

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE QUÍMICA

**PROGRAMA DE POSGRADO EN ALIMENTOS DEL CENTRO DE
LA REPÚBLICA (PROPAC)**

MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**Efecto del manejo orgánico sobre la producción, la
calidad nutrimental y nutracéutica del chile serrano
(*Capsicum annuum* L.).**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el de:
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Presenta:

Ing. Francisco Daniel Miranda Molina

Dirigido por:

Dr. Juan Ramiro Pacheco Aguilar

C.U. Santiago de Querétaro, Querétaro, Noviembre de 2014.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química

PROGRAMA DE POSGRADO DEL CENTRO DE LA REPÚBLICA (PROPAC)
MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**Efecto del manejo orgánico sobre la producción, la calidad nutrimental
y nutracéutica del chile serrano (*Capsicum annum* L.).**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Presenta:

Ing. Francisco Daniel Miranda Molina

Dirigido por:

Dr. Juan Ramiro Pacheco Aguilar

SINODALES


Dr. Juan Ramiro Pacheco Aguilar
Presidente


Dr. Ramón Alvar Martínez Peniche
Secretario


Dra. Sandra Olimpia Mendoza Díaz
Vocal


Dra. Sofía María Arvizu Medrano
Suplente


Dr. Miguel Ángel Ramos López
Suplente



Firma



Firma


Firma


Firma


Firma


M.S.P Sergio Pacheco Hernández
Directo de la Facultad de Química


Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro. México.
Diciembre de 2014

Resumen

El cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) es de gran importancia en México debido a que es una de las hortalizas más importantes en cuanto a producción a nivel nacional además de que México es el segundo productor a nivel mundial. Esto genera un gran impacto ambiental por las formas de producción actuales de este cultivo, por ello el manejo orgánico, y en particular la fertilización orgánica, surge como una opción viable ya que resulta altamente sustentable, agregando valor a los productos obtenidos bajo este método. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el efecto de la fertilización orgánica y el uso de biofertilizantes (*Bacillus* sp.) sobre la producción y calidad en frutos de chile serrano cultivar 'Madero F-1'. Se plantearon tres tratamientos de fertilización: el orgánico en el cual se utilizó humus de lombriz en combinación con fosfato tricálcico y los biofertilizantes, el convencional en el que se utilizó urea y superfosfato triple, el orgánico-convencional en el que se utilizó urea y superfosfato triple más los biofertilizantes. Los tratamientos fueron aplicados a la misma dosis la cual fue 180-90-00 y la concentración de los biofertilizantes usada fue de 1×10^7 ufc mL⁻¹, además de estos tratamientos se incluyó un testigo en el cual no se aplicó ningún tipo de fertilizante. La calidad comercial de los frutos se evaluó de acuerdo a la NMX-FF-025-SCFI-2007, los resultados muestran que la calidad comercial no se vio beneficiada por la fertilización orgánica bajo condiciones a campo abierto. Sin embargo en condiciones de invernadero se logró aumentar el peso (11.5%), la longitud (5.4%) y el diámetro (4.5 %) de los frutos, encontrándose la mayoría de ellos en primera calidad, lo cual influyó en el rendimiento del cultivo orgánico siendo mayor en un 41.3 % con respecto al cultivo convencional. Por su parte, el contenido nutrimental de los frutos bajo condiciones de invernadero se vio incrementado en lo referente a macro y micronutrientes [Cu(67.1%), Fe(56.5%), Mg(8.4%) y P(26.8)]. En el caso del contenido de vitamina C no existieron diferencias significativas entre los tratamientos. Para las condiciones de campo se logró incrementar el contenido de proteínas (20.2%), de vitamina A (39.6%), fenoles totales (11.89%) y capacidad antioxidante (7.5%), aunque el contenido de capsaicina fue mayor en el tratamiento orgánico (55.7%). Estos resultados muestran que la fertilización orgánica y el uso de biofertilizantes confieren a los frutos un mayor valor agregado, por lo que es una alternativa de producción debido a las diferentes características que adquieren los frutos obtenidos bajo este sistema.

Palabras clave: fertilización, rendimiento, biofertilizantes, agricultura, sustentable.

Summary

The cultivation of pepper (*Capsicum annuum* L.) is of great importance in Mexico because it is one of the most important in terms of national vegetable production. In addition, Mexico is the second largest producer in the world, generating a large environmental impact on the current forms of production of this crop, so the organic management, in particular organic fertilization, emerges as a viable option because it is highly sustainable, adding value to the products obtained under this method. The objectives of this study were to evaluate the effect of organic fertilization and the use of biofertilizers (*Bacillus* sp.) on production and fruit quality in serrano pepper cultivation 'Madero F- 1', for which three fertilization treatments were raised; where the organic humus was used in combination with tricalcium phosphate and biofertilizer, conventional in which urea and superphosphate was used, the conventional organic in which was urea, superphosphate, and more bio-fertilizer was used. All were applied to the same dose of 180-90-00 and bio-fertilizers concentration used was 1×10^7 cfu mL⁻¹. In addition to these treatments, there is a witness in which no fertilizer was applied or included. Commercial fruit quality was assessed according to the NMX -FF- 025- SCFI- 2007, the results show that the commercial quality not benefited from organic fertilization under field conditions open, yet under greenhouse conditions achieved weight increase (11.5 %) , length (5.4 %) and diameter (4.5 %) of the fruit. The majority of them in first class influenced the performance of organic farming which was higher by 41.3 % compared to conventional farming. Meanwhile, chemical composition of the fruit under greenhouse conditions was increased with regard to macro and micronutrients [Cu (67.1 %) , Fe (56.5 %) , Mg (8.4 %) and P (8.26 %)] . In the case of vitamin C, there were no significant differences between treatments. The field conditions increased the protein content (20.2 %) , vitamin A (39.6%) , total phenolic (11.89 %) and antioxidant (7.5%) capacity. Although the capsaicin content was higher in the organic treatment (55.7 %), these results show that organic fertilization and the use of bio-fertilizers confer fruits greater added value. It is an alternative production due to the different characteristics they acquire the fruits under this system.

Key words: fertilization, performance, bio-fertilizers, agriculture, sustainable.

DEDICATORIAS

A mi esposa Diana y a mi pequeñita Daniela, por estar siempre ahí, por soportar todas las alegrías y los disgustos, por motivarme siempre a salir adelante, por ser el motor de mi vida y acompañarme en todo momento a lo largo de este camino las amo.

A mis padres Francisco y Natalia por apoyarme en todo momento, por brindarme siempre su amor y cariño, por tener siempre un consejo en las dificultades y tomar mi mano para levantarme, por enseñarme que en la vida hay que luchar para salir adelante y apoyarme en todas las metas que me he propuesto, los amo.

A mis hermanos Ernesto, Marissa, Rayo y Moisés por siempre estar al pendiente de mí y de mi familia, por su apoyo incondicional, sus consejos, amor y cariño.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado durante la realización de este proyecto.

Al Programa de posgrado en alimentos del centro de la república (PROPAC) de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Al Dr. Juan Ramiro Pacheco Aguilar por ayudarme a crecer de manera profesional y personal, por brindarme la confianza y apoyo para realizar este trabajo, gracias.

A mis sinodales Dr. Ramón Álar Martínez Peniche, Dra. Sandra O. Mendoza Díaz, Dra. Sofía María Arvizu Medrano y Dr. Miguel Angel Ramos López o, por apoyarme en la realización de este proyecto y mi estancia en el PROPAC.

A todos mis compañeros de grupo por brindarme su amistad y apoyo gracias.

A Carmelita y Laurita por todas sus atenciones y ayuda.

Índice

Resumen	I
Summary	II
DEDICATORIAS	III
AGRADECIMIENTOS	IV
Índice	V
Índice de cuadros	VII
Índice de figuras	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISION DE LITERATURA	2
2.1. Chile Serrano (<i>Capsicum annum</i> L.)	2
2.1.2 Contenido nutrimental y nutracéutico del chile serrano	5
2.1.3 Panorama mundial y nacional del chile serrano (<i>C. annum</i>)	7
2.1.4 Variables de Calidad del fruto de chile serrano (<i>C. annum</i>)	9
2.2 Agricultura Orgánica	9
2.2.1 Ventajas de cultivos bajo condiciones orgánicas.	9
2.2.2 Abonos orgánicos	10
2.2.3 Biofertilizantes	13
3.- OBJETIVOS	18
3.1. Objetivo General	18
3.2. Objetivos específicos	18
4.- METODOLOGÍA	19
4.1. Material biológico	19
4.1.1 Chile serrano	19
4.1.2. Cepas bacterianas	19
4.2. Sitio experimental	19
4.3 Desarrollo del experimento	19
4.3.1 Preparación de la cepa bacteriana para inoculación	19
4.3.2 Inoculación de las semillas y plántulas con cepas bacterianas	20
4.3.3 Trasplante y fertilización	22
4.4 Determinaciones de la calidad del fruto	24
4.4.1 Peso, longitud y diámetro	24
4.4.2 Color	24
4.4.3 Grosor de pericarpio	25
4.4.4 Porcentaje de humedad	25
4.4.5 Acidez total titulable	26

4.4.6 pH	26
4.4.7 Sólidos solubles totales (SST)	27
4.4.8 Vida de anaquel	27
4.4.9 Determinación de macro y microelementos	27
4.4.10 Grasas	27
4.4.11 Proteínas	28
4.4.12 Vitamina A	28
4.4.13 Fenoles totales	28
4.4.14 Vitamina C	29
4.4.15 Capsaicina	30
4.4.16 Capacidad antioxidante	30
4.5. Análisis estadísticos.	31
5. RESULTADOS Y DISCUSION	32
5.1 Producción de plántula	32
5.2 Cosecha y calidad del fruto	33
5.2.1 Peso, longitud, diámetro y rendimiento	33
5.2.2 Color	37
5.2.3 Grosor, humedad y textura	38
5.2.4 Sólidos solubles totales (SST), pH y acidez titulable (AT)	39
5.2.5 Pérdida de peso e índice de color durante el almacenamiento	40
5.3.- Contenido nutrimental	42
5.3.1 Macro y microelementos	42
5.3.2 Vitamina C	45
5.4 RESULTADOS Y DISCUSIONES SEGUNDO CICLO	47
5.5 Producción de plántula	47
5.6 Cosecha y calidad del fruto	48
5.6.1 Peso, longitud y diámetro.	48
5.6.2 Color	51
5.6.3 Grosor y Humedad	52
5.6.4 SST, pH Y acidez titulable	53
5.6.5 Pérdida de peso e índice de color durante el almacenamiento	55
5.7.- Contenido nutrimental segundo ciclo	56
5.7.1 Grasas y proteínas	56
5.7.2 Determinación de vitamina C	58
5.7.3 Determinación de vitamina A	60
5.7.4 Fenoles totales	61
5.7.5 Capacidad Antioxidante	63
5.7.5.1 Método FRAP	63
5.7.5.2 Ensayo ABTS	65
5.7.6 Determinación de capsaicina	66

5.7.8 Voltamperometría	69
6.- CONCLUSIONES	74
7. LITERATURA CITADA	76

Índice de cuadros

1. Clasificación taxonómica del chile serrano (<i>C. annum</i>)	2
2. Composición nutrimental del chile serrano (<i>C. annum</i>)	6
3. Principales productores de chile verde (<i>C. annum</i>) en el mundo	8
4. Principales exportadores de chile verde (<i>C. annum</i>) en el mundo	8
5. Efectos benéficos de los biofertilizantes en algunos cultivos agrícolas	16
6. Clasificación del índice de color	25
7. Efecto de la fertilización en la producción de plántulas de chile serrano	33
8. Efecto de la fertilización en las variables agronómicas del chile serrano bajo condiciones de invernadero	36
9. Efecto de la fertilización sobre la calidad en el color	37
10. Efecto de la fertilización en las variables de grosor, humedad y textura	38
11. Efecto de la fertilización sobre las variables de pH, SST y acidez	40
12. Efecto de la fertilización en el contenido de macro y micro elementos	44
13. Efecto de la fertilización en el contenido de vitamina C	46
14. Efecto de la fertilización en la producción de plántulas de chile serrano	47
15. Efecto de la fertilización sobre las variables agronómicas del chile serrano bajo condiciones de campo	50
16. Efecto de la fertilización sobre la calidad en el color	52
17. Efecto de la fertilización en las variables de grosor y humedad	53
18. Efecto de la fertilización sobre las variables de pH, SST y acidez	54
19. Efecto de la fertilización sobre las variables de lípidos y proteínas	57
20. Efecto de la fertilización en el contenido de vitamina C	60
21. Efecto de la fertilización en el contenido de vitamina A	61
22. Efecto de la fertilización en el contenido de fenoles totales	62
23. Capacidad antioxidante determinada por el ensayo FRAP	64
24. Capacidad antioxidante determinada por el ensayo ABTS	65
25. Efecto de la fertilización en el contenido de capsaicina	73

Índice de figuras

1. Planta de chile serrano (<i>C. annuum</i>)	5
2. Presencia de nódulos de <i>Rhizobium</i> (BPCV) en sistema radicular de frijol	13
3. Efecto de las BPCV sobre la producción de plantas de maíz	15
5. Diagrama del procedimiento seguido para la obtención de plántulas	21
F7. Plántulas de chile serrano	32
8. Frutos obtenidos del tratamiento T1 (orgánico)	34
9. Frutos obtenidos del tratamiento T2 (convencional)	35
10. Frutos obtenidos del tratamiento T3 (orgánico-convencional)	35
11. Pérdida de peso (%) en el tiempo (Días).	41
12. Cambios en el índice de color (IC)	42
13. Cromatograma tratamiento T1, para la cuantificación de vitamina C	45
14. Cromatograma tratamiento T2, para la cuantificación de vitamina C	45
15. Cromatograma tratamiento T3, para la cuantificación de vitamina C	46
16 . Pérdida de peso (%) en el tiempo (días)	55
17. Cambios en el índice de color (IC)	56
18. Cromatograma tratamiento T2 en coelución con el estándar de vitamina C	58
19. Cromatograma tratamiento T1, para la cuantificación de vitamina C	59
20. Cromatograma tratamiento T3, para la cuantificación de vitamina C	59
21. Cromatograma tratamiento T4, para la cuantificación de vitamina C	59
22. Cinética de FRAP para los extractos de cada uno de los tratamientos	63
23. Cromatograma de los estándares de capsaicina y dihidrocapsaicina	67
24. Cromatograma tratamiento T1, para la cuantificación de capsaicina.	67
25. Cromatograma tratamiento T2, para la cuantificación de capsaicina.	68
26. Cromatograma tratamiento T3, para la cuantificación de capsaicina.	68
27. Cromatograma tratamiento T4, para la cuantificación de capsaicina.	69
28. Voltamperograma del estándar de capsaicina a diferentes concentraciones	70
29. Voltamperograma del extracto de capsaicina del tratamiento T1	71
30. Voltamperograma del extracto de capsaicina del tratamiento T2	71

31. Voltamperograma del extracto de capsaicina del tratamiento T3	72
32. Voltamperograma del extracto de capsaicina del tratamiento T4	72

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del sector agrícola, el cultivo de chile en el estado de Querétaro representa una opción rentable, ya que es uno de los productos agrícolas con mayor demanda debido a los diferentes tipos de alimentos que se pueden preparar con él. Para asegurar la producción de este cultivo se emplean grandes cantidades de plaguicidas y fertilizantes químicos, lo cual representa un alto costo de producción: además de que cuando no son aplicados de manera correcta constituyen un riesgo para el medio ambiente y para la salud humana, ya que muchos de ellos presentan residuabilidad al momento de que los frutos son cosechados.

Una de las alternativas de producción de chile es el empleo de biofertilizantes y abonos orgánicos, los cuales forman parte de la agricultura orgánica, con la cual se puede disminuir el uso de productos químicos y así reducir el impacto ambiental. Diferentes estudios reportan los efectos positivos de los abonos orgánicos en la producción y calidad de los frutos, Vásquez et, al., (2011) señalan que el uso de estiércol como fertilizante en un cultivo de chile jalapeño mostro un incremento del 7% en el rendimiento del cultivo, de igual manera Marín et, al., (2008) reportan que en un cultivo de pimientos dulces producidos bajo condiciones orgánicas se logró incrementar el contenido de vitamina C en un 40%. La aplicación de bacterias promotoras de crecimiento en conjunto con otros biofertilizantes promueven un buen desarrollo de la planta dentro de las diferentes etapas del cultivo, favoreciendo la biodisponibilidad de nutrientes para la planta e incluso protegiéndola contra diferentes microorganismos fitopatógenos debido a sus diferentes formas de actuar. Morales Guzmán (2013) reporta un incremento en el contenido de vitamina C y de fenoles totales en un cultivo de pimiento morrón bajo condiciones de invernadero, en el cual se inocularon cepas de *Bacillus subtilis*.

En la alimentación mexicana los frutos de chile representan una tradición cultural, son fuente de vitaminas A, C, E, capsaicina y compuestos fenólicos.

Todos ellos considerados nutraceuticos, los cuales han mostrado actividad biológica antioxidante, efecto terapéutico en el tratamiento de úlceras gástricas y artritis reumatoides. Sin embargo, el contenido de estos metabolitos depende del genotipo y de las condiciones ambientales en las cuales se desarrolle el cultivo.

Por lo anterior, en el presente proyecto se tuvo como objetivo ver el efecto que tiene el empleo de la fertilización orgánica sobre la producción y la calidad del chile serrano, así como determinar el impacto de estas medidas culturales sobre el contenido en el fruto de los siguientes compuestos nutraceuticos: capsaicina, vitaminas C y su actividad antioxidante.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Chile Serrano (*Capsicum annum* L.)

El centro de origen y/o domesticación de *C. annum* L. es México y Guatemala, esta especie pertenece al género *Capsicum*, de la familia de las solanáceas (Cuadro 1). Existen diferentes variedades cultivadas de la especie *C. annum* las cuales pertenecen a varias subespecies o variedades botánicas, todas ellas destacando por su conocido picor, dentro de las cuales se incluye al chile serrano siendo esta una de las más picantes (Pickersgill, 1971).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del Chile Serrano (*C. annum* L.)

Reino	Plantae
Sub Reino	<i>Tracheobionta</i>
Superdivisión	<i>Spermatophyta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Genero	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>C. annum</i> L.

(Pickersgill, 1971).

El chile es una planta de comportamiento anual y perenne, tiene tallos erectos, herbáceos y ramificados de color verde oscuro, el sistema de raíces llega a profundidades de 0.70 a 1.20 m, y lateralmente hasta 1.20 m, la altura promedio de la planta es de 60 cm, las hojas son planas, simples y de forma ovoide alargada, las flores son perfectas (hermafroditas), formándose en las axilas de las ramas; son de color blanco y a veces púrpura (Pickersgill, 1971)

Se presume que el chile serrano (Figura 1) es originario de las serranías del norte de Puebla e Hidalgo, en donde se sembró originalmente. Debido al amplio rango de adaptación que tiene y al constante incremento en la demanda del producto, su cultivo se ha desplazado a otras regiones en donde encontró condiciones favorables para su desarrollo, como son las costas del Golfo de México (Veracruz y Tamaulipas) y del Pacífico (Nayarit y Sinaloa). Sin embargo, es común encontrarlo en todas las regiones chileras del país: en climas tropicales al igual que en zonas templadas y semiáridas, en altitudes que varían desde el nivel del mar hasta los 2000 m.s.n.m. (Vázquez, 2010)

El chile se desarrolla bien en diferentes tipos de suelo, desde los ligeros hasta los pesados. Los óptimos son los franco-arenosos, con buena aireación, excelente drenaje y alta retención de humedad. La planta presenta mediana tolerancia a la salinidad, no obstante, es aconsejable buscar terrenos sin problemas de sal y con un mínimo de 70 centímetros de profundidad para favorecer el establecimiento del sistema radicular.

Para lograr buenos resultados en la germinación, establecimiento del cultivo y rendimiento, se debe tener una cama de siembra mullida y suelta de unos 30 centímetros de profundidad aproximadamente. Es conveniente que la superficie del terreno esté libre de terrones y piedras que pueden obstaculizar la emergencia y/o el crecimiento de las plántulas. La época de siembra del chile serrano depende de los riesgos de daños por heladas tardías o por sequías (dependiendo de la zona donde se pretende cultivar) del rendimiento y calidad de fruto óptimos y de la época en que se desea cosechar el producto.

Siembra temprana. Generalmente comprende la siembra en el mes de febrero, dado que se está por salir de la temporada fuerte de heladas, aunque el riesgo que se corre aún es alto; se puede tener una cosecha anticipada y por lo tanto se logra un mejor precio del mercado.

Siembra intermedia. Está se considera en los primeros 15 días de marzo, ya que es en este momento que las heladas fuertes han casi terminado y las probabilidades de una son demasiado bajas. Es la época preferida para la siembra, aunque no se garantiza una buena posición en el mercado al momento de la cosecha, dado que la gran mayoría de los productores realizan la siembra en estas fechas.

Siembra tardía. Se consideran los últimos 15 días de marzo y hasta el final del mes de mayo, aunque se puede retrasar aún más la fecha de siembra. Su limitante más grande es la disponibilidad de lluvia. Sin embargo se puede tener éxito si se cuenta con riego y se realiza un buen manejo del cultivo durante todo el ciclo; se puede tener una buena posición en el mercado y alcanzar buenos precios.

Los mejores meses para sembrar son abril y mayo, ya que cuando la planta es muy pequeña no se corre el riesgo de ahogamiento por exceso de humedad provocado por las lluvias, y ya que la planta se encuentra en plena etapa de crecimiento en los meses de junio y julio se puede aprovechar que ha iniciado la temporada de lluvias para ahorrar costos de riego (Vázquez, 2010).

Para la mayoría de los cultivos de chile serrano se recurre a la producción de plántulas bajo invernadero para su posterior trasplante. Las plántulas se producen en charolas bajo condiciones de invernadero o casas sombras; se utilizan preferentemente charolas de 200 cavidades, las cuales se llenan con un material estéril como sustrato. Después de llenar las charolas, se hacen los hoyos para la siembra y se depositan una a dos semillas por cavidad y se cubre con el propio material para facilitar la emergencia de las plántulas; se cubren con plástico para mantener la humedad, elevar la temperatura y acelerar la germinación.

El trasplante se realiza cuando las plántulas alcanzan una altura de 15 a 20 cm en los módulos de germinación, aproximadamente a 60 días después de la siembra, las plantas alcanzaran el tamaño apropiado para ser trasplantadas. El trasplante se realiza colocando de tres a cuatro plantas por metro en dos hileras ubicadas a ambos lados de la cintilla y a unos 25-30 cm una de otra. Los mejores rendimientos se obtienen con una población de 36 a 43 mil plantas por hectárea (Vázquez, 2010).

