Masera *et al.* 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS. Mundiprensa, GIRA, UNAM, Mexico D.F

Meléndez, G. 2003. Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. Centro de Investigaciones agronómicas de Universidad de Costa Rica. Taller de Abonos orgánicos. CATIE/GTZ/UCR/CANIAN. Disponible en <http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/version%20electronica%20memoria.pdf> . Consultado el 22/03/2012 5:17 pm.

Mendizaball, M. 1976. Estructuras de invernadero de bajo coste, especial para hortalizas y uvas de mesa en España. *In*: VI Coloquio Internacional de plásticos en la agricultura, Buenos Aires, Argentina. Capítulo Manejo de Aguas. p. 275-283.

Morera J.A. (2000). Agricultura, Recursos Naturales, Medio Ambiente y Desarrollo sostenible en Costa Rica [Online], 11(1), 179-185. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_meso/v11n01_179.pdf [20/03/12]

Murgueitio, E. (1992). Propuestas Para Un Programa Nacional de Ciencia y Tecnologías Agropecuarias. M. Henao, Nuevas Tecnologías Para Recrear el Agro (pp. 11-34). Colombia: Tercer mundo editores.

Nathan, R. 1994. La fertilización combinada con el riego. Asociación Israelí de Cooperación Internacional. Israel. 79 p.

Núñez, J. 2000. Fundamentos de Edafología. San José, Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia. 185 p.

Pérez, J. A.; Peña, A.; Molina, F. 1998. Influencia de la estructura en el control ambiental tipología y materiales. Curso de control ambiental en invernadero. Almería, España.

Plan Nacional de Desarrollo de Costa Rica 2011-2014. 2010 “María Tereza Obregón Zamora”. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. 256 p.

Robledo, F.; Vicent, L. M. 1981. Aplicaciones de los plásticos en la agricultura. Madrid, España. Ediciones Mundi Prensa. 553 p.

Romero, F. 2004. Manejo integrado de plagas: Las bases, los conceptos, su comercialización. Universidad Autónoma de Chapingo. Colegio de Postgraduados. Instituto de de Fitosanidad, Montecillos, Chapingo. Tezcoco. México. <http://www.sharebooks.ca/eBooks/ManejoPlagas.pdf> . 06/05/09 4:51 p.m.

Samadiego R.D. 2006. Efecto de la producción orgánica y convencional de chile dulce (*Capcicum annuum*), bajo invernadero sobre el componente planta – suelo en el cantón de Alfaro Ruiz, Costa Rica. Tesis de grado de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica

Sánchez, G. A. 1970. El pimiento, economía – producción – comercialización. Zaragoza, España. Editorial Acribio.

Silva, A (s.f). La materia orgánica del suelo. Disponible en <http://bibliofagro.pbworks.com/f/materia%2Borganica%2Bdel%2Bsuelo.pdf>. Consultado 22/03/2012 4:57 pm.

Thompson, L.M; Troeh, F.R. 1988. Los suelos y su fertilidad. Rever S. A. Barcelona, España, pp. 135-169.

T. P. AGRO S.A. 2000. Tecnología y plásticos para la agricultura. Cultivos protegidos y controlados. CD.

Windham, M.T; Elod, Y; Baker, R. 1986. A mechanism for increased plant growth induced by *Trichoderma* spp. *Phytopathology*. 76:518-521.

Villalobos, M.; Monge, L. A.; Fallas, R. 2002. Informe final del proyecto "Producción de chile en invernadero con tres agotamientos de humedad y tres coberturas diferentes". I.T.C.R, Cartago, Costa Rica. 50 p.