Existen diferentes variedades de chile serrano de acuerdo a las características deseadas de los frutos, al rendimiento, a las ventajas de manejo y a la zona donde se pretende llevar acabo el cultivo. El fruto en algunas variedades se hace curvo cuando se acerca a la madurez; el color verde de los frutos se debe a las altas cantidades de clorofila acumulada, los frutos maduros toman color rojo o amarillo debido a pigmentos (licopercisina, xantofila y caroteno), mientras que el picor se debe a la oleoresina capsaicina. (SIAP, 2013).

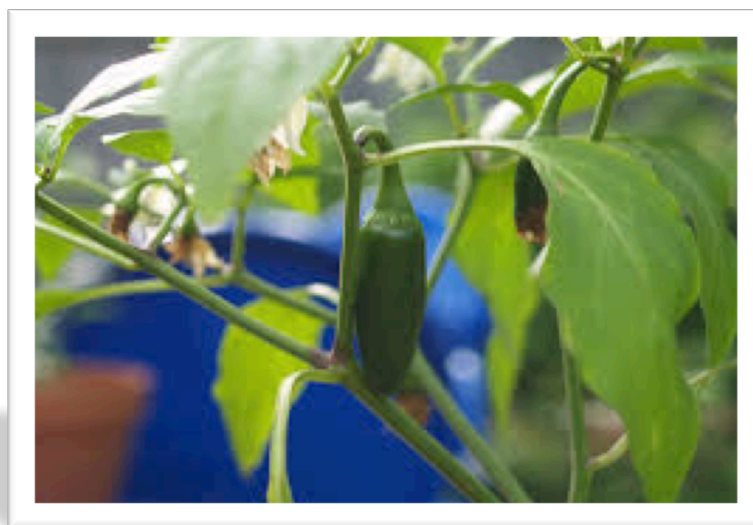


Figura 1. Planta de chile serrano (*C. annuum*)

2.1.2 Contenido nutrimental y nutracéutico del chile serrano

Los frutos de chile son reconocidos por aportar a la dieta humana vitaminas como la A, C y E, y ser fuente de compuestos fenólicos y capsaicina (Vera *et al.*, 2011) (Cuadro 2). Estos compuestos son sintetizados durante el periodo de desarrollo y maduración de los frutos.

Además de sus propiedades nutrimentales, el chile está considerado como alimento funcional o nutraceutico, y dentro de esta categoría entra cualquier alimento o ingrediente de los alimentos que ejerce una acción benéfica en la salud y en la prevención de enfermedades en el ser humano (Birujete *et al.*, 2009).

A los componentes nutraceuticos de chile se les han atribuido una actividad biológica antioxidante, efectos terapéuticos en el tratamiento de úlceras gástricas y artritis reumatoides, además de que su consumo regular reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (Monroy *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2011; Vera *et al.*, 2011). El contenido de estos metabolitos considerados como secundarios en las plantas es dependiente del genotipo, de las condiciones ambientales y de la nutrición (Marín y Céspedes, 2007).

Cuadro 2. Composición nutrimental del chile serrano (*C. annuum*)

NUTRIMENTO	CANTIDAD	NUTRIMENTO	CANTIDAD
Agua	91%	Azufre	17 mg
Carbohidratos	5.1 g	Calcio	9 mg
Proteínas	1.3 g	Cloro	37 mg
Grasas	0.3 g	Cobre	0.10 mg
Fibra	1.4 g	Fósforo	23 mg
Vitamina A	1000 UI	Hierro	0.5 mg
Vitamina B1	0.03 mg	Magnesio	11 mg
Vitamina B2	0.05 mg	Manganeso	0.26 mg
Vitamina B5	0.20 mg	Potasio	234 mg
Vitamina B12	0.45 mg	Sodio	58 mg
Vitamina C	120 mg	Yodo	0.001 mg

*Composición por 100 g de porción comestible (SIAP, 2013)

Sin embargo los cambios en la madurez de los frutos pueden llegar a afectar el contenido de fitonutrientes y pigmentos, que desempeñan un papel importante en la dieta la ingesta de antioxidantes, ya que algunos de ellos pueden llegar a degradarse durante este proceso.

El chile se está convirtiendo en un alimento cada vez más buscado por los consumidores debido a todos los beneficios que ofrece su consumo cotidiano y a las múltiples formas que existen para preparar alimentos a base de esta hortaliza (SIAP, 2013).

Cada vez más se están buscando productos con un mayor aporte a la salud del consumidor como los mencionados anteriormente, por ello diversas investigaciones enfocadas en el mejoramiento de la calidad nutrimental y nutracéutica de frutas y hortalizas, muestran que la agricultura orgánica mejora las características de algunos frutos, tal es el caso del jitomate en el cual se logró un aumento en el contenido de sólidos solubles, y en P y K (Pieper y Barrett, 2009).

En otro trabajo realizado por Reganold *et al.* (2010), se encontró que en un cultivo de fresa orgánica se registró una mayor actividad antioxidante, un mayor contenido de ácido ascórbico y fenoles en comparación con un cultivo obtenido de manera tradicional.

En plantas de chile la aplicación de biofertilizantes del género *Bacillus* logro aumentar el peso y número de frutos por planta, siendo una inoculación con diferentes microorganismos la que generó mayor productividad en el cultivo, aunque no se realizó el análisis de calidad nutrimental de los frutos (Datta *et al.*, 2011).

2.1.3 Panorama mundial y nacional del chile serrano (*C. annuum*)

Debido a la gran popularidad que tiene la comida mexicana, el chile ha comenzado a ser comercializado en gran parte del mundo, esto se debe principalmente a la gran variedad de productos en lo que se puede ofrecer este fruto como las salsas y las conservas, las cuales han comenzado a llegar a los mercados internacionales más exigentes como el Norte americano, el europeo y el asiático (FAO, 2013)

En 2011 la producción mundial de chile fue de 30 millones de toneladas (FAO, 2013), los principales países productores son China, México y Turquía, siendo China el gran productor mundial de chile (Cuadro 3).

Cuadro 3. Principales productores de chile verde (*C. annum* L.) en el mundo

Países	2005	2006	2007	2008	2009
China	12,530,180	13,030,234	14,026,272	14,274,178	14,524,178
México	1,617,264	1,681,277	1,890,428	2,054,968	1,981,564
Turquía	1,829,000	1,842,175	1,759,224	1,796,180	1,837,003
Indonesia	1,058,023	1,185,060	1,128,790	1,092,115	D.N.D.
España	1,060,362	1,147,774	1,059,500	1,059,500	1,011,700
USA	959,070	998,210	855,870	915,160	926,680

*Toneladas (FAO, 2013)

El consumo de chile ha tenido un aumento importante en el mundo en los últimos años. Las exportaciones a nivel mundial al igual que la producción van en aumento debido a la fuerte demanda de mercados como el Norteamericano y el Europeo, estos mercados son el destino final de la mayoría de las exportaciones, siendo México el principal exportador a nivel mundial, con una participación de 600,000 toneladas para 2008 (Cuadro 4) (FAO 2013).

Los principales estados productores de chile a nivel nacional son Chihuahua, Sinaloa y Zacatecas, que juntos suman más del 50% de la producción nacional (SIAP, 2013)

Cuadro 4. Principales exportadores de chile verde (*C. annum* L.) en el mundo

Países	2004	2005	2006	2007	2008
México	432,960	478,066	517,832	530,896	580,864
España	395,437	429,359	477,806	368,534	435,221
Países B.	330,776	359,768	346,592	378,062	407,664
USA	93,701	94,914	63,591	108,521	106,902
Israel	65,100	80,182	94,690	116,655	80,911
China	66,579	39,425	26,359	47,162	74,506

*Toneladas (FAO, 2013)

2.1.4 Variables de Calidad del fruto de chile serrano (*C. annum*)

Los consumidores comienzan a demandar hortalizas de mayor calidad y a precios razonables. Dentro del concepto de calidad, se incluye la presentación del producto, la calidad gustativa, las formas, los colores, la ausencia de residuos de pesticidas y la producción sustentable (Abbott, 1999).

Las variables de calidad para el chile serrano son peso (g), diámetro (cm), longitud (cm), firmeza, porcentaje de llenado de placenta, grosor de pericarpio (mm), el color del epicarpio y el porcentaje de pérdida fisiológica de peso (Martínez *et al.*, 2005).

2.2 Agricultura Orgánica

La tendencia mundial hacia el consumo de productos más naturales ha abierto nuevas oportunidades para los agricultores, sobre todo para los pequeños, quienes pueden mejorar en forma sustancial su ingreso. Una perspectiva considera al sector sólo como un nicho de mercado; otra visión, además, plantea la posibilidad de sostener una relación más amigable con el medio ambiente (Alexandratos, 2010).

La agricultura orgánica se define como un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos de la finca, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y al mismo tiempo a minimizar el uso de recursos no renovables. La agricultura orgánica es diferente a la agricultura convencional, en el sentido de que la orgánica busca no sólo prescindir del uso de plaguicidas y productos de síntesis química y transgénicos, sino trabajar en armonía con el ambiente, así como mejorar las condiciones económicas y sociales de productores y consumidores (SAGARPA, 2013).

2.2.1 Ventajas de cultivos bajo condiciones orgánicas.

Como ventajas de la agricultura orgánica se puede hacer mención de las producciones ambientalmente sustentables y rentables desde el punto de vista económico, lo que parece cada vez más interesante para los pequeños y medianos productores.

Se cuenta fundamentalmente la existencia de una demanda creciente, tanto en el mercado externo como interno. A ello se agregan los precios diferenciales de este tipo de producciones y el aumento en el valor nutricional de los productos (SAGARPA, 2013).

El suelo en que se practique este tipo de agricultura será beneficiado ya que su proceso de producción no es tan desgastante como el de la agricultura tradicional o intensiva, es decir, se reduce drásticamente la erosión, la pérdida de nutrientes y la compactación. No se utilizan pesticidas ni fertilizantes sintéticos, estos pueden ser sustituidos por bioplaguicidas y fertilizantes orgánicos, los cuales protegen la salud del ecosistema y la del ser humano.

Se protege el ciclo hidrológico ya que mediante técnicas sostenibles se logra reducir el uso del recurso hídrico y se minimiza su contaminación. El sabor de los cultivos que han sido producidos de manera orgánica es mucho más intenso que el de aquellos que han sido elaborados utilizando otros métodos. Además, consumirlos es mucho más saludable pues no contienen trazas de químicos que son dañinos para nuestro organismo. La vida de una planta que ha sido cultivada de manera orgánica es mucho más larga, lo que permite que sus años de producción sean más extendidos (Borge, 2012).

2.2.2 Abonos orgánicos

Existen diferentes tipos de abonos orgánicos y se clasifican dependiendo de su origen o la forma de preparación, entre los más usados se encuentran:

Turba: Mejora notablemente la estructura del suelo, pero no es propiamente un abono orgánico; se mezcla con el sustrato para aportarle mayor esponjosidad e hidroabsorción. Son restos vegetales que se han sometido a una lenta descomposición en condiciones de alta humedad y baja cantidad de oxígeno. Hay principalmente dos tipos de turba: rubia y negra. La primera es de pH muy ácido, por lo que no es apta para todos los cultivos. La turba negra es más próxima a los valores neutros, pero su capacidad de absorber agua es menor, sobre todo una vez desecada (Cruz Medrano, 1986).

Composta: Es el producto que se obtiene de la descomposición controlada de restos orgánicos, especialmente de origen vegetal. De algún modo intenta imitar el proceso que se lleva a cabo en la naturaleza de forma natural cuando la hojarasca se transforma en humus, esa capa oscura de tierra que se encuentra en la superficie del suelo del bosque. El compost es un muy buen abono, ya que restaura el ecosistema microbiano del suelo y mejora su estructura (Cruz Medrano, 1986).

Estiércol: Era y sigue siendo en muchas zonas agrícolas, el abono más utilizado hasta la aparición de los agroquímicos. Lo constituyen las heces fermentadas de animales. Presenta altos niveles de nitrógeno, aunque sus propiedades varían mucho según el animal del que provengan y el alimento que consuma: por ejemplo es de mejor calidad un estiércol de oveja que uno de cerdo estabulado (Trinidad, 1987).

Humus de Lombriz: Compostaje que se realiza mediante el proceso digestivo de las lombrices. Se trata de un humus limpio, inodoro y suave al tacto, cuyas propiedades se consideran incluso mejores que las del compost doméstico.

Abono verde: Consiste en sembrar plantas que luego se voltearán e incorporarán al suelo en forma de abono. Se suelen utilizar especialmente leguminosas como alfalfa, trébol, guisante forrajero, porque son capaces de fijar el nitrógeno del aire que luego devolverán al suelo cuando sean enterradas (Trinidad, 1987).

Los abonos orgánicos influyen favorablemente sobre las características físicas como la estructura, la porosidad, la aireación, la capacidad de retención de agua, la infiltración, la conductividad hidráulica y la estabilidad de agregados. La composición química de los abonos orgánicos variará de acuerdo al origen de éstos. Las plantas, los residuos de cosecha y los estiércoles, difieren grandemente en cuanto a los elementos que contienen. Las características químicas del suelo que cambian por efecto de la aplicación de abonos orgánicos son obviamente el contenido de materia orgánica; derivado de esto aumenta el porcentaje de

nitrógeno total, la capacidad de intercambio de cationes, el pH y la concentración de sales (Castellanos *et al.*, 1982).

En cuanto a las características biológicas del suelo los abonos orgánicos en especial los estiércoles contienen grandes cantidades de compuestos de fácil descomposición, cuya adición casi siempre resulta en un incremento de la actividad biológica (SAGARPA, 2013).

Otra de las ventajas de uso de los abonos orgánicos es su influencia sobre la mineralización del nitrógeno en el suelo, el nitrógeno es uno de los principales elementos de la nutrición vegetal, ya que influye directamente en el crecimiento de la plantas y en su producción. La mineralización se basa en la transformación de N orgánico en N inorgánico, ya sea este en forma de NH_4^+ o NO_3^- , la cual es la forma asimilable para las plantas. Los abonos orgánicos suelen cambiar la temperatura del suelo y el contenido de humedad, afectando la tasa de mineralización del nitrógeno, este proceso es realizado por los microorganismos presentes en el suelo, lo cuales al ver beneficiadas las condiciones ideales para su desarrollo se asocian de forma simbiótica con algunas plantas para un mejor aprovechamiento del N del suelo (Black, 1975).

El NH_4^+ producido por los microorganismos presentes en el suelo y en los abonos orgánicos dentro de la mineralización tiene varios caminos a seguir: a) puede ser utilizado por microorganismos heterotróficos para descomponer más residuos orgánicos, b) puede ser absorbido directamente por las plantas superiores; c) puede ser convertido a NO_2^- y NO_3^- por nitrificación; d) puede ser fijado por minerales arcillosos; e) puede ser liberado lentamente hacia la atmósfera como N_2 . Esto pasa de manera similar con los abonos inorgánicos, sin embargo en los abonos orgánicos, los microorganismos que estos aportan al suelo y los ya presentes en este, vuelve a incorporar a sus ciclos biológicos este nutriente de manera que está en constante movimiento permitiendo de esta manera un mejor aprovechamiento por parte de las plantas y una menor pérdida por mineralización (Black, 1975).

2.2.3 Biofertilizantes

Los biofertilizantes son insumos formulados con uno o varios microorganismos, los cuales, de una forma u otra, proveen o mejoran la disponibilidad de nutrientes cuando se aplican a los cultivos. Un biofertilizante es un fertilizante orgánico natural que ayuda a proporcionar a las plantas todos los nutrientes que necesitan y a mejorar la calidad del suelo creando un entorno microbiológico natural. Por ejemplo, se propone utilizar los biofertilizante para mejorar el rendimiento de los cultivos mediante bacterias nitrificantes (rizobios), hongos micorrizos y otros microorganismos capaces de aumentar la accesibilidad de los nutrientes de las plantas presentes en el suelo (FAO, 2013).

El estudio de las bacterias promotoras de crecimiento se ha realizado desde hace muchos años, producto de estas investigaciones se ha sugerido que las bacterias fijadoras de nitrógeno son el grupo de microorganismos, más importantes presentes en la rizósfera del suelo (Figura 2), debido a que esta clase de bacterias pueden establecer relaciones muy específicas con las plantas y de esta manera evitar la competencia con toda la microflora presente en el suelo (Döbereiner, 1992; Lennon *et al.*, 1997; Mani y Traux, 1998).



Figura 2. Presencia de nódulos de *Rhizobium* sp (BPCV) en sistema radicular de frijol.

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) se definen como aquellas de la rizósfera que pueden promover el crecimiento de los cultivos ya sea directa o indirectamente. Algunas BPCV son capaces de proteger a las plantas contra los patógenos transmitidos por el suelo (Nielsen *et al.*, 1999; Thrane *et al.*, 2000), otros producen fitohormonas (Joo *et al.*, 2005) o facilitan la absorción de nutrientes de la planta (Adesemoye *et al.*, 2009).

La actividad de las bacterias promotoras de crecimiento está regulada principalmente por las condiciones del medio en donde se desarrolla esta relación, debido a que un cambio en el sistema, puede inhibir o revertir el efecto que se pretende; además también depende del tipo de planta con la cual se lleve a cabo dicha interacción. De acuerdo con Ahmad *et al.*, (2006), se conocen mecanismos directos e indirectos para la promoción del crecimiento vegetal.

Los mecanismos directos se relacionan con la producción de fitohormonas de tipo auxinas y giberelinas o la regulación de la producción de hormonas por parte de la planta. Así mismo pueden afectar la disponibilidad de nutrientes por la intervención directa en los ciclos biogeoquímicos. Es el caso de la fijación biológica de nitrógeno y la solubilización de nutrientes tan importantes como el fósforo (Compant, 2005).

Indirectamente las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal pueden contribuir mediante la inducción de la resistencia sistémica a fitopatógenos, el control biológico de enfermedades, la producción de antibióticos y de sideróforos (Voinnet, 2005; Rao *et al.*, 2000). La conjunción de ambos mecanismos de acción ha dado como resultado la promoción del crecimiento en plantas; se ha observado un incremento en la emergencia, el vigor (Figura 3) y el peso de plántulas, un mayor desarrollo en sistemas radicales (Figura 4) y un incremento hasta de 30% en la producción de cultivos de interés comercial.

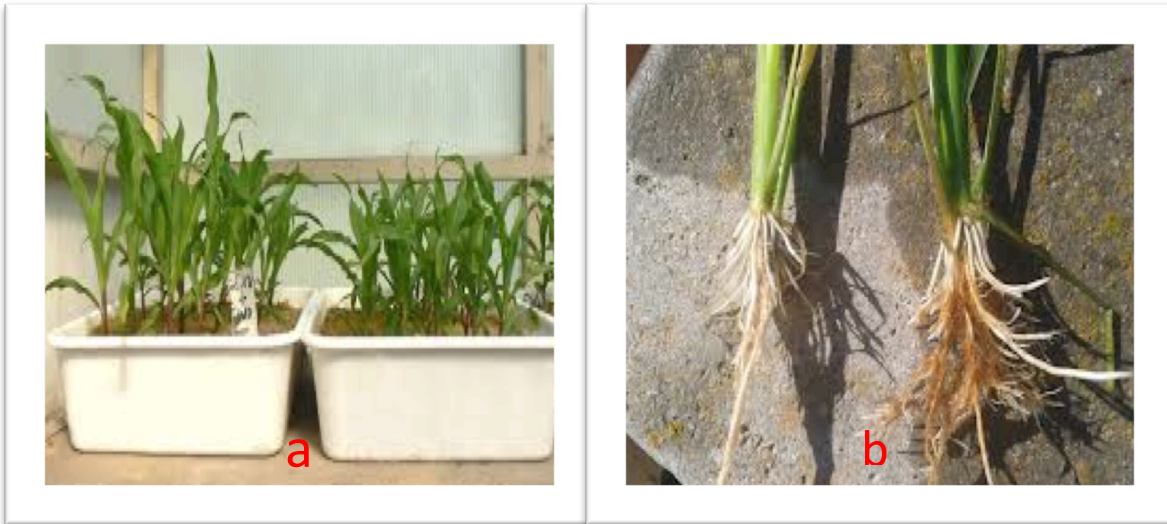


Figura 3. Efecto de las BPCV sobre la producción de biomasa (a) y el crecimiento radicular (b) de plantas de maíz .

Diversos trabajos como el de Fuentes-Ramírez y Caballero-Mellado, (2005) reportan que las bacterias promotoras del crecimiento poseen varios mecanismos de acción para la promoción del crecimiento vegetal, entre los cuales se debe destacar la fijación biológica de nitrógeno (FBN), síntesis de fitohormonas, sinergismo con otros microorganismos benéficos para las plantas, inhibición de la producción de etileno por parte de las plantas y la solubilización de elementos como el fósforo, el cual es de vital importancia en el desarrollo de las células vegetales (Fuentes-Ramírez y Caballero-Mellado, 2005).

Existen diferentes tipos de BPCV las cuales actúan de mejor forma dependiendo del cultivo en el cual sean introducidas, Vessey (2003) reporta diferentes cepas de BPCV con respecto al cultivo en el cual se obtienen mejores resultados al introducirlas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efectos benéficos de los biofertilizantes en algunos cultivos

BPCV	Cultivo	Beneficio
<i>Agrobacterium sp.</i>	Lechuga	Rendimiento
<i>Rhizobium leguminosarum</i>	Rábano	Tamaño de frutos
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Tomate	Rendimiento
<i>Bacillus sp.</i>	Calabacita	Numero de frutos
<i>Bacillus licheniformis</i>	Chile	Rendimiento
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Pimiento	Tamaño de frutos

Vessey (2003)

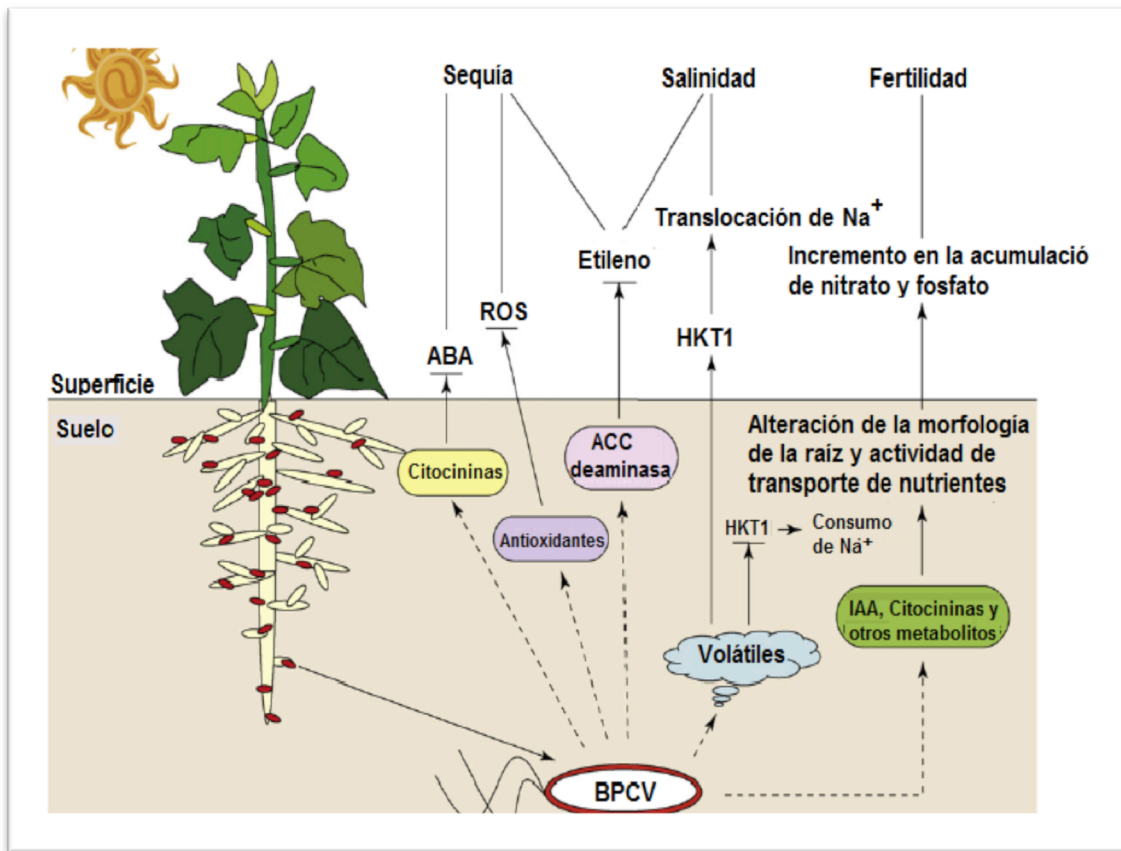


Figura 4. Mecanismos de acción de las Bacterias promotoras de crecimiento

Es por esto que el uso de bacterias promotoras del crecimiento ayudan de manera muy importante en cultivos bajo condiciones orgánicas, ya que al hacer nulo el uso de fertilizantes químicos, las condiciones del cultivo cambian debido a que los nutrientes necesarios para las plantas no están siempre de forma disponibles como lo estarían con fertilizantes químicos, es ahí donde las bacterias toman importancia, ya que ellas son capaces de movilizar y hacer disponibles los nutrientes que la planta necesita sin afectarla (Figura 4) (Crowley *et al.*, 1991).

El actuar de estas BPCV en los diferentes cultivos enlistados depende en gran medida de las condiciones con que se cuente en el cultivo, en ocasiones el simple hecho de agregar los microorganismos al cultivo no nos garantiza su funcionamiento, muchas ocasiones si las condiciones no son favorables, pueden cambiar su forma de interactuar con la planta o simplemente pueden estar presentes sin utilizar los mecanismos de nuestro interés (Bowen y Rovira, 1999).

A pesar de que todavía es muy limitado el estudio y la comprensión de las interacciones BPCV-plantas, hay un gran número de estas bacterias que son comercializadas como ayuda tecnológica para la obtención de productos orgánicos (Bagwell *et al.*, 1998)

Dentro de las cepas de BPCV que se comercializan actualmente se pueden incluir aquellas de las especies: *Agrobacterium radiobacter*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus subtilis var. amyloliquefaciens*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas solanacearum*, *Pseudomonas sp.*, *Streptomyces sp.*, *Streptomyces lydicus* y varios *Rhizobium sp.* entre otros (Bagwell *et al.*, 1998).

Sin embargo esta práctica solo representa actualmente una pequeña porción de la agricultura mundial debido a la falta de estudio de los mecanismos de acción de cada una de las bacterias, es por esto que es importante conocer y estudiar los mecanismos de acción de estas bacterias y como benefician a las plantas, para así poder ofrecer a los agricultores los productos que realmente benefician a sus cultivos y que puedan disminuir sus costos de producción.

3.- OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizantes y abonos orgánicos sobre la producción y la calidad nutracéutica de chile serrano (*Capsicum annuum* L.).

3.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el empleo de la fertilización orgánica sobre la obtención de plántulas de calidad de chile serrano, determinando los parámetros agronómicos de altura, biomasa y diámetro de tallo.
2. Determinar el efecto sobre la producción y la calidad del fruto de chile serrano ante la fertilización orgánica.
3. Determinar el efecto de la fertilización orgánica en los frutos en chiles sobre el contenido de compuestos bioactivos como capsaicina, las vitaminas C, A y la capacidad antioxidante en los frutos.

4.- METODOLOGÍA

4.1. Material biológico

4.1.1 Chile serrano

El chile serrano que se utilizó en este trabajo es del cultivar “Madero F-1”, de la empresa Premier seeds® el cual presenta un fruto de paredes gruesas y excelente llenado, color verde esmeralda y con pesos promedio de 6-8 g.

4.1.2. Cepas bacterianas

Las cepas del genero *Bacillus* sp (Figura 5), han sido caracterizadas como promotoras del crecimiento vegetal, al reportar diversas propiedades bioquímicas como actividad ACC deaminasa, fijación biológica de nitrógeno (FBN), producción de ácido indo acético AIA y solubilización de fosfatos (Luna-Martínez *et al.*, 2013). Dichas cepas fueron adquiridas en el laboratorio de plantas y biotecnología agrícola de la Universidad Autónoma de Querétaro.

4.2. Sitio experimental

El presente trabajo se realizó en dos sitios diferentes, para el caso de la producción bajo condiciones de invernadero se utilizó el invernadero ubicado en el área de posgrado de la Facultad de Química de la UAQ el cual cuenta con una área de 45 m². Para el ensayo en campo se utilizó un predio en el municipio de Apaseo el grande Guanajuato, ubicado en la latitud 20°32'49"N y longitud 100°41'12"O a una altura de 1770 msnm, el área del espacio destinado para el cultivo fue de 60 m².

4.3 Desarrollo del experimento

4.3.1 Preparación de la cepa bacteriana para inoculación

La cepa de *Bacillus* sp se cultivó en caldo nutritivo, posteriormente se puso en agitación constante a 180 rpm por 16 h a 30 °C, después los cultivos fueron centrifugados a 3400 rpm por 15 min para obtener las pastillas celulares. La concentración celular fue ajustada a 1x10⁷ UFC/mL (Luna-Martínez *et al.*, 2013).

4.3.2 Inoculación de las semillas y plántulas con cepas bacterianas

Se utilizaron 200 semillas por cada tratamiento T1 inoculación de cepas más fertilización orgánica, T2 fertilización química y T3 inoculación de las cepas más fertilización química. Para los tratamientos que fueron inoculados se utilizó una suspensión celular de 1×10^7 ufc mL^{-1} (Rajkumar *et al.*, 2005).

Una vez inoculadas las semillas fueron sembradas en charolas de 200 cavidades utilizando peat moss® como sustrato. Después de la segunda semana de emergencia se comenzó la fertilización orgánica con el producto Multiagro® a una dosis de 5 mL L^{-1} , mientras que para la fertilización química se empleó la solución nutritiva de Steiner modificada con una dosis de 12 mL/L^{-1} de la solución (Armenta *et al.*, 2001).

Las plántulas serán mantenidas en las charolas hasta que presenten seis hojas verdaderas, lo cual ocurre entre los 55 días (Figura 5).

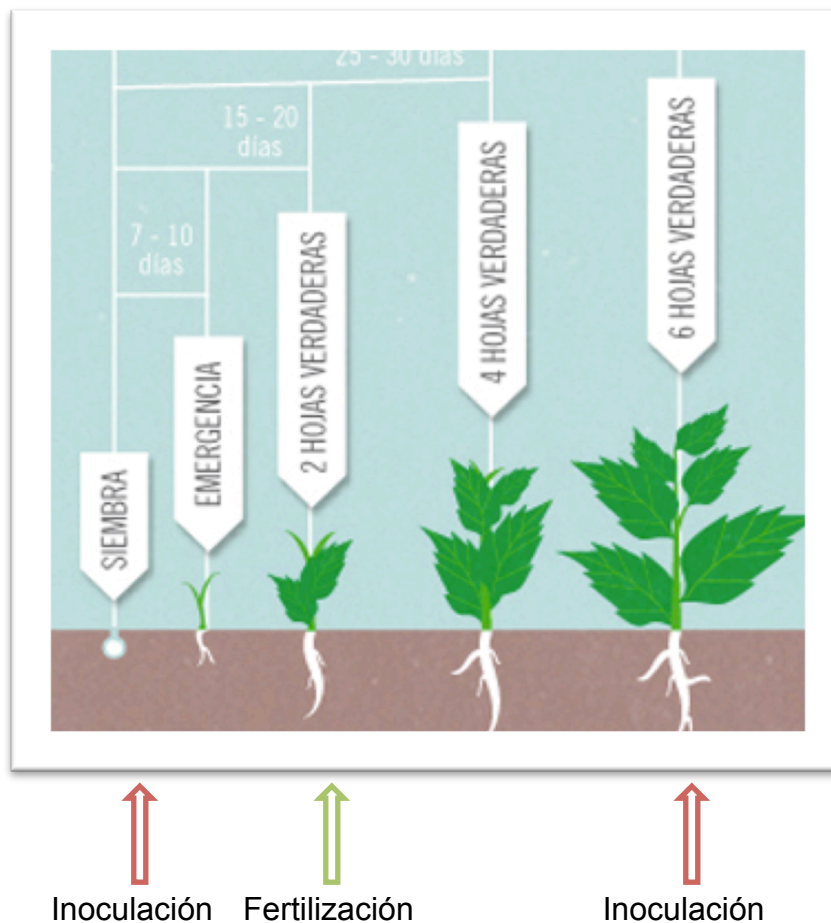


Figura 5. Diagrama del procedimiento seguido para la obtención de plántulas

En el caso de las plántulas que se llevaron a campo abierto se incluyó además de los tres tratamientos antes mencionados uno testigo (T4), en el cual no se incluyó ningún tipo de fertilización, con el fin de conocer el aporte nutrimental que el propio pudiese llegar a tener.

Una vez comenzada la producción se procedió a determinar los parámetros de altura, biomasa y diámetro de tallo en las plántulas para conocer cual tratamiento tuvo un mejor efecto. Ya determinado cual fertilización produjo plántulas de mayor calidad, se maquinaron las que fueron llevadas al invernadero y campo.

4.3.3 Trasplante y fertilización

El área total para realizar el trabajo dentro del invernadero fue de 45 m², donde se tuvieron 3 unidades experimentales, cada una de 15 m². La distancia entre plantas será de 35 cm. En el caso del trabajo a campo abierto el área total del cultivo fue de 60 m², teniendo así 4 unidades experimentales, cada una de 25 m². La distancia entre plantas fue de 40 cm. Después del trasplante, se aplicaron preventivos para proteger a la planta de insectos transmisores de virus, en el caso del tratamiento orgánico se procedió a realizar una aspersion de una solución acuosa de ajo con cebolla, en la cual se utilizaron 250 gramos de cada uno y se mezclaron con un litro de agua, mientras que para los tratamientos químico y el testigo se utilizó el insecticida Clorpirifos®. Los tratamientos que incluían inoculación con las cepas fueron inoculadas nuevamente en este punto con el fin de garantizar la presencia de estas ya en el sitio final de las plantas.

La dosis de fertilización química sugerida fue 180-90-00, la aplicación se realizó agregando al suelo todo el fósforo y la mitad del nitrógeno ocho días después del trasplante. La otra mitad del nitrógeno se aplicará 45 días después de la primera aplicación Figura(6). Para la fertilización orgánica se utilizó humus de lombriz y fosfato tricalcico en combinación con las BPCV, para la convencional y orgánico convencional se utilizó urea y superfosfato triple con la variante de las BPCV en el tratamiento orgánico-convencional.

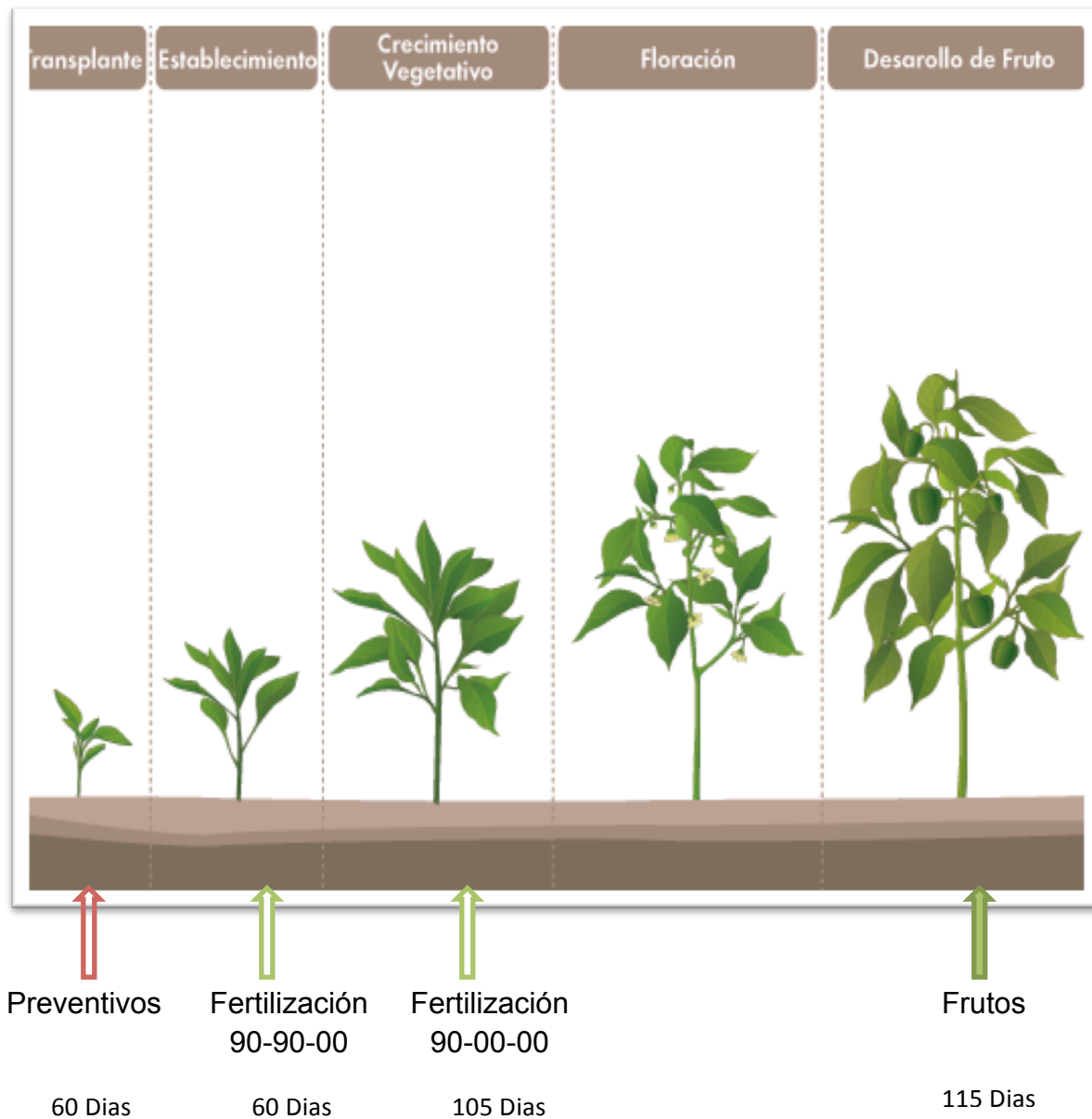


Figura 6. Establecimiento del cultivo, aplicación de tratamientos preventivos y fertilizaciones

4.4 Determinaciones de la calidad del fruto

Comenzada la cosecha la cual sucedió a los 55 días después del trasplante se realizaron cortes en intervalos de 15 días determinando el rendimiento por planta. En los frutos se determinaron los parámetros de peso, diámetro, longitud, firmeza, grosor del pericarpio, color, pH, grados Brix, acidez titulable y porcentaje de humedad, de acuerdo a los procedimientos propuestos por Vázquez et al., (2010). Se realizaron dos cosechas en cada una de las repeticiones del cultivo, para el primer cultivo en invernadero se realizaron cortes el 5 de agosto y 20 de agosto del año 2013 y en el caso del cultivo en campo los cortes fueron el 27 de mayo y 12 de junio de 2014.

4.4.1 Peso, longitud y diámetro

Se tomaron todos los frutos de cada uno de los tratamientos, a los cuales se les determinó peso (g) con una balanza analítica, diámetro (mm) y longitud (mm) con un vernier digital, estas mediciones se realizaron el mismo día de la cosecha (Martínez *et al.*, 2003).

4.4.2 Color

Se determinaron las coordenadas de color “L”, “a” y “b” con ayuda de un colorímetro HunterLab con iluminante A, en 3 puntos equidistantes del fruto entre el cáliz y el pedúnculo. Se utilizaron cinco frutos por cada tratamiento y se reportaron el promedio de las lecturas (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010). La coordenada “L” representa la diferencia ente la luminosidad (“L”=100) y la oscuridad (“L”=0), “a” representa la diferencia entre el verde (“-a”) y el rojo (“+a”), y “b” representa la diferencia entre el amarillo (“+b”) y el azul (“-b”) (Francis, 1980). Además se determinara el índice de color (Cuadro 6) mediante la ecuación:

$$\text{Índice de Color (IC)} = \frac{a \times 1000}{L \times b}$$

Cuadro 6. Clasificación del índice de color

IC	Color
-40 a -20	Azul violeta
-20 a -2	Verde profundo
-2 a +2	Amarillo verdoso
+2 a +20	Amarillo pálido o naranja intenso
+20 a +40	Naranja a rojo

4.4.3 Grosor de pericarpio

El grosor de la pared (mm) se determinó con un vernier digital, para lo cual fue necesario cortar el chile en forma ecuatorial, se seleccionó una mitad del chile y se tomó la medida del grosor en la parte interna, esto se realizó para 5 frutos (Urrestarazu *et al.*, 2002).

4.4.4 Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad se determinó con el método descrito por la AOAC (1994). Donde se pesaron 10 g de muestra y se colocaron en charolas de aluminio (previamente puestas en peso constate) a una temperatura de 105 °C dentro de una estufa a durante 4 horas. El porcentaje de humedad se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{P - P1}{P2} \times 100$$

Dónde:

P = peso del recipiente con muestra húmeda (g).

P1 = peso del recipiente con muestra seca (g).

P2 = peso de la muestra (g).

4.4.5 Acidez total titulable

Se pesaron 10 g de muestra fresca y se homogenizaron posteriormente. Se tomó una alícuota de 5 mL y se agregaron 45 mL de agua destilada, se agitó durante 5 minutos. Después se realizó una titulación con hidróxido de sodio 0.1 N hasta alcanzar un pH de 8.2. Los resultados se expresaran (% de ácido cítrico/100 g de fruto fresco) se realizaron para cinco frutos y por triplicado (AOAC, 1994).

El porcentaje de ácido cítrico se determinó con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} & \% \text{ de ácido cítrico} \\ & = \frac{(\text{Vol de Na OH} \times N(\text{Na OH}) \times (\text{Factor de meq de ácido cítrico}))}{\text{ml de muestra}} \times 100 \end{aligned}$$

Dónde:

Vol de NaOH = cantidad de mL de NaOH gastados en la titulación.

N = Normalidad de NaOH empleada.

Factor de meq. = 0.064 (ácido cítrico).

mL de muestra = cantidad de muestra empleada en mL.

4.4.6 pH

Para la determinación del pH se utilizó un potenciómetro calibrado previamente con soluciones amortiguadoras de pH 7.0 y 4.0. Se pesaron 10 g de muestra fresca y se añadieron 100 mL de agua destilada, se realizó una agitación mecánica para homogenizar la mezcla posteriormente se filtró y se realizó la lectura de pH, el procedimiento se realizó para cinco frutos y por triplicado (AOAC, 1994).

4.4.7 Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de SST del fruto de chile serrano se determinó mediante el uso de un refractómetro digital marca ATAGO, donde la lectura se realizó en forma directa como se describe en el método de la AOAC, (1994).

4.4.8 Vida de anaquel

La vida de anaquel de los frutos se evaluó mediante la pérdida fisiológica de peso y los cambios de color del epicarpio lo cual se evaluó en 10 frutos de cada uno de los tratamientos. Se consideró que los frutos que tuvieran mayor pérdida de peso y mayores cambios en los valores de croma y tono en función del tiempo, tendrían menor vida de anaquel, como lo han demostrado varios autores (Lownds *et al.*, 1994; Martínez *et al.*, 2005; Díaz-Pérez *et al.*, 2006; Smith *et al.*, 2006). Los frutos fueron almacenados a una temperatura de 7 °C durante el tiempo en el cual fueron tomadas las mediciones de color y pérdida de peso.

4.4.9 Determinación de macro y microelementos

La determinación de macro y microelementos se realizó en 50 g de tejido vegetal de chile. La muestra se colocó en una estufa a 105 °C durante 24 horas, posteriormente se molió, hasta tener un tamaño de partícula de malla 60. Después se realizó una digestión húmeda del material seco con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico como lo describe Alcántar y Sandoval (1999). En los extractos obtenidos se realizó la determinación de la concentración de micro y macro elementos usando un equipo de espectroscopia de absorción atómica (AA). Dicho análisis se realizaron en el laboratorio central de la Universidad Autónoma Chapingo.

4.4.10 Grasas

Se realizó mediante extracciones en un equipo Soxhlet con éter de petróleo como solvente. Para ello se usó una muestra de chile molida con un tamaño de partícula de 500 μ , durante un tiempo de extracción de 2,5 horas. La relación muestra-solvente fue de 3 g/ 150 mL.

El solvente residual fue retirado por calentamiento a 40°C. Las muestras fueron colocadas después en un desecador hasta alcanzar un peso constante para determinar el rendimiento del extracto (Sánchez *et al.*, 2005)

Para los cálculos de rendimiento se relacionó el peso de extracto obtenido con el peso de muestra de chile inicial.

$$\% \text{ de rendimiento} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Donde:

Peso final= Peso del matraz más el extracto a peso constante

Peso inicial= Peso del matraz a peso constante

4.4.11 Proteínas

Se utilizó el método de Kjeldahl el cual se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, con lo cual se forma sulfato de amonio que en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco, el cual se destila recibiendo en ácido bórico formándose borato de amonio el que se valora con ácido clorhídrico, se utilizaron 10 gramos de tejido vegetal de los chiles, el cual se colocó en una estufa a 105 °C durante 24 horas, posteriormente se molió y se procedió a realizar la determinación (AOAC, 1994).

4.4.12 Vitamina A

Se utilizaron muestras de 100 g de chile, las cuales se almacenaron a 0 °C y se protegieron de la luz hasta su uso. Los análisis se realizaron de acuerdo a la NOM-131-SSA1-2012 por medio de HPLC en el laboratorio analítico del Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño del estado de Jalisco (CIATEJ).

4.4.13 Fenoles totales

El contenido de fenoles totales se determinó por espectrofotometría mediante el método de Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965). Se pesaron 10 gr de muestra, se colocaron en un tubo eppendorf de 50 mL y se agregaron 25 mL de

metanol, posteriormente se homogenizó en vortex por 5 minutos y después se centrifugó a 3400 rpm por 15 minutos. El extracto se filtró y se colocó en un matraz aforado de 100 mL donde se completó con metanol hasta el aforo.

En un tubo de ensaye se colocaron 200 μ L del extracto metanólico y se agregaron 800 μ L de agua destilada más 2.5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu al 10 % y se dejó reaccionar durante 6 minutos posteriormente se agregaron 2 mL de la solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 7.5 % y se dejó reposar por 90 minutos a temperatura ambiente. La absorbancia se midió a 765 nm en un espectrofotómetro UV-visible. Para determinar las concentraciones de fenoles totales se elaboró una curva patrón de ácido gálico. La determinación se realizó por triplicado y el contenido de fenoles totales se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico GAE/100 gr en peso fresco.

4.4.14 Vitamina C

Se pesaron 10 g de frutos frescos se homogeneizaron con 10 mL de ácido metafosfórico al 3 %, se realizaron dos extracciones adicionales con 10 mL del ácido metafosfórico, posteriormente se mezcló con vortex durante 5 minutos y se centrifugó por 20 minutos a 3400 rpm.

El extracto obtenido se filtró en manta de cielo y se colectó el sobrenadante en un matraz aforado de 100 mL completando el aforo con ácido metafosfórico que se utilizó para las extracciones, se tomaron 5 mL y se llevó a un volumen de 50 mL. Se tomaron alícuotas para la cuantificación de ácido ascórbico por HPLC. Cada alícuota con el extracto de ácido ascórbico se filtró mediante una membrana de celulosa de 0,22 μ m antes de la inyección en la columna cromatográfica.

Para el análisis se utilizó un equipo de HPLC equipado con una columna Zorbax SB-C18 (4.6 X 250 mm) con un tamaño de partícula de 5 μ m. La fase móvil consistió en agua destilada acidificada (0,1% de ácido fosfórico) (disolvente A) y acetonitrilo (disolvente B) (en la relación de 97:3 v/v), el flujo fue de 0.8 ml/min. Para determinar las concentraciones de ácido ascórbico se elaboró una curva patrón de ácido ascórbico 99%. El L-ácido ascórbico se detectó a 254 nm

mediante UV-Visible y se confirmó con un estándar de ácido ascórbico a una concentración de 1mg / ml (Zhang y Hamauzu, 2003).

4.4.15 Capsaicina

Se utilizaron 2 g de muestra y 12 mL de acetonitrilo las cuales se colocaron en baño maría a 80°C durante 4 h para la extracción, agitando cada 30 min. Después, el extracto fue enfriado y filtrado por una membrana de 0.45 µm. 20 µL de extracto serán inyectados por triplicado en una columna Zorbax SB-C18 (4.6 X 250 mm) con un tamaño de partícula de 5 µm. La cuantificación se realizó mediante el uso de una curva patrón de los estándares de Sigma Aldrich de capsaicina (98%) y dihidrocapsaicina (90%). La fase móvil consistió en una solución metanol-agua 73:27 y se usará un régimen isocrático con flujo de 1mL*min⁻¹ (Perucka et al., 2000).

El contenido de capsaicina también fue determinado mediante una técnica electroquímica, en la cual se preparara una solución del extracto para cuantificar capsaicina en 40 % etanol + 60 % solución amortiguadora 0.05 M Britton–Robinson pH 1.0. Se usó una estación electroquímica BAS- Epsilon y electrodos serigrafados de carbono modificados con multicapas de nanotubos de carbono con terminaciones carboxiladas. Se corrió una voltamperometría cíclica con una ventana de potencial 0 a 0.8 V a una velocidad de barrido de 25 mVs⁻¹ (Torabi y col., 2008). Para determinar las concentraciones de fenoles totales se elaboró una curva patrón de capsaicina y dihidrocapsaicina, en la que se midió la corriente y los potenciales de oxidación de las muestras.

4.4.16 Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los frutos fue determinada mediante el ensayo FRAP (por sus siglas en inglés: Ferric Reducing Antioxidant Power) de acuerdo a Firuzi, y *et al.* (2005). Brevemente, la solución FRAP se preparó con una solución amortiguadora de acetato 300 mM, a un pH de 3.6, mezclando cloruro férrico hexahidratado 20 mM y 2,4,6,-Tris(2-piridil)-s-triasina (TPTZ) 10 mM disuelto en HCl 40 mM. La solución FRAP se agregará a una temperatura de 37°C a las muestras y la absorbancia se medirá a 595 nm cada 0, 4, 10, 30, 60 y 90 minutos.

Se usará sulfato ferroso como control. Los resultados son reportados como mmol FeSO₄/g de muestra.

También se realizó el ensayo de ABTS descrito por Nenadis *et al.*, (2000), modificado para micro placa de 96 pozos. Brevemente, 20 µl del extracto fueron mezclados con 230 µl de una solución de ABTS previamente preparada. La absorbancia será registrada a 734 nm a los tiempos 0 y 6 minutos. Se obtuvo una curva con Trolox. La actividad antirradical fue expresada como mmol Trolox/g extracto.

4.5. Análisis estadísticos.

El experimento en invernadero constó de 3 tratamientos: Producción Orgánica T1, Convencional T2 y Orgánica Convencional T3. Para ello se realizó un diseño de bloques al azar el cual tenía 3 bloques con tres tratamientos y tres repeticiones.

El experimento en campo constó de 4 tratamientos: Producción Orgánica T1, Convencional T2, Orgánica Convencional T3 y un testigo T4. Para ello se realizó un diseño de bloques al azar el cual tenía 4 bloques con cuatro tratamientos y tres repeticiones.

El factor de estudio fue la fertilización para lo cual se utilizaron tres tratamientos: T1 orgánico, T2 convencional y T3 orgánico-convencional con una misma dosis de fertilización la cuál fue 180-90-00, pero con diferentes fuentes de fertilización, además de un testigo en el cual no se incluyó ningún tipo de fertilización.

Para cada una de las variables evaluadas se consideraron como unidad experimental a seis plantas de chile y todos los análisis fueron realizados por triplicado. Los datos obtenidos fueron sujetos a un análisis de varianza y prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($P \leq 0.05$) mediante el programa estadístico JMP (8.0.1).

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Producción de plántula

En el Cuadro 7 se muestran los resultados obtenidos en las variables de producción de plántula en el primer ciclo (Figura 7). El manejo convencional y el orgánico-convencional muestran los valores más altos en todas las variables analizadas (altura 22.76 cm, diámetro de tallo 0.31 cm y biomasa 4.29 g) ya que no hay diferencias significativas entre estos, sin embargo el tratamiento orgánico fue el que tuvo los valores más bajos (altura 18.14 cm, diámetro 0.27 cm y biomasa 2.99 g), lo que se traduce en obtención de plántulas de bajo porte, con poco vigor de crecimiento y poca producción de biomasa.



Figura 7. Plántulas de chile serrano

La obtención de plántulas de bajo porte es una característica indeseable por los productores, la mayoría de ellos busca plántulas de buen porte y un buen desarrollo vegetativo ya que por lo general estas pueden resistir mejor el trasplante reduciendo así el costo de producción ya que se evita el retrasplante por aquellas plantas que pudieran llegar a morir.

Los resultados aquí obtenidos concuerdan con lo reportado por Muñoz Villalobos *et al.*, (2012), quienes reportan en un cultivo de chile jalapeño una diferencia de hasta 3.7cm en la altura en plantas producidas con abono orgánico respecto al testigo obtenido mediante fertilización química, lo que se traduce en una mayor producción de biomasa.

Cuadro 7. Efecto de la fertilización en la producción de plántulas de chile serrano

Tratamiento	Altura cm	Diámetro cm	Vigor	Peso fresco g	Peso seco g
T1	18.14b	0.27b	66.39b	24.14b	2.99b
T2	22.34a	0.30a	72.15a ¹	32.90a	4.29a
T3	22.76a	0.31a	72.05a	32.78a	4.01a
Valor de F	0.001**	0.001**	0.0025**	0.001**	0.001**
DMS	0.85	0.11	3.38	1.19	0.14

¹Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 (orgánico), T2 (convencional) y T3 (orgánico convencional) * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

5.2 Cosecha y calidad del fruto

5.2.1 Peso, longitud, diámetro y rendimiento

En el Cuadro 8 se muestran los resultados obtenidos en el cultivo bajo condiciones de invernadero con respecto a las variables de calidad peso, longitud, diámetro, rendimiento, número de frutos por planta en dos fechas de corte (Figuras 8, 9 y 10), además de una clasificación de los frutos con respecto a su calidad comercial. En la fecha de corte de 5 de agosto no se observan diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los tratamientos (peso 5.52 g, longitud 4.97 cm, diámetro 1.39 cm), para la fecha del 20 de agosto se observa que el tratamiento orgánico tiene un mejor efecto en la variable de peso (4.72 g).

En el caso del rendimiento el tratamiento orgánico fue el que tuvo el mejor resultado en ambos cortes (0.488 Kg/m^2 y 0.655 Kg/m^2) siendo en el segundo corte el punto máximo de producción para los tres tratamientos, además con este tratamiento se obtuvieron frutos de mejor calidad y un mayor rendimiento en comparación al tratamiento convencional.

Estos resultados concuerdan con Márquez Quiroz *et al.*, (2013), donde en un cultivo de chile piquín bajo condiciones orgánicas en invernadero se obtuvo un incremento del 29% en el rendimiento del cultivo con respecto a un testigo cultivado con el uso de abonos inorgánicos

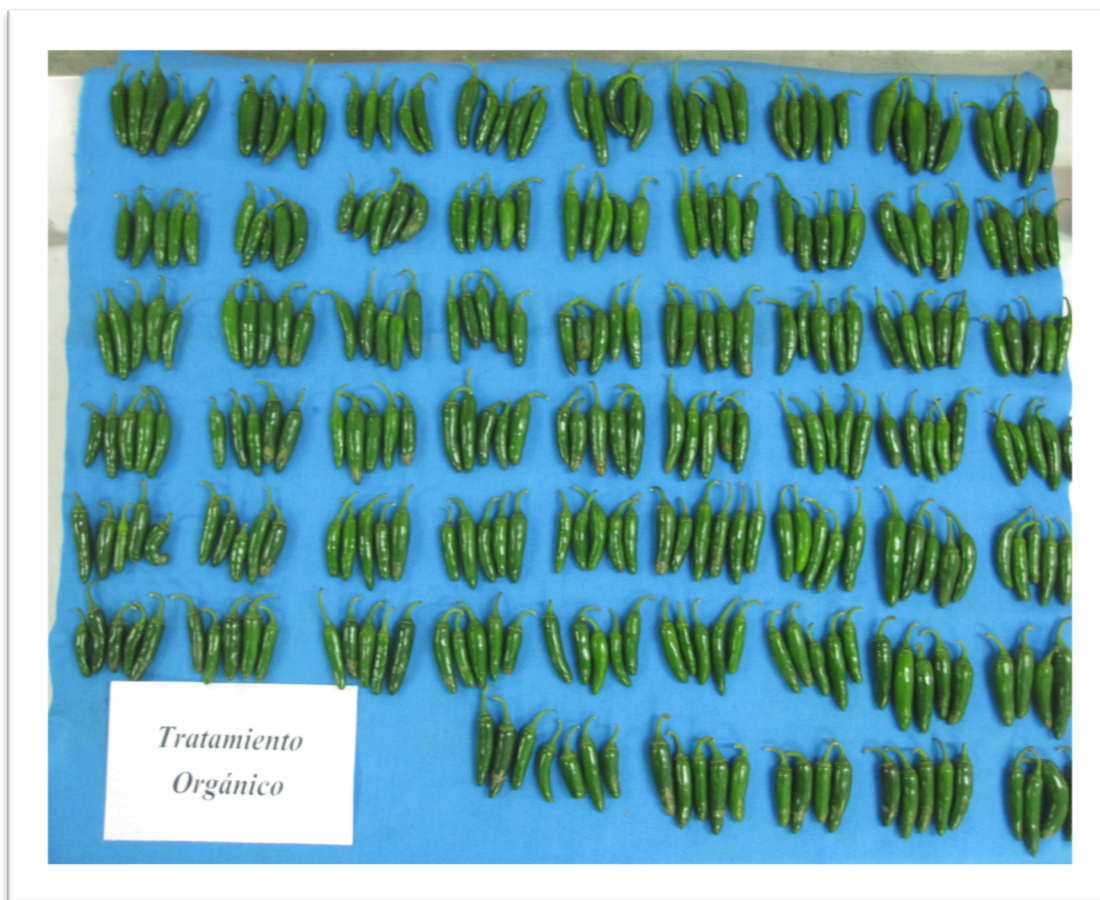


Figura 8. Frutos obtenidos del tratamiento T1 utilizados para los análisis de los parámetros de calidad.

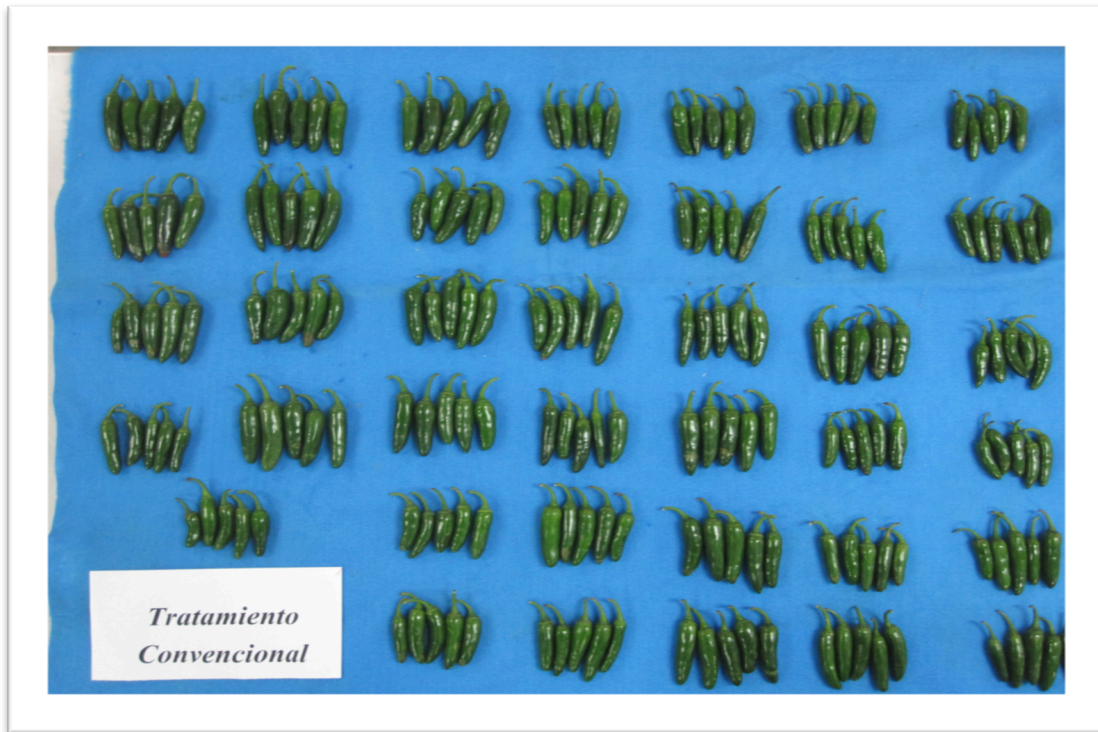


Figura 9. Frutos obtenidos del tratamiento T2 utilizados para los análisis de los parámetros de calidad.



Figura 10. Frutos obtenidos del tratamiento T3 utilizados para los análisis de los parámetros de calidad.

Cuadro 8. Efecto de la fertilización en las variables agronómicas del chile serrano (Invernadero)

Fecha de Corte	Peso	Longitud	Diámetro	Rendimiento	# de frutos por planta	Calidad en peso (%)		
	g	cm	cm	Kg/m ²		Segunda	Primera	Extra
5 de Agosto de 2013								
T1	5.52a	4.96a	1.39a	0.48a	1.14a	42.3	45.61	12.09
T2	4.95a	4.97a	1.36a	0.29b	0.99b	71.43	26.11	2.46
T3	4.61a	4.83a	1.36a	0.28b	0.94c	35.78	44.92	19.3
Valor de F	0.16*	0.20*	0.49*	0.025**	0.04			
DMS	0.60	0.17	0.06	0.87	0.23			
20 de Agosto de 2013								
T1	4.72a	4.68a	1.41b	0.65a	1.72a	39.85	55.78	4.37
T2	4.1ab	4.44a	1.33b	0.46b ¹	1.28b	63.13	34.51	2.36
T3	3.91b	4.35a	1.95a	0.40b	1.26b	51.34	46.46	2.2
Valor de F	0.02**	0.10*	0.04**	0.02**	0.03**			
DMS	0.58	0.31	1.11	1.65	0.63			

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P≤0.05). T1 (orgánico), T2 (convencional) y T3 (orgánico convencional), * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey (P≤0.05).

En el Cuadro 8 de igual manera se observa que el tratamiento orgánico es el que tiene el mayor número de frutos por planta en los dos cortes, lo cual influye directamente en el rendimiento. En la calidad comercial nuevamente orgánico es el tratamiento que tuvo un porcentaje mayor de frutos dentro de la primera calidad con respecto a convencional y orgánico-convencional de acuerdo con la NMX-FF-025-SCFI-(2007).

5.2.2 Color

Los resultados obtenidos para las variables de color en el fruto de chile se presentan en el Cuadro 9, se observa que no existe una diferencia significativa para las coordenadas de color “L”, “a”, b” en ninguna de las dos fechas de corte.

Los valores negativos que la coordenada “a” determina son los colores verdes en la escala HunterLab, en ella podemos ver que la calidad de los frutos en cuanto a color se mantuvo constante en los tres tratamientos, aunque los tres se mantuvieron dentro del rango de color deseado (-2 a -22) NMX-FF-025-SCFI-(2007), sin embargo los frutos del tratamiento orgánico-convencional fueron los que tuvieron un color más intenso (-22.11), lo cual resalta cuando obtenemos el índice de color ya que ahí vemos que el orgánico-convencional tiene los valores más altos y según la escala de índice de color los frutos son de una coloración verde profundo, aunque no existe diferencia estadística significativa.

Cuadro 9. Efecto de la fertilización sobre la calidad en el color

Fecha de Corte / Tratamiento	Color			IC
5 de Agosto de 2013	L	a	b	
T1	26.23a	-12.57a	27.76a	-17.56a
T2	24.56a	-11.29a	23.59a	-20.50a
T3	24.85a	-11.48a	22.84a	-19.97a
Valor de F	0.51*	0.09*	0.06*	0.32*
DMS	3.26	1.24	4.45	4.30
20 de Agosto de 2013				
T1	27.15a	-10.92a	21.46ab	-19.48a
T2	28.29a	-11.20a ¹	23.50a	-17.08b
T3	25.61a	-9.76a	17.67b	-22.11a
Valor de F	0.30*	0.06*	0.05**	0.04**
DMS	3.55	1.23	4.62	3.42

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P≤0.05). T1 (orgánico), T2 (convencional) y T3 (orgánico convencional) * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey (P≤0.05).

5.2.3 Grosor, humedad y textura

En el Cuadro 10, se muestra el efecto del manejo orgánico sobre las variables de grosor de pericarpio, humedad y textura. En ella vemos que las variables analizadas no mostraron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las dos fechas de corte, es decir que se obtuvieron frutos con las mismas características, sin embargo en la textura de los frutos para el primer corte se obtuvieron frutos con mayor firmeza (33.08 N*cm²) mientras que para el segundo esta se vio disminuida (25.24 N*cm²), lo cual pudiera llegar a afectar la calidad de los frutos debido a la pérdida de la turgencia de los frutos la cual es una característica deseada en el chile serrano.

Cuadro 10. Efecto de la fertilización en las variables de grosor, humedad y textura

Fecha de Corte	Grosor (mm)	Humedad	Textura (N*cm²)
5 de Agosto de 2013			
T1	2.88a	81.74a	27.80a
T2	2.63a	78.94a	31.94a
T3	2.88a	78.64a	33.08a
Valor de F	0.37*	0.23*	0.22*
DMS	0.42	4.31	4.49
20 de Agosto de 2013			
T1	1.75a	83.25a	23.53a
T2	2.24a	81.28a ¹	25.24a
T3	2.17a	81.12a	24.98a
Valor F	0.10*	0.25*	0.40*
DMS	0.49	3.12	2.87

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 (orgánico), T2 (convencional) y T3 (orgánico convencional) * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

5.2.4 Sólidos solubles totales (SST), pH y acidez titulable (AT)

En cuanto a los sólidos solubles totales (SST) se puede observar en el Cuadro 11 que no existe diferencia significativa dentro de los tres tratamientos, el contenido de SST no se mantiene constante en los dos cortes evaluados ya que en el caso del tratamiento convencional y orgánico-convencional en el primer corte el valor fue mayor mientras que para el segundo disminuyó, aunque para tratamiento orgánico el comportamiento fue contrario, para el primer corte el valor era bajo pero para el segundo este aumento, esto pudo deberse a algún tipo de estrés provocado por el calor dentro del invernadero lo cual ocasiono una mayor acumulación de azúcares en los frutos.

Por otro lado se puede observar que el pH se comporta de acuerdo a la variación de la acidez titulable, ya que aumenta cuando la acidez desciende y

viceversa, lo cual ha sido reportado para algunos frutos y en general este comportamiento se observó en los frutos.

En este caso el tratamiento orgánico-convencional fue el que tuvo la menor acidez y el mayor pH en el primer corte mientras que para el segundo corte el tratamiento orgánico fue el que tuvo un mayor pH y una menor acidez. La disminución o aumento en pH de los frutos, se atribuye al menor o mayor contenido de ácidos orgánicos presentes en forma ionizada en el tejido vegetal (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010).

Cuadro 11. Efecto de la fertilización sobre las variables de pH, SST y acidez

Fecha de Corte	pH	SST	Acidez
5 de Agosto de 2013			
T1	5.47b	7.33b	2.29c
T2	5.59b	9.23a	3.02a
T3	5.91a	9.46a	2.79b
Valor de F	0.01**	0.001**	0.001**
DMS	0.24	0.22	0.03
20 de Agosto de 2013			
T1	6.04a	8.23a	3.03a
T2	5.89b	7.83b ¹	3.16a
T3	6.01ab	7.73b	3.03a
Valor de F	0.02**	0.002**	0.14*
DMS	0.10	0.19	0.15

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 (orgánico), T2 (convencional) y T3 (orgánico convencional) * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

5.2.5 Pérdida de peso e índice de color durante el almacenamiento

En los datos obtenidos para calcular la vida de anaquel podemos observar en la Figura 11, correspondiente a la pérdida de peso que el tratamiento orgánico fue el que perdió más (6.60 %) a lo largo de tiempo, mientras que convencional y

orgánico-convencional tuvieron una pérdida de peso muy similar (4.53-4.81 %), por lo que según con lo reportado por Díaz-Pérez *et al.*, (2006) los frutos del tratamiento orgánico tendrían menos vida de anaquel.

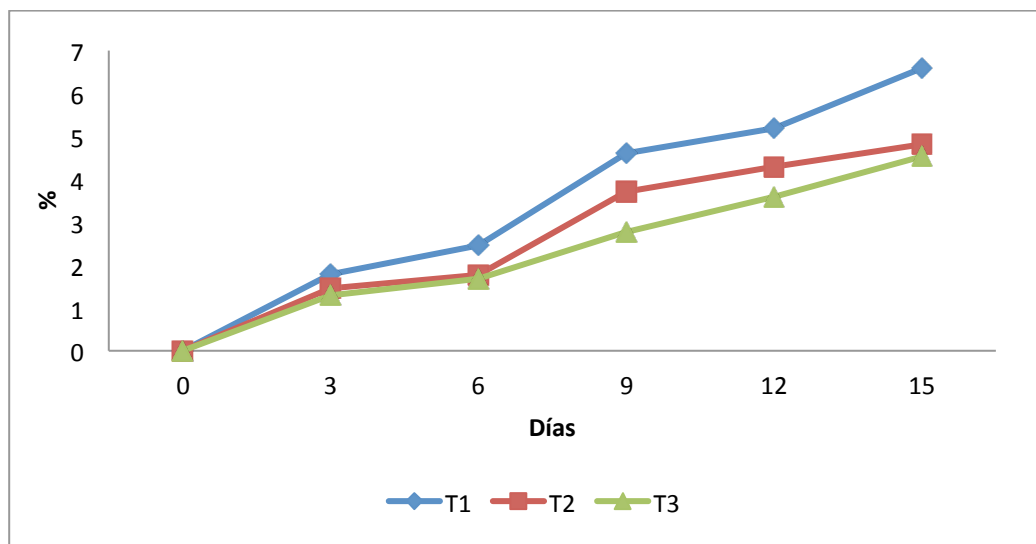


Figura 11. Pérdida de peso (%) en el tiempo (Días). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional y T3 al tratamiento orgánico-convencional.

En cuanto a color el comportamiento de los tres tratamientos fue similar ya que todos tuvieron una caída en el índice de color en el día 7, aunque posteriormente el color de todos los frutos se mantuvo constante y dentro de los parámetros de calidad que indican que la coloración debe de ser verde profundo.

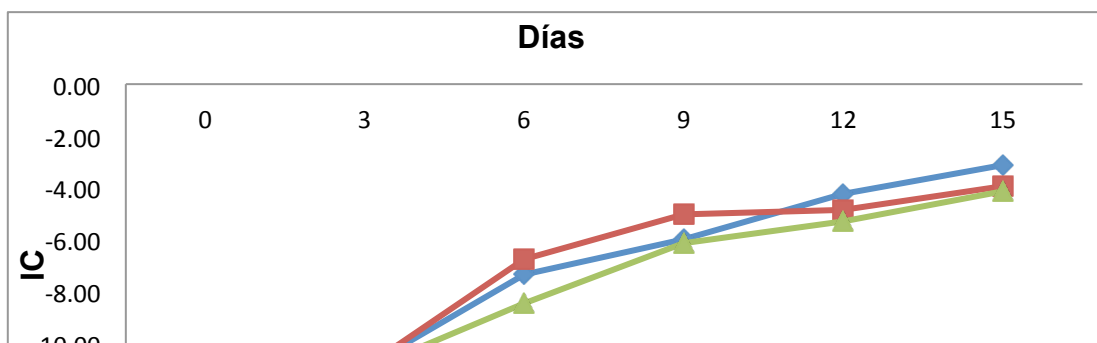


Figura 12. Cambios en el índice de color IC, en el tiempo (Días) de acuerdo al cuadro 6. T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional y T3 al tratamiento orgánico-convencional.

5.3.- Contenido nutrimental

5.3.1 Macro y microelementos

En lo que respecta a los macroelementos y microelementos (Cuadro 12), se observa que para la fecha de corte de 20 de agosto no existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al contenido de Ca, K y Zn. Para el contenido de Cu, Fe, Mg y P es el tratamiento orgánico el que tiene un mayor contenido, en el caso de Mn son los tratamiento convencional y orgánico-convencional los que presentan el mayor contenido, sin embargo es necesario remarcar la importancia del contenido de P, el cual es importante ya que este macro elemento tiene una estrecha relación con el rendimiento total del cultivo de chile, lo cual pudimos comprobar ya que el tratamiento orgánico fue el que presentó mayor contenido de P y mostró los mayores rendimientos.

La capacidad de las plantas para responder adecuadamente a la disponibilidad de nutrientes es fundamental para su adaptación al medio ambiente. Los procesos de desarrollo importantes, tales como la formación de raíces de pelo, crecimiento de la raíz primaria y la formación de raíces laterales, son particularmente sensibles a los cambios en la concentración interna y externa de nutrientes (Marschner *et al.*, 1987).

Los nutrientes del suelo son elementos críticos para el crecimiento de las plantas y la productividad. La biodisponibilidad de los nutrientes en la solución del suelo puede determinar el crecimiento de la raíz, la proliferación de la raíz y las

respuestas funcionales específicas que dependen del estado de los nutrientes que prevalece de la planta.

Cuadro 12. Efecto de la fertilización en el contenido de macro y micro elementos en frutos de chile serrano

Fecha de Corte	Ca ppm	Cu ppm	Fe ppm	K ppm	Mg ppm	Mn ppm	P ppm	Zn ppm
20 de Agosto de 2013								
T1	912.85a	10.33a	76.57a	7512.12a	2253.001a	19.41b	3343.873a	33.03a
T2	985.89a	6.18b	48.92b ¹	7308.14a	2077.56ab	21.71ab	2635.78b	26.66a
T3	997.38a	6.14b	44.30b	6966.08a	1987.71b	23.28a	2503.99b	21.66a
Valor de F	0.94*	0.04**	0.03**	0.82*	0.03**	0.01**	0.003**	0.37*
DMS	735.13	3.60	51.07	2273	142.56	1.49	218.18	18.11

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P≤0.05). T1 (orgánico), T2 (convencional) y T3 (orgánico convencional) * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey (P≤0.05).

5.3.2 Vitamina C

Con respecto al ácido ascórbico (Vitamina C) en el Cuadro 13 se observa, que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, aunque se observa que la concentración de vitamina C en el tratamiento orgánico-convencional es mayor numéricamente (207.82 mg) por lo que los inoculantes pueden tener un efecto positivo. Esto concuerda con Morales Guzmán (2013), quien observó un incremento en el contenido de vitamina C en un cultivo de pimiento morrón inoculado con BPCV con respecto a un testigo sin inocular.

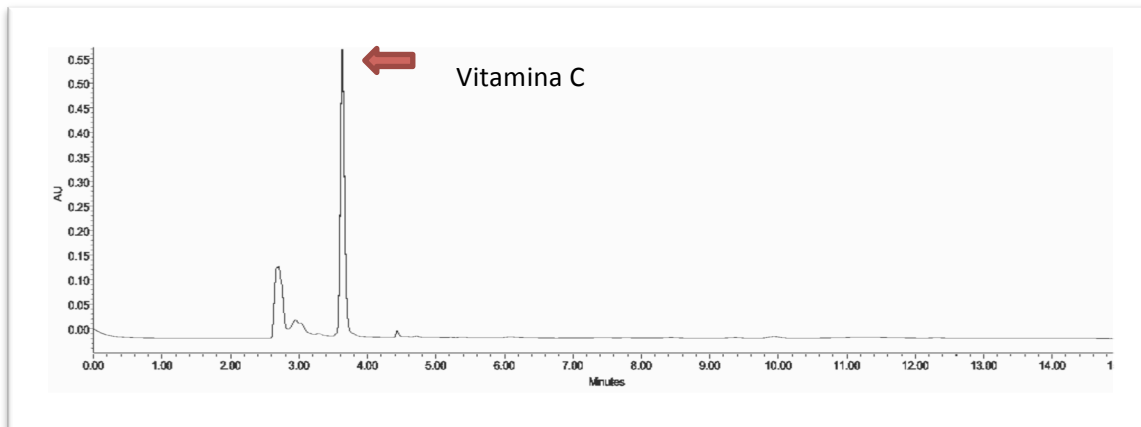


Figura 13. Cromatograma del extracto del tratamiento T1 (orgánico).

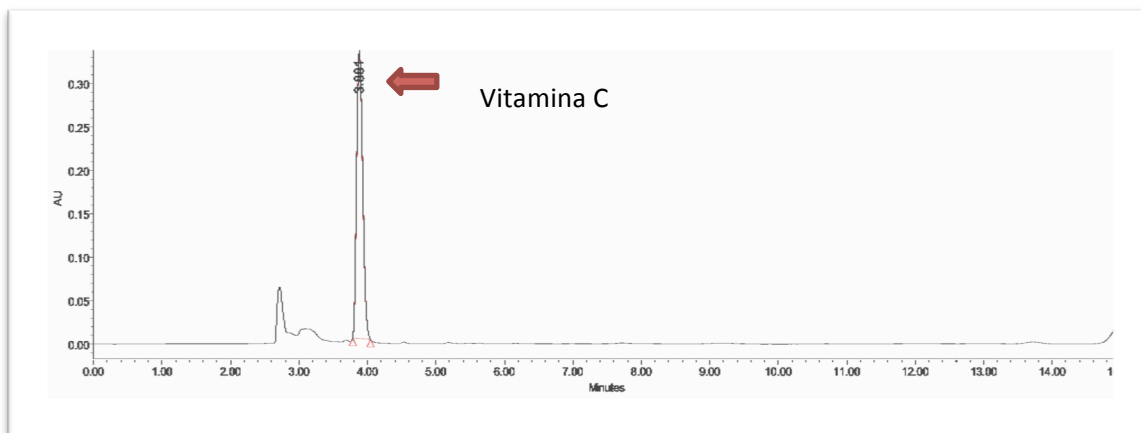


Figura 14. Cromatograma del extracto del tratamiento T2 (convencional).

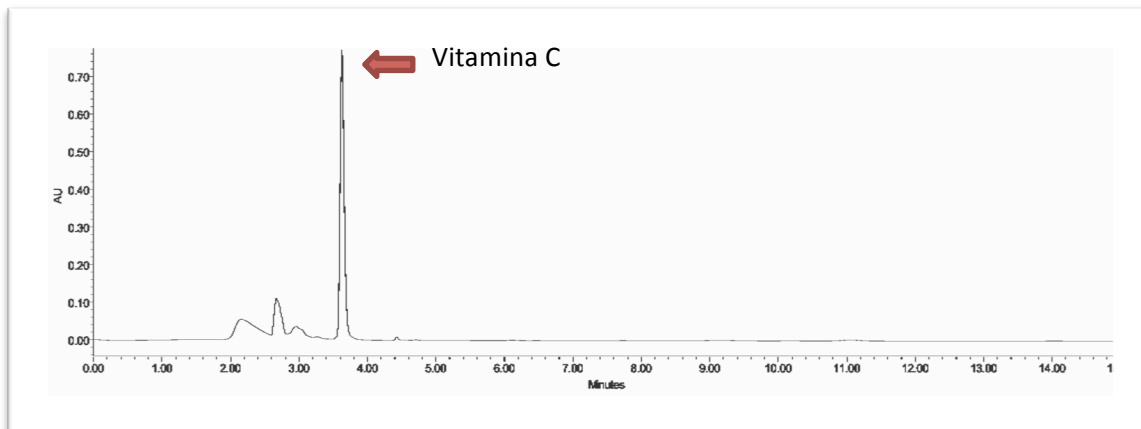


Figura 15. Cromatograma del extracto del tratamiento T3 (orgánico-convencional)

Sin embargo Deepa *et al.*, (2006) concluyen que la concentración de ácido ascórbico depende de factores como el cultivar, las condiciones climáticas así como condiciones de pre y post- cosecha que pueden afectar la composición química de los alimentos vegetales.

Cuadro 13. Efecto de la fertilización en el contenido de vitamina C en frutos de chile serrano

Fecha de Corte	Vitamina c (mg/100 g PF)
20 de Agosto de 2013	
T1	184.7a
T2	206.7a ¹
T3	207.8a
Valor de F	0.85*
DSM	113.33

¹Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 (orgánico), T2 (convencional) y T3 (orgánico convencional) * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

5.4 RESULTADOS Y DISCUSIONES SEGUNDO CICLO

5.5 Producción de plántula

En el Cuadro 14 se muestran los resultados obtenidos en las variables de producción de plántula para el segundo ciclo. Los tratamientos tuvieron el mismo comportamiento con respecto al primer ciclo ya que el manejo convencional y el orgánico convencional muestran los valores más altos en todos los parámetros analizados ya que no hay diferencias significativas entre estos, sin embargo el tratamiento orgánico fue el que tuvo los valores más bajos, lo que se traduce en obtención de plántulas de bajo porte, con poco vigor de crecimiento y poca producción de biomasa.

Cuadro 14. Efecto de la fertilización en la producción de plántulas de chile serrano (segundo ciclo)

Tratamiento	Altura cm	Diámetro cm	Vigor	PF g	PS g
T1	18.05b	0.273b	66.09b	24.14b	3.16b
T2	22.36a	0.311a	71.91a ¹	32.90a	4.29a
T3	22.76a	0.316a	72.09a	32.78a	4.09a
Valor de F	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0025**	0.0001**
DMS	0.85	0.11	3.38	1.19	0.14

¹Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional y T3 al tratamiento orgánico convencional, * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

Estos resultados pueden deberse a la poca biodisponibilidad que presentan los abonos orgánicos en comparación con los abonos químicos, los cuales se solubilizan de una manera más inmediata permitiendo así la rápida absorción por parte de las plantas, lo que se traduce en un mejor crecimiento de las plantas.

Es importante mencionar que en este caso no se incluyó un tratamiento sin ningún tipo de fertilización para la obtención de plántulas debido a que no se hubiesen podido obtener plántulas de calidad ya que su desarrollo no se hubiese llevado a cabo de buena manera, por lo que se decidió utilizar plántulas del tratamiento convencional para llevar a campo y de ahí dejar de fertilizarlas para que se tuviera el tratamiento testigo.

5.6 Cosecha y calidad del fruto

5.6.1 Peso, longitud y diámetro.

En el Cuadro 15, se muestran los resultados obtenidos en el segundo cultivo (campo) para los parámetros de calidad de peso, longitud, diámetro, rendimiento, número de frutos por planta y la clasificación de frutos respecto a la calidad comercial, en dos fechas de corte.

En las dos fechas de corte los datos muestran que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, es decir que mantenemos la misma calidad de los frutos en todos los tratamientos. Sin embargo en el segundo corte el rendimiento de aumentos en todos los frutos notablemente, además de que la calidad se homogenizó en todos los tratamientos.

Haciendo una comparación de los resultados obtenidos para invernadero y campo se puede observar que el peso y el diámetro de los frutos aumento bajo las condiciones de campo, lo cual influyo sobre el rendimiento. La disminución del rendimiento en el invernadero pudo deberse a las condiciones adversas que se presentaron como las altas temperaturas las cuales llegaron a 49 °C ocasionando el aborto de frutos y flores e influyendo directamente en el rendimiento.

En el caso del testigo que no fue abonado con ningún tipo de fertilizante se observa que los frutos obtenidos son de buena calidad lo cual pudo deberse a un buen contenido de nutrientes en el suelo, suficientes para mantener el desarrollo y la productividad de las plantas.

Otro factor que pudo haber intervenido es el del cruce de fertilización ya que en campo es más difícil mantener las condiciones controladas, los abonos utilizados para la fertilización de los demás tratamientos pudo llegar por diferentes medios a las plantas en las cuales no se quería aplicar abono, lo cual pudo influir en el desarrollo y la productividad de estas plantas.

Con el número de frutos por planta podemos ver que en el primer corte el tratamiento testigo tuvo un mayor número de frutos lo cual ayudo a mejorar su rendimiento al igual que el tratamiento orgánico, sin embargo vemos que en el tratamiento convencional el número de frutos por planta fue menor, pero el tamaño de estos era más grande que en los demás tratamientos lo que ayudo a compensar el rendimiento, es importante mencionar que al tener frutos más grandes se obtuvieron más frutos de calidad extra en comparación con el resto de los tratamientos los cuales mantienen la mayoría de sus frutos dentro de la primera calidad.

En el segundo corte podemos ver que el número de frutos por planta se homogenizo en los tratamientos tres tratamientos dichos tratamientos siguieron manteniendo la calidad de la mayoría de sus frutos, mientras que el testigo sin fertilización disminuyo la calidad de los frutos colocando una mayor cantidad dentro de la segunda calidad, sin embargo el peso de sus frutos aumento lo cual compenso la disminución de número de frutos por planta manteniendo un buen rendimiento.

Cuadro 15. Efecto de la fertilización sobre las variables agronómicas del chile serrano (campo)

Fecha de Corte / Tratamiento	Peso	Longitud	Diámetro	Rendimiento	# de frutos	Calidad (%)		
	g	cm	cm	Kg/m ²	por planta	Segunda	Primera	Extra
27 de Mayo de 2014								
T1	9.52a	5.57a	1.42a	0.2327a	1.92b	2.34	78.34	19.32
T2	11.15a	6.94a	1.61a	0.1840a	1.68c	2.98	51.37	45.65
T3	9.23a	5.79a	1.35a	0.3367a	1.98b	4.03	73.51	22.46
T4	7.02a	4.24a	1.07a	0.3123a	2.18a	12.43	81.12	6.45
Valor de F	0.37*	0.26*	0.44*	0.19*	0.0001			
DSM	0.80	3.27	0.80	1.47	0.14			
12 de Junio de 2014								
T1	8.79a	6.39a	1.68a	1.58a	2.77a	11.33	67.34	21.33
T2	9.02a	6.61a	1.64a	1.53a	2.8a	5.16	79.51	15.33
T3	8.80a	6.55a	1.64a	1.67a ¹	2.67ab	10.73	68.22	21.05
T4	9.33a	6.56a	1.65a	1.78a	1.99b	14.92	75.63	9.45
Valor de F	0.87*	0.83*	0.87*	0.94*	0.02**			
DSM	1.82	0.59	0.15	1.04	0.21			

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P≤0.05).

T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico convencional y T4 al testigo, * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey (P≤0.05).

5.6.2 Color

Los resultados en la variable de color en el segundo ciclo se presentan en el Cuadro 16, donde se observa que los tratamientos orgánico y convencional son los que muestran los valores más altos para las coordenadas de color “L”, “b”, en cada una de las fechas de los cortes que se realizaron, en el caso de la coordenada “a” en los primeros dos cortes no hubo diferencia significativa entre los tratamientos, pero en último corte el tratamiento orgánico fue el que obtuvo el valor más alto, con lo que podemos decir que todos los frutos tienen una buena calidad en cuanto a color.

Con los datos obtenidos del índice de color podemos observar que en el cultivo en campo tuvimos una baja en la calidad del color de los frutos en general, ya que aunque se encuentran en el límite del rango de calidad en el primer y segundo corte, para el tercero el color cayó hasta un color amarillo verdoso en todos los tratamientos, lo cual no es deseado por el consumidor.

Esta variación tan grande en cuanto a color se pudo deber a la exposición directa al sol de los frutos en comparación a los resultados obtenidos en el cultivo dentro del invernadero en los cuales había una barrera que impedía el contacto de los rayos de sol directamente con los frutos.

Cuadro 16. Efecto de la fertilización sobre la calidad en el color

Fecha de Corte	Color			IC
27 de Mayo de 2014	L	a	b	
T1	28.77a	-11.89a	18.61a	-2.22a
T2	27.61b	-11.73a	18.43a	-2.3a
T3	28.26a	-11.81a	18.57a	-2.25a
T4	27.48b	-10.96b	17.32b	-2.31a
Valor de F	0.002**	0.04**	0.04**	0.08*
DSM	0.21	0.11	0.06	0.18
12 de Junio de 2014				
T1	25.6a	-11.29a	23.97a	-1.83b
T2	25.48a	-11.48a ¹	23.59a	-1.9b
T3	24.56a	-11.57a	22.84b	-2.06a
T4	25.2a	-10.56b	20.69c	-2.02a
Valor de F	0.06*	0.04**	0.0001**	0.025*
DSM	0.34	0.17	0.08	0.22

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico convencional y T4 al testigo, * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

5.6.3 Grosor y Humedad

En el Cuadro 17 se muestra el efecto del manejo orgánico sobre las variables de grosor y humedad en ciclo de campo. La variable de humedad no muestra cambios en las dos fechas de corte, es decir que se obtuvieron frutos con las mismas características, sin embargo el grosor fue una variable que no se mantuvo constante, el tratamiento orgánico-convencional fue el que tuvo un mayor grosor de pericarpio (2.38 mm) en el corte uno mientras que para el corte dos fue (1.86 mm) siendo este mismo tratamiento el del mejor resultado.

Si comparamos estos resultados con lo de campo podemos notar que en este caso el testigo fue el que tuvo el mayor grosor de pericarpio lo cual se puede deber a la influencia que pudieron tener las bacterias promotoras del crecimiento al brindar un mayor aporte de nutrientes a las plantas.

Cuadro 17. Efecto de la fertilización en las variables de grosor y humedad

Fecha de Corte	Grosor	Humedad
27 de Mayo de 2014	mm	%
T1	1.61b	84.55a
T2	1.56b	84.03a
T3	2.38a	83.96a
T4	2.15a	83.57a
Valor de F	0.0001**	0.29*
DSM	0.39	1.31
20 de Junio de 2014		
T1	1.73ab	83.89a
T2	1.61b ¹	83.09a
T3	1.86a	84.10a
T4	1.7ab	83.94a
Valor de F	0.04**	0.45*
DMS	0.22	1.85

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico convencional y T4 al testigo, * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

5.6.4 SST, pH Y acidez titulable

En el Cuadro 18 se puede observar que el pH se comporta de acuerdo a la variación de la acidez titulable, ya que aumenta cuando la acidez desciende y viceversa, lo cual ha sido reportado para algunos frutos y en general este

comportamiento se observó en los frutos, sin embargo no se encontraron diferencias significativas dentro del primer corte. En el segundo corte es el tratamiento testigo en el que se obtienen los mejores resultados para estas variables.

En cuanto a los sólidos solubles totales (SST) se puede observar en el Cuadro 18 que existe una diferencia entre los tratamiento orgánico y convencional con el resto de los tratamientos, en el primer corte es el orgánico el que tiene mayor contenido, mientras que para el corte dos es el convencional el de mayor contenido. La disminución o aumento en pH de los frutos, se atribuye al menor o mayor contenido de ácidos orgánicos presentes en forma ionizada en el tejido vegetal (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010).

Cuadro 18. Efecto de la fertilización sobre las variables de pH, SST y Acidez

Fecha de Corte	pH	SST	Acidez
27 de Mayo de 2014			
T1	5.91a	8.16a	3.06a
T2	6a	7.63b	2.7a
T3	6.03a	7.46b	2.7a
T4	6a	7.66b	2.9a
Valor de F	0.13*	0.008**	0.06*
DMS	0.13	0.42	0.37
12 de Junio de 2014			
T1	5.81b	7.6ab	3.03a
T2	5.94a ¹	8.03a	2.63b
T3	5.74b	7.33b	3.1a
T4	5.99a	7.4b	3.1a
Valor de F	0.0001**	0.01**	0.003
DMS	0.07	0.47	0.27

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico convencional y T4 al testigo, * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

5.6.5 Pérdida de peso e índice de color durante el almacenamiento

En los datos obtenidos para calcular la vida de anaquel podemos observar en la figura 16 correspondiente a la pérdida de peso que el tratamiento orgánico fue el que perdió más peso (6.63 %) a lo largo de tiempo, mientras que convencional y orgánico-convencional tuvieron una pérdida de peso muy similar (5.90 %), sin embargo el tratamiento con mejor resultado en cuanto a pérdida de peso fue el testigo ya que este fue el que tuvo la menor disminución (5.46) por lo que según con lo reportado por Díaz-Pérez *et al.*, (2006) los frutos del tratamiento testigo tendrían más vida de anaquel y los del tratamiento orgánico serían los frutos más perecederos. Estos resultados son parecidos a los del primer ciclo ya que nuevamente el orgánico volvió a ser el tratamiento más susceptible al deterioro, pero en este caso no fueron los tratamientos convencional y orgánico-convencional los del mejor resultado sino el testigo, esto pudo deberse a distintos factores de estrés presentes en este tratamiento.

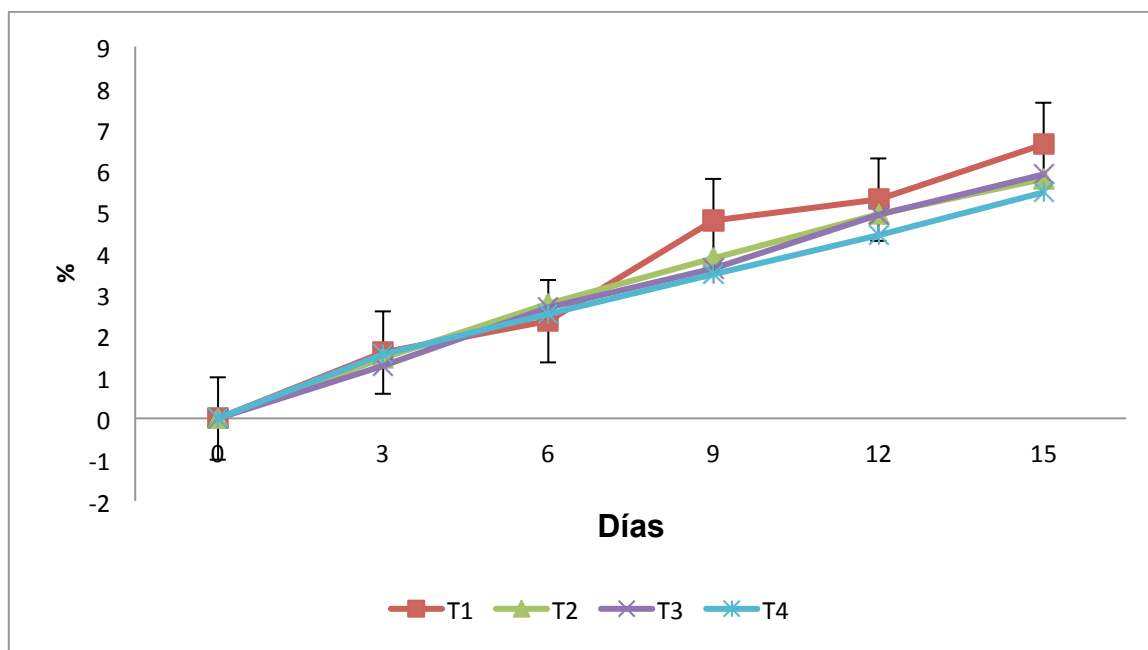


Figura 16 . Pérdida de peso (%) en el tiempo (Días). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico-convencional y T4 al testigo.

Sin embargo en cuanto a índice de color el comportamiento del tratamiento testigo cambio (Figura 17) ya que no pudo mantener ese color verde profundo característico del chile serrano ya que se acercó al igual que el orgánico a un color amarillo verdoso no deseado en la calidad de los frutos. La pérdida de color fue gradual y no se presentó una estabilización del color, por lo que podemos decir que la vida de anaquel de estos frutos es menor a los obtenidos bajo condiciones de invernadero.

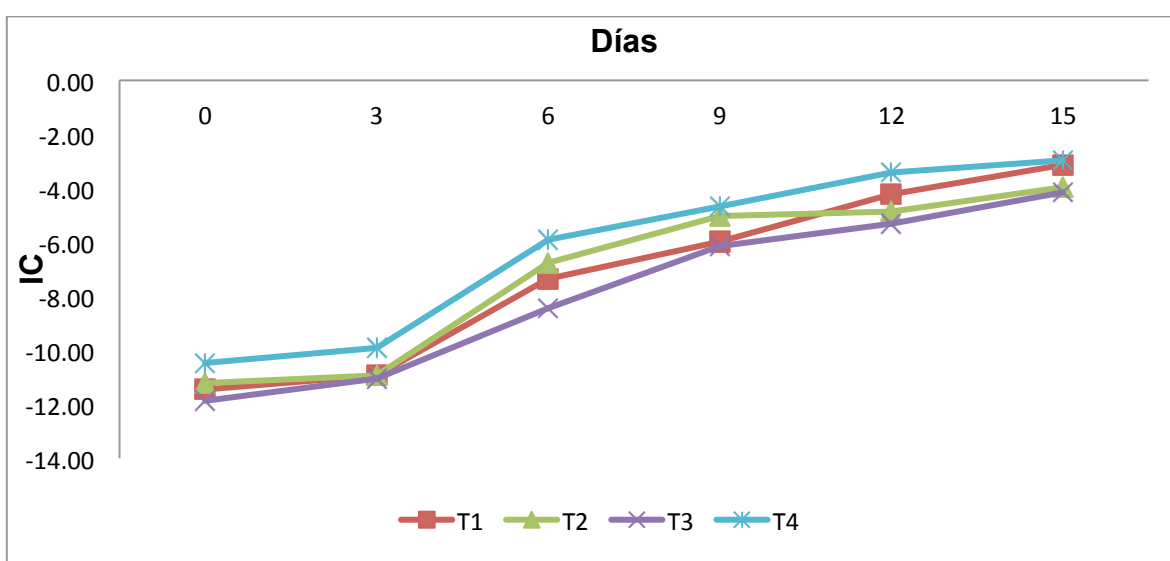


Figura 17. Cambios en el índice de color (IC) en el tiempo (Días) de acuerdo al Cuadro 6. T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico-convencional y T4 al testigo.

5.7.- Contenido nutrimental segundo ciclo

5.7.1 Grasas y proteínas

En el Cuadro 19 se observan los resultados obtenidos en cuanto al contenido de grasas y de proteínas en los frutos de chile. En el contenido de grasas se observa que el tratamiento orgánico-convencional fue el que obtuvo el mejor resultado al encontrar un 0.76 g de proteína en 100 gramos de chile fresco, lo cual se pudo deber al efecto benéfico de las BPCV en las plantas ya que el contenido de éstos está relacionado con el aporte de nitrógeno que estas pueden dar a la

planta (Akbari *et al.*, 2011). En segundo lugar encontramos al tratamiento testigo con 0.60 g de proteína en 100g de chile fresco, en este caso el contenido de grasas pudo haber aumentado debido al estrés nutricional en el que se encontraban las plantas.

En el caso de las proteínas vemos un comportamiento similar al de los lípidos, ya que el tratamiento orgánico-convencional fue el que tuvo el valor numérico más alto (1.58% en 100g de chile fresco) sobre los otros tres tratamientos, aunque estadísticamente no hubo diferencias. Aquí la relación que tiene la aplicación adecuada de nitrógeno en el suelo con el contenido de proteínas es muy estrecha, ya que si se hacen las aplicaciones adecuadas de nitrógeno podemos aumentar el contenido proteico de los frutos obtenidos, en este caso el orgánico-convencional incluía a las BPCV las cuales ha sido caracterizadas como fijadoras de nitrógeno (Luna *et al.*, 2013) lo que pudo ayudar a que este tratamiento tuviese un alto contenido proteico.

Cuadro 19. Efecto de la fertilización sobre las variables de lípidos y proteínas

Tratamiento	g de grasas en 100 g de chile	% Proteína en 100 g de chile
T1	0.45b	1.26b
T2	0.20c	1.28b ¹
T3	0.76a	1.58a
T4	0.60ab	1.32ab
Valor de F	0.0001**	0.04**
DMS	0.16	0.59

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico convencional y T4 al testigo, * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

5.7.2 Determinación de vitamina C

En la determinación del ácido ascórbico (Vitamina C) se observa (Cuadro 20) que existe un efecto positivo en la concentración de ácido ascórbico (mg de A.A./100 g MF) en los tratamientos orgánico y orgánico-convencional (196.1 mg, 195.79 mg), mientras que el tratamiento convencional y testigo tuvieron una concentración menor (162.86 y 187.01 mg), aunque se observa que la concentración de vitamina C en el tratamiento orgánico-convencional es mayor que en el convencional por lo que los inoculantes pueden tener un efecto positivo. El tratamiento orgánico-convencional tuvo un contenido similar al tratamiento orgánico siendo los dos con mayor contenido, sin embargo en el caso del tratamiento orgánico-convencional esto se puede deber a las diferentes condiciones de estrés que se presentaron durante el desarrollo de la planta, ya que si comparamos estos resultados con los obtenidos en el invernadero podemos ver nuevamente como el estrés juega un papel importante en la calidad nutricional de los frutos ya que nuevamente el tratamiento testigo sobresalió con respecto al tratamiento convencional. Esto concuerda con lo reportado por Morales Guzmán (2013), quien observó un incremento en el contenido de vitamina C en un cultivo de pimiento morrón inoculado con BPCV con respecto a un testigo sin inocular.

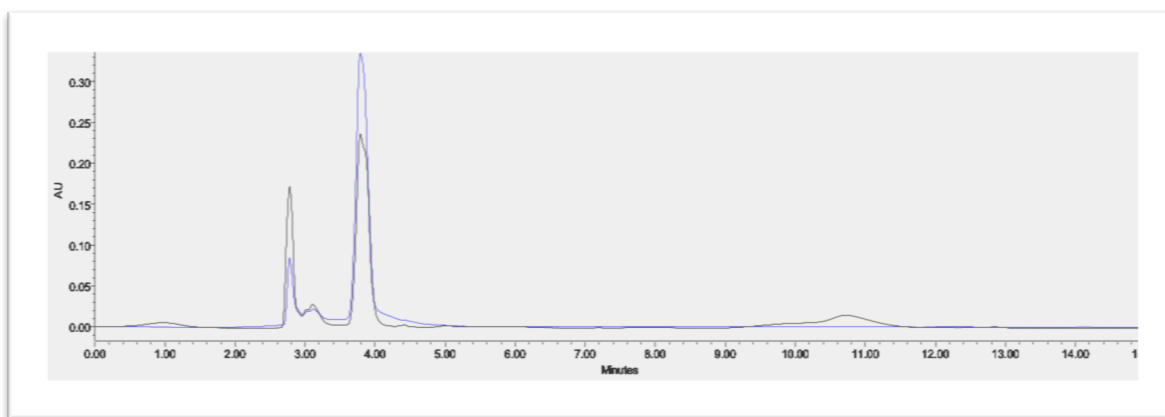


Figura 18. Cromatograma del extracto del tratamiento T2 (convencional) en coelución con el estándar de vitamina C para la verificación de la lectura

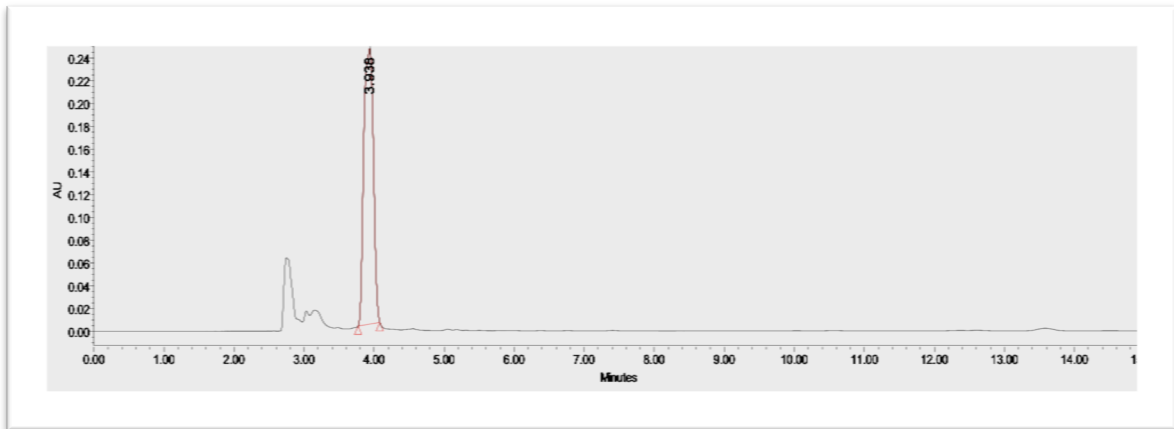


Figura 19. Cromatograma del extracto del tratamiento T1 (orgánico).

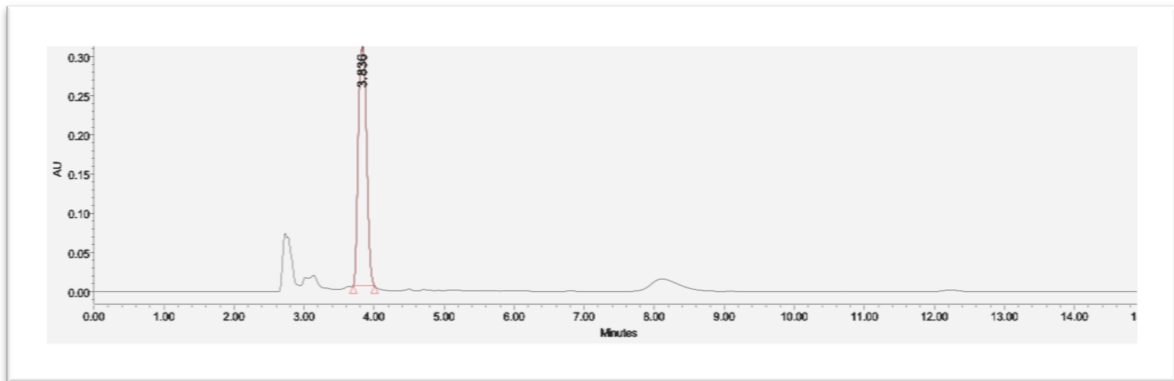


Figura 20. Cromatograma del extracto del tratamiento T3 (orgánico-convencional)

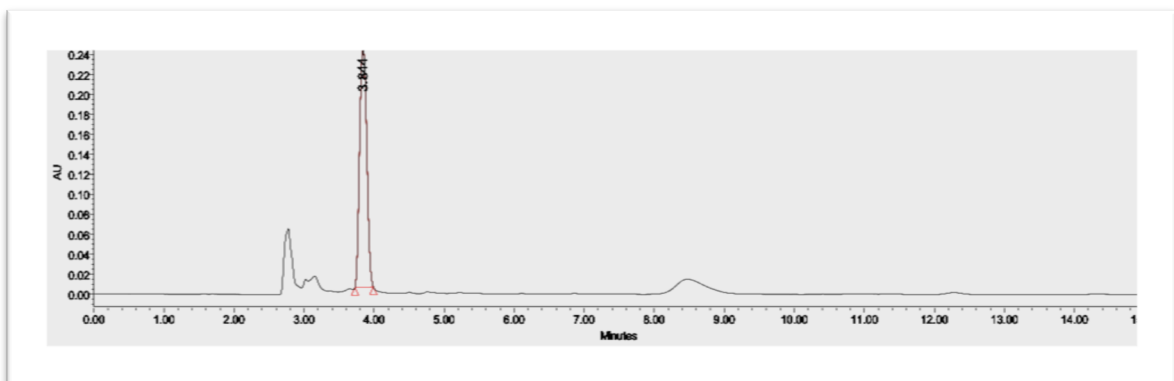


Figura 21. Cromatograma del extracto del tratamiento T4 (testigo)

Sin embargo Deepa *et al.*, (2006) concluye que la concentración de ácido ascórbico depende de factores como el cultivar, las condiciones climáticas así como condiciones de pre y post- cosecha que pueden afectar la composición química de los alimentos vegetales.

Cuadro 20. Efecto de la fertilización en el contenido de vitamina C en frutos de chile serrano

Tratamiento	Vitamina C (mg/100 g PF)
T1	196.11a
T2	162.86a ¹
T3	195.79a
T4	187.01a
Valor de F	0.08*
DMS	35.71

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico convencional y T4 al testigo, * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

5.7.3 Determinación de vitamina A

En el Cuadro 21 observamos que el contenido de vitamina A fue mayor en el tratamiento orgánico-convencional con 245.87 U.I./100 g PF, seguido del orgánico con 232.86 U.I./100 g PF, mientras que el convencional y el testigo fueron los que tuvieron los contenidos más bajos (176.08 U.I./100 g PF y 164.16 U.I./100 g PF) . Sin embargo estos resultados están lejos de lo que se reporta en la literatura con respecto al contenido de vitamina A en los frutos de chile serrano la cual es cercana a los 1000U.I./ 100g PF (Inforural, 2014).

El contenido de esta vitamina pudo haber sido influenciado por diferentes factores como los precosecha, en los que destacan la temperatura y la intensidad de luz, ya que este compuesto bioactivo es muy susceptible a estos factores

(Howard *et al.*, 2002). Otro de los factores importantes que pudo haber intervenido en el contenido de esta vitamina es el estado fisiológico del fruto, en un estudio realizado en cuatro estadios de madurez de pimiento dulce demostró que el contenido de vitamina C, carotenoides y provitamina A, estaban notablemente influenciados por el estado fisiológico del fruto, ya que frutos cortados con una mayor madurez fisiológica mostraban un menor contenido de compuestos bioactivos (Marín *et al.*, 2004).

Cuadro 21. Efecto de la fertilización en el contenido de vitamina A en frutos de chile serrano

Tratamiento	Vitamina A (U.I./100 g PF)
T1	232.86b
T2	176.08c
T3	245.87a
T4	164.16d
Valor de F	0.0001**
DMS	8.3

¹ Valores con diferente letra dentro de columnas, son estadísticamente significativos con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico convencional y T4 al testigo, * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

5.7.4 Fenoles totales

En el Cuadro 22 se muestra el contenido de fenoles totales en muestras de los tres tratamientos, se observa la gran variación que hay entre los cuatro tratamiento dentro del que destaca el orgánico-convencional por tener el mayor valor (613.89 mg de ácido gálico/100 g de muestra fresca), mientras que el testigo es el tratamiento con el valor más bajo (547.05 mg eq. de ácido gálico/100 g de muestra fresca).

Cuadro 22. Efecto de la fertilización en el contenido de fenoles totales en frutos de chile serrano

Tratamiento	*mg de ácido gálico/100 g de muestra fresca
T1	577.87a
T2	548.62a
T3	613.89a
T4	547.05a
Valor de F	0.09*
DMS	73.79

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico convencional y T4 al testigo, * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

Gnayfeed *et al.*, (2001), señala que el contenido de fenoles totales se debe principalmente al estado de maduración del fruto, así como por tipo el cultivar. Se ha reportado una fuerte relación del contenido de fenoles totales y actividad antioxidante en frutas y hortalizas frescas (Barbagallo *et al.*, 2012).

Sin embargo el contenido de fenoles totales se asocia también a diferentes reacciones dentro de las plantas producidas por diversas circunstancias como el estrés causado por ataque de patógenos, irradiación UV, daños mecánicos, deficiencia de algún nutriente, la temperatura y los tratamientos culturales, los cuales pueden llegar a afectar el contenido final de fenoles totales de los frutos (Solecka, 1997).

Dixon y Paiva (1995), mencionan que los diferentes tipos de compuestos fenólicos son inducidos en las plantas por diversos tipos de estrés bióticos y abióticos, uno de ellos es el estrés nutricional ocasionado por deficiencia de fosforo, lo cual es importante en este cultivo ya que el fosforo es el nutriente esencial en el desarrollo del chile.

5.7.5 Capacidad Antioxidante

5.7.5.1 Método FRAP

Después de realizar el ensayo de FRAP con los extractos de las muestras de cada uno de los tratamientos, se evaluó la cinética de reacción de las muestras y el reactivo de FRAP durante 0, 4, 10, 30, 60 y 90 minutos, considerando las absorbancias del minuto 60 para fines de cuantificación. En la gráfica se observa que a los 90 minutos se alcanza el punto máximo de reacción. De los extractos de cada uno de los tratamientos, el orgánico-convencional y convencional mostraron la mayor capacidad de reducción férrica ya que ambos presentan la mayor absorbancia al momento de la evaluación a los 60 min.

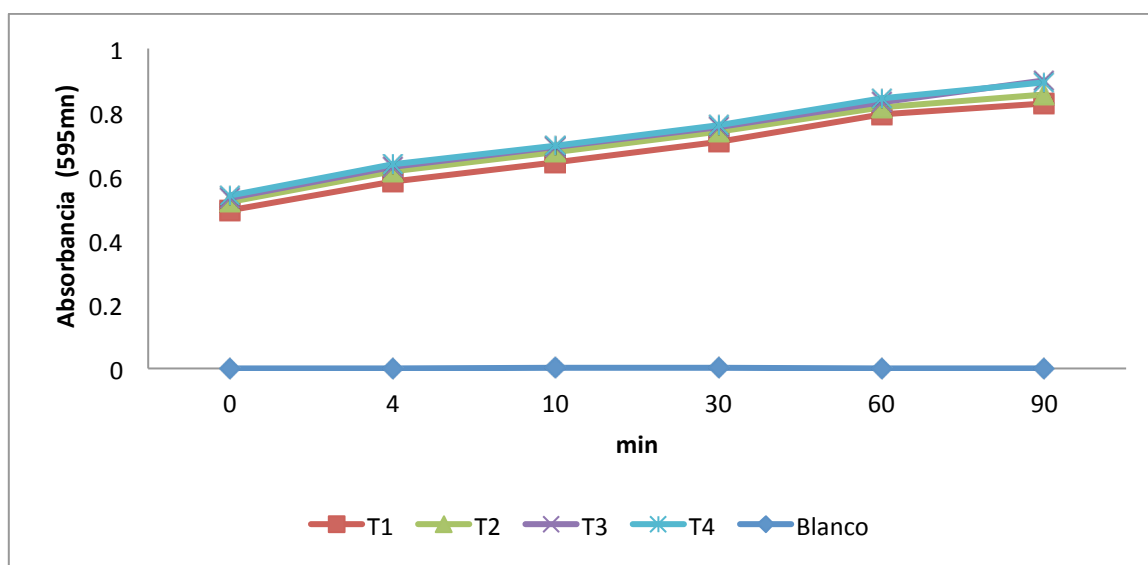


Figura 22. Cinética de FRAP para los extractos de cada uno de los tratamientos determinada a 595nm. T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico-convencional y T4 al testigo

En el cuadro 23 se muestran los resultados de la capacidad reductora que mostraron cada uno de los tratamientos.

Cuadro 23. Capacidad reductora de los extractos de chile de cada uno de los tratamientos determinada por el ensayo FRAP

Tratamiento	$\mu\text{mol Eq. de FeSO}_4/100\text{g de chile fresco}$
T1	1522.28a
T2	1754.96a ¹
T3	1886.96a
T4	1724.75a
Valor de F	0.08*
DMS	339.55

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico convencional y T4 al testigo, * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

Se puede observar que de los tres tratamientos, el orgánico-convencional fue el que presentó mayor capacidad reductora (1886.96 $\mu\text{mol Eq. de FeSO}_4$) mientras que el tratamiento con la menor capacidad reductora fue el orgánico (1522.28 $\mu\text{mol Eq. de FeSO}_4$) aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas. Aquí nuevamente podemos ver el efecto de las bacterias promotoras del crecimiento, ya que los tratamientos convencional y orgánico-convencional se fertilizaron de la misma manera, al orgánico-convencional se le incluyeron las BPCV, las cuales pudieron llegar a tener un efecto benéfico en la capacidad antioxidante de este tratamiento, ya que esta depende de las diferentes condiciones en las que se llevó a cabo el cultivo, la cosecha, el estado de madurez al corte del fruto, así como las prácticas y manipulaciones poscosecha (Álvarez-Parrilla *et al.*, 2011).

5.7.5.2 Ensayo ABTS

Se realizó la evaluación de la capacidad antioxidante de cada uno de los tratamientos, expresada en equivalentes de Trolox (TEAC) utilizando el radical ABTS⁺. Las lecturas se realizaron a temperatura ambiente y en condiciones de oscuridad para evitar la degradación de los metabolitos secundarios evaluados.

Se puede observar que el tratamiento orgánico fue el que mostro mayor facilidad para atrapar el radical ABTS⁺. (Cuadro 24)

Cuadro 24. Capacidad antioxidante de los extractos de chile de cada uno de los tratamientos, determinada por el ensayo ABTS

Tratamiento	% de inhibición	µmol Eq. De Trolox/100g de chile fresco
T1	66.17a	857.40a
T2	40.31c	921.21a
T3	54.84b	728.19a ¹
T4	65.72a	713.17a
Valor de F	0.04**	0.58*
DMS	23.55	465.05

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P≤0.05). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico convencional y T4 al testigo, * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey (P≤0.05).

Los resultados obtenidos expresados µmol Eq. De Trolox se muestran en el Cuadro 25, de igual manera se reporta el porcentaje de inhibición que presentó cada tratamiento. El tratamiento convencional obtuvo 921.21 µmol Eq. De Trolox/100g de chile fresco, inhibiendo el radical ABTS⁺ en un 40.31%, seguido del tratamiento orgánico que tuvo 857.42 µmol Eq. De Trolox/100g de chile fresco y una inhibición del 66.18% siendo este tratamiento el de mejores resultados.

Álvarez-Parrilla *et al.* (2011) evaluaron la capacidad antioxidante de extractos de cultivares de *Capsicum* de las variedades jalapeño y serrano en estado fresco, mostrando valores de 47.87 $\mu\text{mol Eq. De Trolox/g}$, por lo que la mayoría de los frutos obtenidos tienen un valor mayor que lo reportado.

La variabilidad en la actividad antioxidante en los frutos del género *Capsicum* tiene diferentes factores involucrados en los cuales encontramos, las diferencias propias de cada cultivar, a las características particulares del suelo o sustrato, la calidad del agua de riego, el estado de madurez de los frutos en el momento de la cosecha y todas las manipulaciones que estos sufren en la poscosecha (Álvarez-Parrilla *et al.*, 2011)

5.7.6 Determinación de capsaicina

Se realizó el análisis del contenido de capsaicina por HPLC, en el cual se inyectaron los estándares de capsaicina y dihidrocapsaicina a una concentración 1mg/ml en la columna para su análisis (Figura 23). Se observa que el estándar de capsaicina presenta un pico al minuto 8 y el estándar de dihidrocapsaicina muestra un pico característico al minuto 10.8.

Posteriormente se procedió a inyectar los extractos de cada uno de los tratamientos para analizarlos, sin embargo los picos característicos de los compuestos se encontraban en concentraciones muy bajas (Figura 24, 25, 26 y 27) por lo cual se determinó que la técnica de HPLC no tuvo el nivel de sensibilidad adecuado para la detección de estos compuestos.

Es por esto que se decidió evaluar el contenido de capsaicina por un método electroquímico el cual es más eficiente, para así determinar el contenido de este compuesto en las muestras.

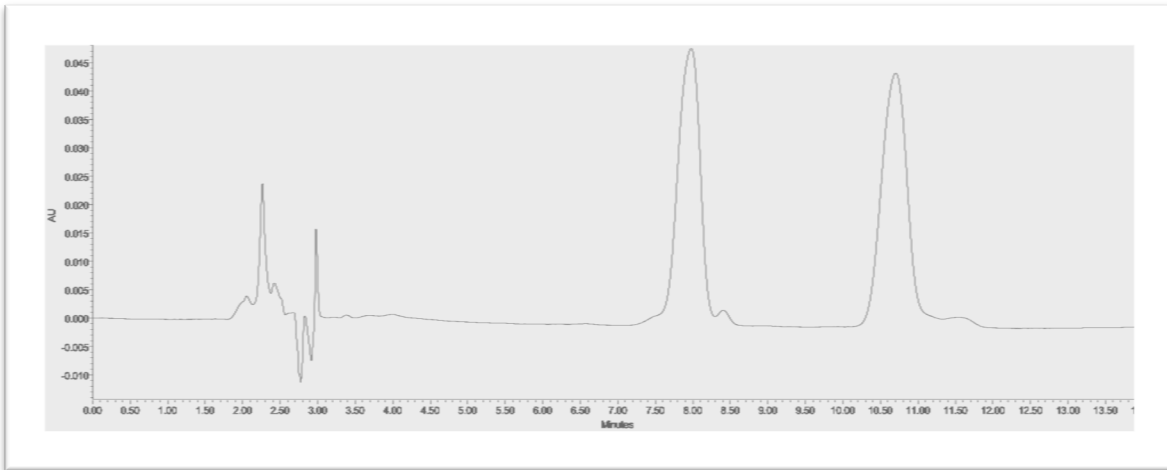


Figura 23. Cromatograma de los estándares de capsaicina y dihidrocapsaicina.

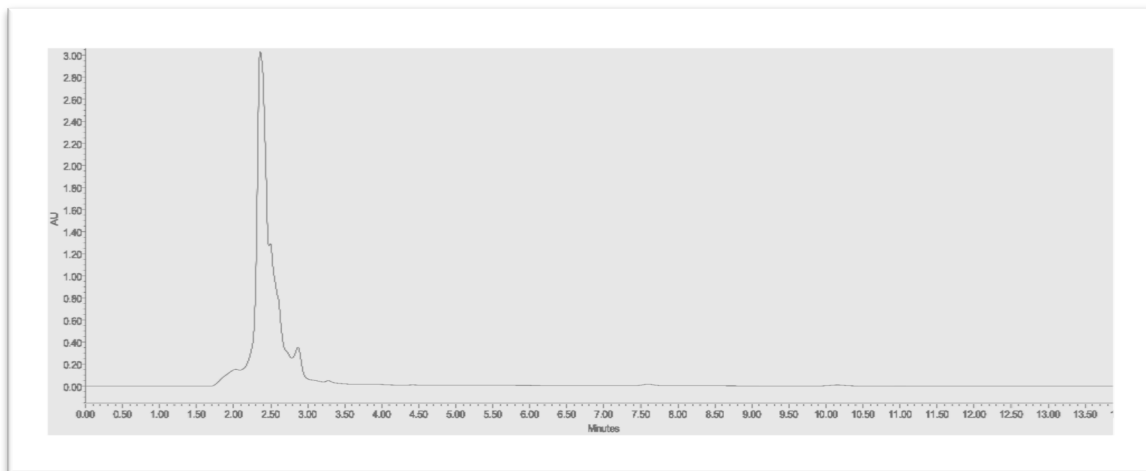


Figura 24. Cromatograma del extracto del tratamiento T1 (orgánico).

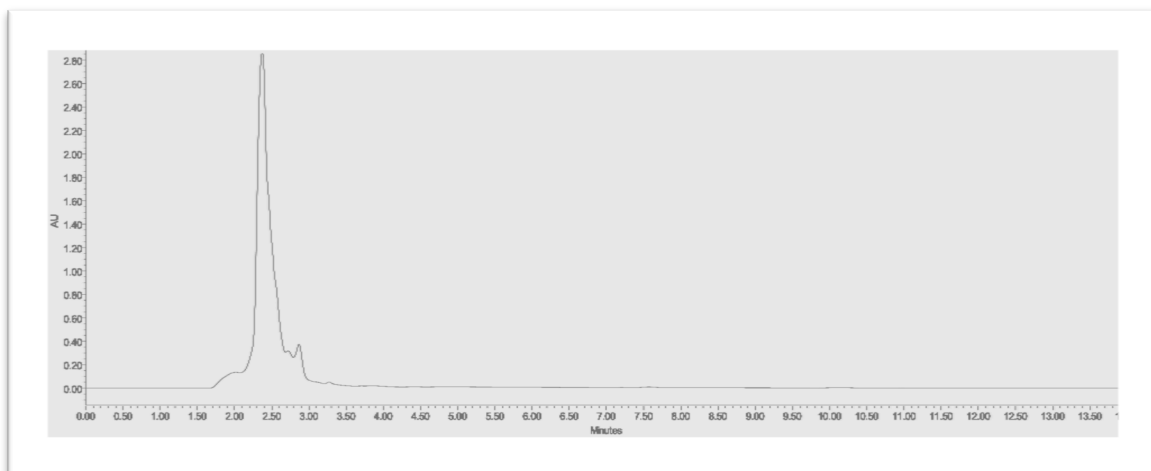


Figura 25. Cromatograma del extracto del tratamiento T2 (convencional).

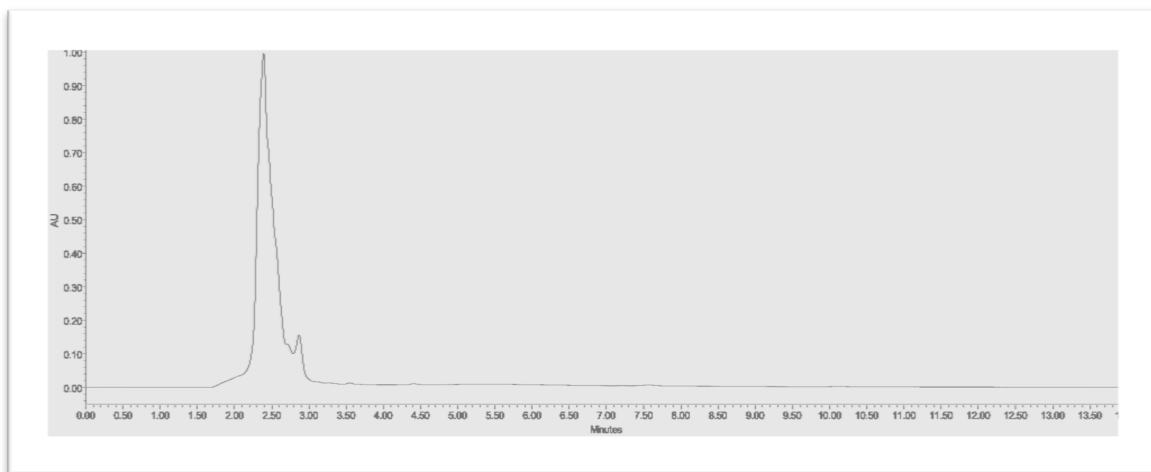


Figura 26. Cromatograma del extracto del tratamiento T3 (orgánico-convencional).

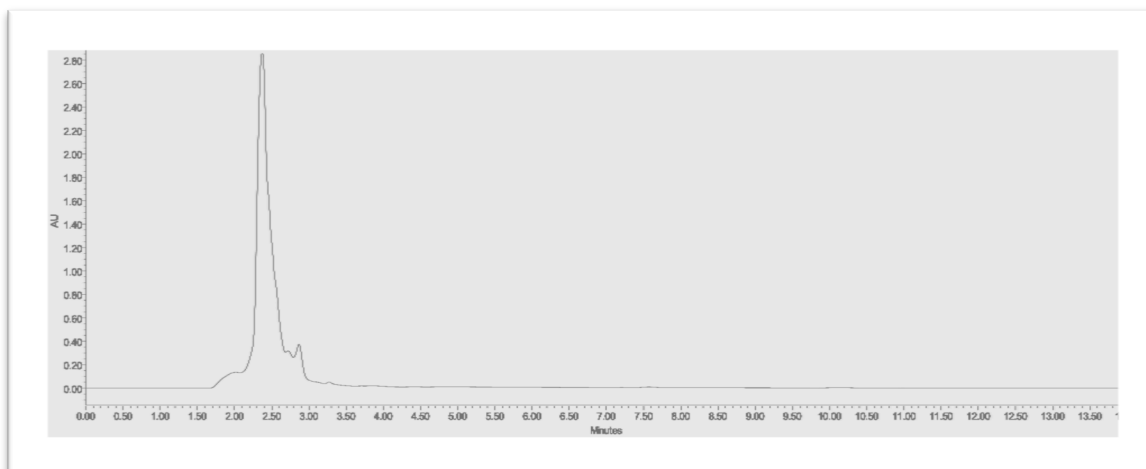


Figura 27. Cromatograma del extracto del tratamiento T4 (testigo).

5.7.8 Voltamperometría

Debido a la poca efectividad mostrada dentro del análisis para la cuantificación de capsaicina se evaluó un método de análisis más fino y sensible. La voltamperometría es un método electroanalítico muy sensible que utiliza electrodo serigrafiados de pared múltiple de nanotubos de carbono. Esta técnica se ha venido utilizando recientemente para la determinación de compuestos que requieren una mayor sensibilidad para su detección, desplazando así a la cromatografía líquida de alta resolución debido a que esta nueva técnica es más eficiente y de menor costo (Torabi *et al.*, 2008)

La Figura 28 muestra el voltamperograma característico del estándar de capsaicina, este voltamperograma representa la curva de calibración realizada para la cuantificación del compuesto en diferentes concentraciones. Las figuras 29, 30, 31 y 32 muestran los voltamperogramas obtenidos con los extractos de las muestras de cada uno de los tratamientos, los cuales fueron con el estándar de capsaicina. En la figura 28 se relaciona la señal cíclica voltamperométrica y electroactiva de la capsaicina con la concentración del compuesto. La corriente está relacionada directamente con la concentración de la capsaicina, mientras que el potencial se relaciona con la velocidad de ceder o aceptar electrones. En esta

figura se observa la respuesta que tiene los ciclos a diferentes concentraciones de capsaicina, en todas la concentraciones analizadas podemos observar que se muestra una señal de oxidación definida a 0.7V y una señal de reducción a 0.35 lo cual concuerda con lo reportado por Torabi *et al.*, (2008). Estos puntos serán comparados con los voltamperogramas de las muestras para determina si se esta analizando y cuantificando el mismo analito en cada una de las muestras.

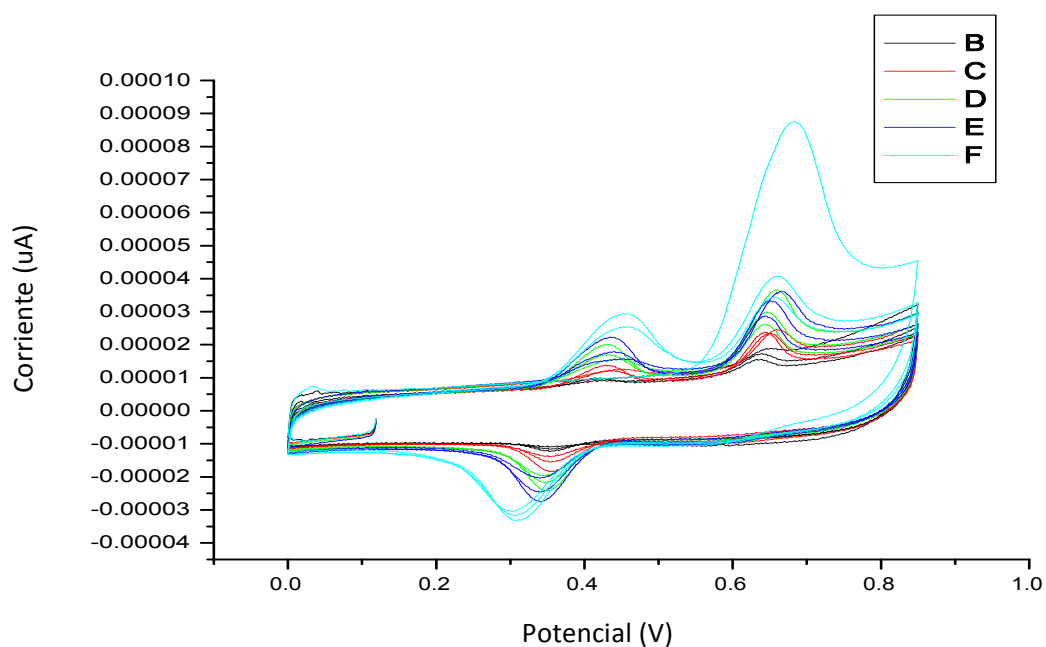


Figura 28. Voltamperograma del estándar de capsaicina a diferentes concentraciones, B corresponde a 0.2 mg/mL, C a 0.4 mg/mL, D a 0.6 mg/mL, E a 0,8 mg/mL y F a 1 mg/mL.

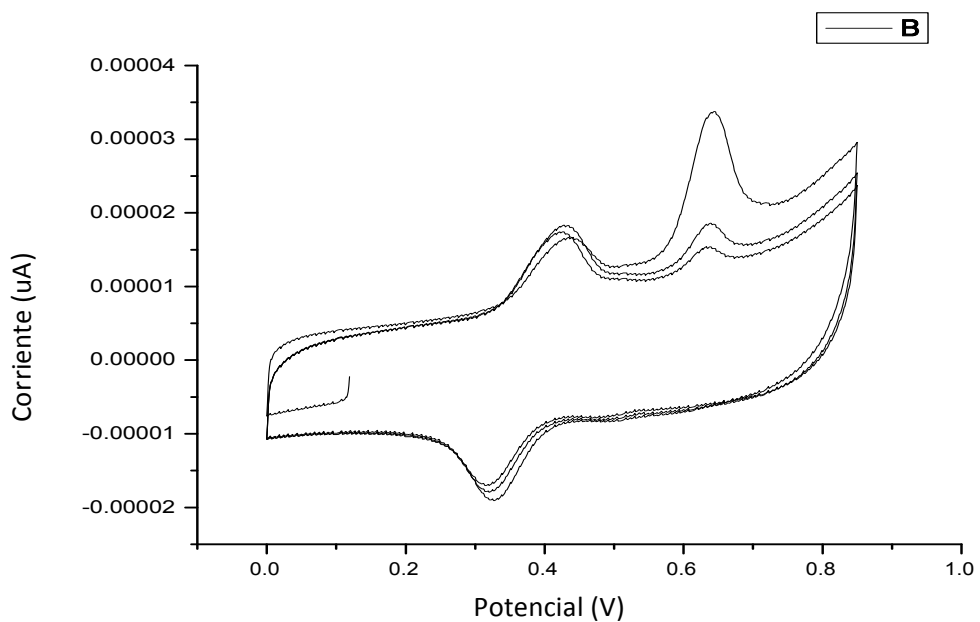


Figura 29. Voltamperograma del extracto de capsaicina del tratamiento T1 (orgánico)

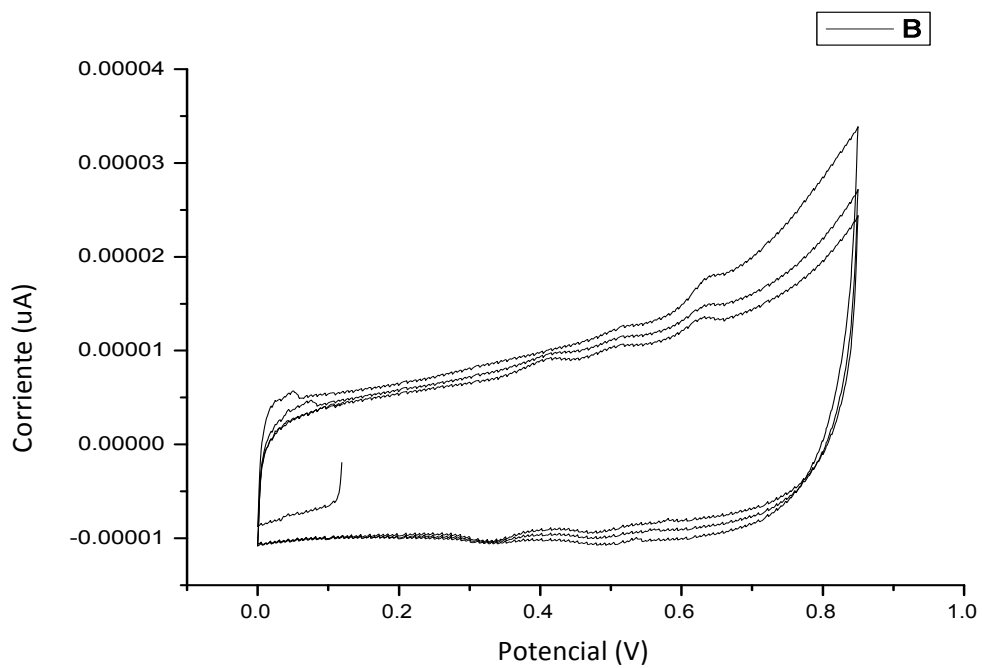


Figura 30. Voltamperograma del extracto de capsaicina del tratamiento T2 (convencional)

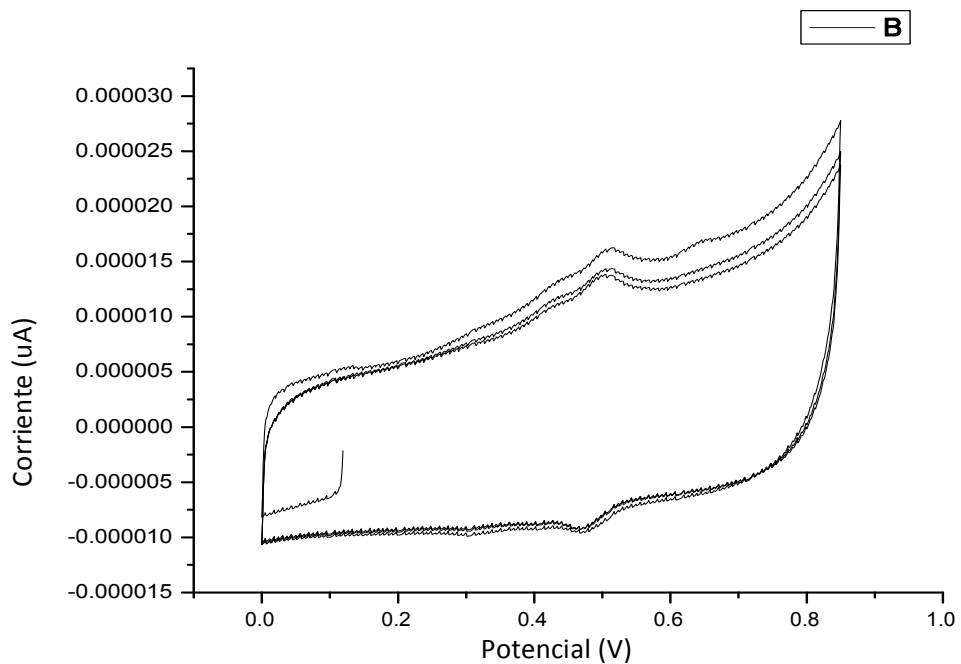


Figura 31. Voltamperograma del extracto de capsaicina del tratamiento T3 (orgánico-conventional)

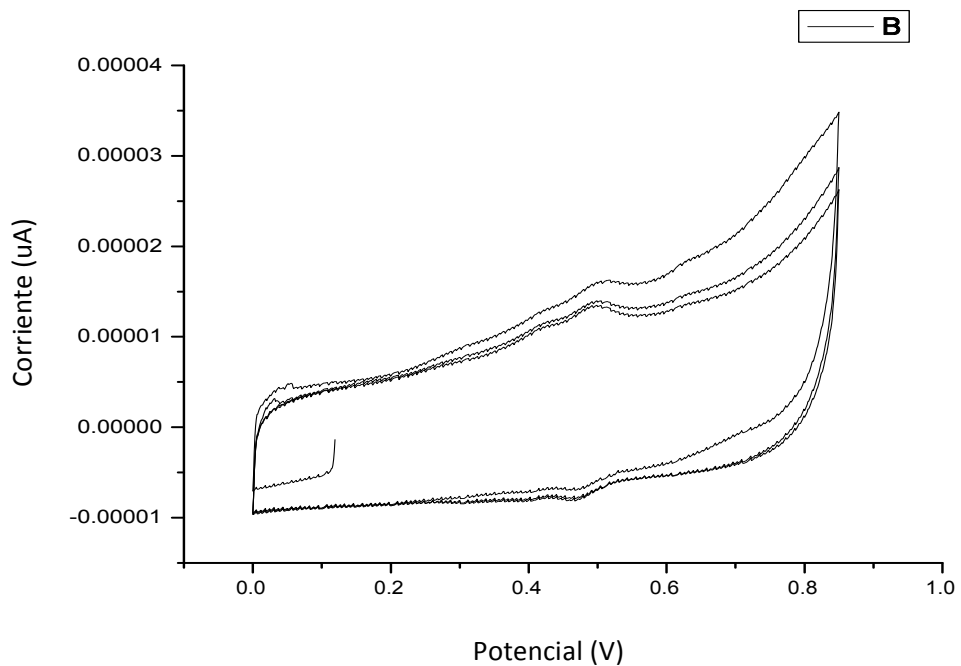


Figura 32. Voltamperograma del extracto de capsaicina del tratamiento T4 (testigo)

En el Cuadro 25, se observa el contenido de capsaicina presente en cada uno de los extractos de los diferentes tratamientos, el tratamiento orgánico fue el que mostro mayor contenido de este compuesto con 87.36 mg/100 g PF, superando ampliamente el contenido de los demás tratamientos.

Cuadro 25. Efecto de la fertilización en el contenido de capsaicina en frutos de chile serrano

Tratamiento	Capsaicina (mg/100 g PF)
T1	87.36a
T2	34.16c
T3	66.38b ¹
T4	74.21b
Valor de F	0.0001**
DMS	8.54

¹ Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T1 corresponde al tratamiento orgánico, T2 al tratamiento convencional, T3 al tratamiento orgánico convencional y T4 al testigo, * Valor de F no significativo, ** Valor de F altamente significativo, DMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$).

Estos resultados concuerdan con los resultados reportados por Cazares *et al.* (2005), el cual encontró contenidos de capsaicina entre los rangos de 7.5 y 358 mg/100g en diferentes variedades de chiles (habanero, serrano y jalapeño), por lo que nuestros frutos se encuentran dentro de este rango y puede ser considerado en particular el tratamiento orgánico como una buena fuente de este compuesto bioactivo.

6.- CONCLUSIONES

a.- Obtención de plántulas

Con la fertilización orgánica se producen plántulas de baja calidad con respecto a las obtenidas mediante manejo convencional, los resultados son similares en los dos ciclos productivos, esto representa un problema ya que este punto de la producción es clave en el comportamiento de las plantas durante todo el cultivo, por lo que es necesario realizar nuevos ensayos con diferentes abonos a fin de tratar de corregir las deficiencias que tuvieron las plántulas y mejorar de esta manera su calidad.

b.- Variables de calidad del fruto

El uso de fertilizantes orgánicos bajo condiciones de invernadero es una buena alternativa de producción ya que se lograron mejorar las variables de peso, longitud y diámetro de los frutos, incrementado de esta manera el rendimiento del cultivo, sin embargo en la producción en campo la calidad de los frutos no mostro una mejora en comparación con el tratamiento convencional, por ello la fertilización orgánica es un buen método de producción en condiciones controladas debido a que se pueden obtener cultivos de buena calidad, aumentos en el rendimiento total del cultivo y una disminución del impacto ambiental, aunque falta obtener abonos orgánicos que nos permitan reproducir estos resultados en diferentes condiciones de producción para poder ampliar su aplicación.

c.- Calidad nutrimental y nutracéutica de los frutos

El uso de abonos orgánicos y biofertilizantes son una alternativa para la producción de frutos ricos en compuestos bioactivos los cuales pueden beneficiar la salud, este tipo de fertilización logró aumentar la calidad nutrimental y nutracéutica de los frutos. Bajo condiciones de invernadero se vio beneficiado el contenido de macro y micro elementos y el contenido de capsaicina, en el caso de los frutos obtenidos en campo, la incorporación de biofertilizantes a los abonos inorgánicos mostro un efecto positivo sobre el contenido de compuestos nutracéuticos ya que se incrementó el contenido de proteínas, de vitamina A,

Fenoles totales y la capacidad antioxidante, por lo que es importante estudiar las interacciones de estos microorganismos con los fertilizantes químicos a fin de conocer las condiciones necesarias para su buen funcionamiento y de esta manera poder reproducir estos resultados con los abonos orgánicos para obtener un sistema de producción integral y sustentable.

En general la fertilización orgánica y el uso de biofertilizantes son una buena opción para la producción de alimentos con una buena calidad comercial y ricos en compuestos bioactivos. Como se observó en este trabajo ambas logran mejorar ciertas características de los frutos las cuales muchas veces son muy apreciadas por los consumidores, sin embargo este tipo de producción necesita de una profunda investigación en la cual se logren encontrar las condiciones más favorables para lograr la optimización de los resultados bajo las diferentes condiciones de producción.

7. LITERATURA CITADA

A.O.A.C. 1994. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemist (15th Ed.) Washington, USA.

Abbott J.A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology. 15, 207-225.

Adesemoye A.O. 2009. Plant–microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. Applied Microbiol Biotechnology. 85:1–12

Ahmad F. (2006). Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. Microbiological Research 36:19.

Akbari, P., Ghalavand, A., Modarres Sanavy, A. M., & Agha Alikhani, M. (2011). The effect of biofertilizers, nitrogen fertilizer and farmyard manure on grain yield and seed quality of sunflower (*Helianthus annus* L.). Journal of Agricultural Technonogy, 7(1), 173-184.

Alcántar G. G., Sandoval M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial Ed. 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 156 p.

Alexandratos, N. 1995. World agriculture: towards 2010: an FAO study. Food & Agriculture Organic.

Alvarez-Parrilla, E., de la Rosa, L. A., Amarowicz, R., & Shahidi, F. 2011. Antioxidant activity of fresh and processed Jalapeno and Serrano peppers. Journal of agricultural and food chemistry, 59(1), 163-173.

Armenta B. A. D., Baca C. G. A., Alcántar G. G., Kobashi S. J., Valenzuela U. J. G., Martínez G. A. 2001. Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. Revista Chapingo Serie Horticultura. 7(1):61-75.

Bagwell, C. E., Piceno Y. M., Ashburne A. M. Y. & Lovell C. R. 1998. Physiological diversity of the rhizosphere diazotroph assemblages of selected salt marsh grasses. *Applied and environmental microbiology*, 64(11), 4276-4282.

Barbagallo R. N., Chisari M., Patané C. 2012. Polyphenol oxidase, total phenolics and ascorbic acid changes during storage of minimally processed 'California Wonder' and 'Quadrato d'Asti' sweet peppers. *LWT. Food Science and Technology*. 3: 1-5.

Birute G. A., Juárez H. E., Sieiro O. E., Romero V. R., Silencio V. J. L. 2009. Los nutraceuticos: Lo que es conveniente saber. *Revista Mexicana de Pediatría*. 76(3):136-145.

Black, C. A. 1975. *Relaciones Suelo-Planta*. Tomo II. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 677 p.

Borge, M. 2012. *Agricultura orgánica: solución de sostenibilidad*. Exito Empresarial 196.

Bowen, G. D., & Rovira, A. D. 1999. The rhizosphere and its management to improve plant growth. *Advances in agronomy*, 66, 1-102.

Castellanos R., J.Z. y J.L.. Reyes C. 1982 *La utilización de los estiércoles en la agricultura* Ingenieros agrónomos del tecnológico de monterrey A.C. sección Laguna. Torreón, Coahuila. México 154p.

Cázares-Sánchez, E., Ramírez-Vallejo, P., Castillo-González, F., Soto-Hernández, R. M., Rodríguez-González, M. T., & Chávez-Servia, J. L. (2005). Capsaicinoids and preference of use in different morphotypes fo chili peppers (*Capsicum annuum* L.) of east-central Yucatán. *Agrociencia*, 39(6), 627-638.

Compant S.; Duffy B.; Jerzy N.; Clement C., Barka E.A. 2005. Use of plant growth- promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of Action, and future prospects. *Applied and Environmental*

Microbiology. 71:4951–4959.

Crowley, D. E., Wang, Y. C., Reid, C. P. P., & Szaniszlo, P. J. 1991. Mechanisms of iron acquisition from siderophores by microorganisms and plants. *Plant and soil*, 130(1-2), 179-198.

Cruz Medrano, S., Abonos orgánicos. México Ed. Universidad Autónoma Chapingo 129 p.1986.

Datta M., Palit R., Sengupta C., Kumar P. M., Banerjee S. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria enhance growth and yield of chilli (*Capsicum annuum* L.) under field conditions. *Australian Journal of Crop Science*. 5(5):531-536.

Deepaa N.; Kaura C.; Singhb B.; Kapoor H. C. 2006. Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 572– 578.

Díaz-Pérez J C, M D Muy Rangel, A Gaytán 2006. Fruit size and stage of ripeness affect postharvest water loss in bell pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *HortScience* 41:504-505.

Dixon R., Paiva N. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The Plant Cell*. 7:1085–1097.

Döbereiner J. 1992. History and new perspectives of diazotrophs in association with nonleguminous plants. *Symbiosis* 13:1-13.

Firuzi O., Lacanna A., Petrucci R., Marrosu G., Saso L. 2005. Evaluation of the antioxidant activity of flavonoids by “Feric Reducing Antioxidant Power” Assay and Cyclic Voltammetry. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1721:174-184.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2013. FAOSTAT (2013a) Statistics Division. Food and Agriculture Organization. <http://faostat.fao.org/site>. Consultado 20 de julio de 2013.

Fuentes-Ramírez, L.E, Caballero-Mellado, J. 2006. Bacterial biofertilizers. In: Z.A. Siddiqui (ed). *PGPR: Biocontrol and Biofertilization*. Springer, Netherlands, pp: 143-172.

Francis F.J., 1980. Color quality evaluation of horticultural crops. *HortScience*. 15:58–59.

Joo, G., Kim, Y., Kim, J., Rhee, I., Kim, J., & Lee, I. (2005). Gibberellins-producing rhizobacteria increase endogenous gibberellins content and promote growth of red peppers. *Journal Of Microbiology-Seoul*, 43(6), 510.

Gnayfeed M. H.; Daood H. G.; Biacs P. A., Alcaraz C. F. 2001. Content of bioactive compounds in pungent spice red pepper (paprika) as affected by ripening and genotype. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81, 1580-1585.

Hernández-Fuentes A. D.; Campos Montiel R.; Pinedo-Espinoza J. M. 2010. Comportamiento poscosecha de pimiento morron (*Capsicum annum* L.) var. california por efecto de la fertilización química y aplicación de lombrihumus. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 11:82-91.

Howard, L. R., Pandjaitan, N., Morelock, T., & Gil, M. I. 2002. Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and growing season. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(21), 5891-5896.

Inforural, 2014. <http://www.inforural.com.mx>. Consultado el 10 de septiembre de 2014.

Kim J. S., Ahn J., Lee S. J., Moon B., Ha T. Y., Kim S. 2011. Phytochemicals and Antioxidant Activity of Fruits and Leaves of Paprika (*Capsicum Annuum* L., var. Special) Cultivated in Korea. *Journal of Food chemistry*. 76(2):193-198.

Lennon A, Neuenschwander U, Ribas-Carbo M, Giles L., Ryals J. A., Siedow J. N. 1997. The effects of salicylic acid and Tobacco mosaic virus infection on the alternative oxidase of tobacco. *Plant Physiology* 115:783-791.

López, L., Baroni, A., Rodríguez, V., Greco, C., Macías de Costa, S., Rodríguez de Pece, S., & Ronayne de Ferrer, P. (2005). Desarrollo y validación de un método por HPLC para la determinación de niveles de vitamina A en leche materna. Su aplicación a una población rural de Argentina. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 55(2), 140-143.

Lownds, N. K., Banaras, M., Bosland, P. W. 1994. Postharvest water loss and storage quality of nine pepper (*Capsicum*) cultivars. *HortScience*, 29(3), 191-193..

Luna-Martínez L.; Martínez-Peniche R. A.; Hernández-Iturriaga M.; Arvizu-Medrano S.M.; Pacheco Aguilar J.R. 2013. Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36: 63-69.

Mani BM, Traux JPM. 1998. Salicylic acid and systemic acquired resistance to pathogen attack. *Annals of Botany* 82:535-540.

Marín, A., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F. A., Gil, M. I. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(12), 3861-3869.

Marín L. J. C., Céspedes C. L. 2007. Compuestos volátiles de plantas. Origen, emisión, efectos, análisis y aplicaciones al agro. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(004):327-351.

Márquez-Quiroz, C., López-Espinosa, S. T., Cano-Ríos, P., & Moreno-Reséndez, A. (2013). Fertilización orgánica: una alternativa para la producción de chile piquín bajo condiciones protegidas. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 19(3), 279-286.

Martínez, S., M. López, M. González-Raurich, and A. Bernardo 2005. The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 56: 45-51.

Martínez Z. G., J R A Dorantes, M Ramírez, A de la Rosa, O Pozo (2005) Efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. Rev. Fitotec. Mex. 28:327-332.

Marschner H.; Römheld V.; Cakmak I. 1987. Root-induced changes of nutrient availability in the rhizosphere. Journal of Plant Nutrition. 10:1175-1184.

Monroy V. A., Totosaus A., González G. L. R., De la Fuente S. K. A., García M. I. 2007. Antioxidantes I. Chile ancho (*Capsicum annum* L. *grossum* sendt.) y romero (*Rosmarinus officinalis* L.) como Fuentes naturales de antioxidants. Investigación Universitaria Multidisciplinaria. 6(6):112-116.

Morales, G. J. 2013. Evaluación de la producción y calidad de pimiento (*Capsicum annum* L.) obtenido mediante biofertilización. Tesis (Maestro en ciencias de los alimentos) Queretaro, Mexico, Universidad Autonoma de Queretaro, Facultad de Quimica, 2014 84 p.

Muñoz Villalobos J.A., Velasquez Valle M.A., Macias Rodrigues H. 2012. Uso de composta en la producción de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones de invernadero. Agricultura Organico AGROFAZ 13, numero 3 2012.

Nenadis N., Wang L. F., Tsimidow M., Zhang H. Y. 2004. Estimation of Scavenging Activity of Phenolic Compounds using the ABTS assay. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 52:4669-4674.

Nielsen, T.H., Christophersen, C., Anthoni, U. and Sørensen, J. (1999) Viscosinamide, a new cyclic depsipeptide with surfactant and antifungal properties produced by *Pseudomonas fluorescens* DR54. Journal of Applied Microbiology 86, 80-90.

Norma Mexicana NMX–FF–025–SCFI–2007. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano–chile fresco (*Capsicum* spp). www.sagarpa.gob.mx/agricultura/info/comp/it/normas/noti/NMX_FF_025_SCFI_2007_15102007.pdf (consultado: agosto 2014).

Perucka, I., & Oleszek, W. (2000). Extraction and determination of capsaicinoids in fruit of hot pepper *Capsicum annuum* L. by spectrophotometry and high-performance liquid chromatography. *Food Chemistry*, 71(2), 287-291.

Pickersgill, B. 1971. Relationships between weedy and cultivated forms in some species of chili peppers (*Genus Capsicum*). *Evolution* 25: 683-691.

Pieper, J. R., & Barrett, D. M. 2009. Effects of organic and conventional production systems on quality and nutritional parameters of processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(2), 177-194.

Rajkumar M., Lee K. J., Banu J. R. 2005. Growth of Brassica juncea under chromium stress: influence of siderophores and indole 3 acetic acid producing rizhosphere bacteria. *Journal of Environmental Biology*. 26:693-699.

Rao M., Lee H., Creelman R., Mullet J., Davirs K. 2000. Jasmonic acid signaling modulates ozone-induced hypersensitive cell death. *Plant Cell* 12:1633-1646.

Reganold J. P., Andrews P. K., Reeve J. R., Carpenter-Boggs L., Schadt C. W., Alldredge J. R., Ross C. F., Davies N. M., Zhou J. 2010. Fruit and Soil Quality of Organic and Conventional Strawberry Agroecosystems. *Plos One*. 5(9):12346

Sánchez, A. G., Martos, N. R., Ballesteros, E., & de Linares, S. (2005). Estudio comparativo de distintas técnicas analíticas (espectroscopía de NIR y RMN y extracción mediante Soxhlet) para la determinación del contenido graso y de humedad en aceitunas y orujo de Jaén. *Grasas y Aceites* 56. Fasc. 3 (2005), 220-227.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2014. Anuarios estadísticos de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México, D. F. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (consultado el 20 de Julio de 2014).

Singleton, V. L., and J. A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.

Smith, D. L., Stommel, J. R., Fung, R. W., Wang, C. Y., Whitaker, B. D. (2006). Influence of cultivar and harvest method on postharvest storage quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit. *Postharvest biology and technology*, 42(3), 243-247.

Solecka D.1997. Role of phenylpropanoid compounds in plant responses to different stress factors. *Acta Physiologiae Plantarum*. 19: 257-268.

Thrane, C., Nielsen, T.H., Nielsen, M.N., Olsson, S. and Sørensen, J. (2000) Viscosinamide-producing *Pseudomonas fluorescens* DR54 exerts a biocontrol effect on *Pythium ultimum* in sugar beet rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology* 1151, 1±8.

Torabi K. R., Wildgoose G. G., Compton R. G. 2008. Carbon nanotube-based stripping voltammetric determination of capsaicin. *Analyst*. 133:888-895.

Trinidad, S. A. 1987. El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola. Serie Cuadernos de Edafología, Colegio de PostGraduados, Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 45 p.

Urrestarazu M., Castillo J. E.; Salas M. C. 2002."Técnicas culturales y calidad del pimiento". Departamento de producción Vegetal-Universidad de Almería. Horticultura, S.L.

Vázquez G. E., Ramírez M. M., Mata V. H., Ariza F. R. & Alía T. I. 2010. Atributos de calidad y vida de anaquel de frutos de cultivares de chile serrano en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4): 79-82.

Vázquez G. E., Horacio, M. V., Juan, P. P., & Moises, R. M. 2010. Fertirrigación de chile serrano con riego por goteo en el sur de Tamaulipas.

Vera G. A. M., Chávez S. J. L., Carrillo R. J. C. & López M. G. 2011. Phytochemical evaluation of wild and cultivated pepper (*Capsicum annuum* L. And *C. pubescens* Ruiz & Pav.) from Oaxaca, Mexico. Chilean Journal of Agricultural Research. 71(4):578-585.

Vessey J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil. 255 571–586.

Voinnet O. 2005. RNA silencing compared with innate immunity. Nature Reviews Genetics 6:206-220.

Zhang D.; Hamauzu Y. 2003. Phenolic compounds, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant properties of green, red and yellow bell peppers. Food, Agriculture and Environment 1: 22-27.