

**RENDIMIENTO Y CALIDAD ANTIOXIDANTE DEL CHILE
HABANERO CON SUPLEMENTO DE LA NUTRICIÓN
POTÁSICA CON PRODUCTOS ORGÁNICOS**

JOSE ALFREDO PATICHTAN MORENO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EN HORTICULTURA

UNIVERSIDA AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo del 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

RENDIMIENTO Y CALIDAD ANTIOXIDANTE DEL CHILE HABANERO CON
SUPLEMENTO DE LA NUTRICIÓN POTÁSICA CON PRODUCTOS ORGÁNICOS


TESIS POR

JOSE ALFREDO PATICHTAN MORENO

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como
requisito parcial, para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA

Asesor Principal


Dr. Valentín Robledo Torres

Asesor


Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Asesor

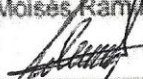

DR. Efraín de la Cruz Lázaro

Asesor

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor


M.C. Moisés Ramírez Meraz


Dr. Fernando Ruiz Zarate
Subdirector de Posgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, mayo del 2013

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por la excelente oportunidad y formación que me ha brindado para desarrollarme profesionalmente.

A usted Dr. Valentín Robledo Torres que durante el tiempo que lo conozco no he dejado de aprender como persona y profesionalmente y que mi estancia bajo su tutela ha sido gratificante, siendo su persona un buen árbol que me ha brindado buena sombra.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico brindado durante la estancia de mis estudios.

A mis asesores Dr. Rosalinda Mendoza Villarreal, Dr. Efraín de la Cruz Lázaro, Dr. Adalberto Benavidez Mendoza, M.C. Moisés Ramírez Meraz, por su destacada colaboración y apoyo en esta investigación.

A mis amigos Víctor Camacho, Wiliam, Dagoberto Flores, Pedro Marcial, Gloria Laura, Neymar, Daily, Gibran, Capula por su gran amistad y la satisfacción que es el de compartir momentos a lado de cada uno de ellos, y el aprendizaje constante que siempre manejamos como equipo.

DEDICATORIA

A mi esposa la Ing. Zoyla Alavez Hernández quien ha sido pilar para que cada objetivo se cumpla, gracias a su paciencia, amor y sencillamente por hacerme feliz.

A mi hija; María Ximena quien es el orgullo y fortaleza de mis días y que ha valido la pena sacrificar todo por ella.

A mis padres María del Carmen⁺ y Joaquín que desde siempre me han cobijado con el mas puro amor, y a ti madre que donde quieras que te encuentres estas orgullosa que día a día cumplo con los sueños que los dos comenzamos.

A mis hermanos (aa) Catalina, Dolores y Joaquín, pos sus palabras de aliento y apoyo en los mementos que más lo he necesitado y orgullosamente los traigo en el corazón.

COMPENDIO

**RENDIMIENTO Y CALIDAD ANTIOXIDANTE DEL CHILE HABANERO CON
SUPLEMENTO DE LA NUTRICIÓN POTÁSICA CON PRODUCTOS ORGÁNICOS**

POR

JOSE ALFREDO PATICHTAN MORENO

MAESTRO EN CIENCIAS

EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México, mayo del 2013

Dr. Valentín Robledo Torres.-Asesor

Palabras clave: *Capsicum chinense*, producción orgánica, antioxidantes

Se estudiaron los genotipos de chile habanero; Campeche, Palenque y Jaguar (parcela chica) en 5 tratamientos donde se sustituyó un porcentaje de potasio con vermicomposta y humos líquido (Parcela grande), resultando los siguientes

tratamientos; t1) 240-200-120+50% de humus liquido; t2) 240-200-180+25% humus liquido; t3) 240-200-120+50% vermicomposta; t4) 240-200-180+25% vermicomposta t5) 240-200-240npk (testigo), con el único objetivo de determinar si las dosis de fertilización química suplementando el K con fuentes orgánicas, modifica el rendimiento así como la calidad física y bioquímica-antioxidante de tres variedades de chile habanero en condiciones de invernadero.

El presente trabajo se realizo en el área experimental del Departamento de Horticultura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, en el ciclo primavera-verano del 2012. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones.

Las variables evaluadas fueron: peso de frutos por parcela (PFP), el número de frutos por planta (NFP), peso promedio de fruto (PPF), Diámetro polar del fruto (DPF), diámetro ecuatorial del fruto (DEF), contenido de capsaicina del fruto (CCF), contenido de vitamina C (CVC), carotenoides totales del fruto (CTF), β -carotenos en fruto (β -CF), contenido de xantofilas en fruto (CXF).

Los resultados indican que al menos un tratamiento de nutrición suplementando al k de fuentes orgánicas es estadísticamente diferente a resto.

Suplementando el K con abonos orgánicos se puede tener rendimientos semejantes a una dosis química, mientras que la calidad física del fruto se ve favorecida. En el caso de capsaicina no se vio modificada por ningún nivel de estudio, los carotenoides totales, vitamina C, β -carotenos y xantofilas se ven favorecidos por la nutrición orgánica. Además se encontró que las diferentes variedades de Chile habanero

responden de forma diferente al uso de nutrición orgánica. Concluyendo que el uso de abonos orgánicos es una opción para la suplantación de K, ya que incrementan la calidad antioxidante del chile habanero bajo condiciones de invernadero.

ABSTRACT

**PERFORMANCE AND ANTIOXIDANT QUALITY OF HABANERO CHILI TO
NUTRITIONAL SUPPLEMENT OF POTASSIUM FROM ORGANIC PRODUCTS**

BY

JOSE ALFREDO PATICHTAN MORENO

MASTER OF SCIENCE

IN HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. May 2013

Dr. Valentín Robledo Torres-*Adviser*

Key words: *Capsicum chinense* jacq, organic production, antioxidant

We studied genotypes habanero chili, Campeche, Palenque and Jaguar (subplots) in 5 treatments with potassium substituted with percentage vermicompost solids and liquids (Large plot), resulting in the following treatments; t1) 240-200-120 + 50% liquid humus; t2) 240-200-180 +25% liquid humus, t3) 240-200-120 +50% vermicompost, t4) 240-200-180 +25% vermicompost -t5) 240 - 200-240npk

(control), with the sole purpose of determining whether the dose of supplementing chemical fertilizers with organic sources K modifies the performance and physical quality and antioxidant biochemistry-three varieties of habanero chili in greenhouse conditions.

This study was conducted in the experimental area of the Department of Horticulture at the University Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo Coahuila, Mexico, in the spring-summer of 2012. The experimental design was completely randomized split plot arrangement with three replications.

The variables evaluated were: the weight of fruits per plant (WFP), the number of fruits per plant (NFP), average fruit weight (AFW), polar diameter of fruit (PDF) , fruit equatorial diameter (FED), capsaicin content of the fruit (CCF), vitamin C (VC), total fruit carotenoids (TFC), β -carotene in fruit (β -CF), content of xanthophylls in fruit (CXF).

The results indicate that at least one nutrition supplementing the treatment of organic sources k is statistically different from rest.

Supplementing the manure K with similar yields can have a chemical dose, while the physical quality of the fruit is favored. In the case of capsaicin was not affected by any level of study, total carotenoids, vitamin C, β -carotene and xanthophylls are favored by organic nutrition. It was also found that different varieties of habanero chili respond differently to the use of organic nutrition. Concluding that the use of organic fertilizers is an option for impersonation of K, as they increase the quality antioxidant habanero chili under greenhouse conditions.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISION DE LITEATURA.....	5
El Cultivo de Chile Habanero.....	5
Estado Actual de la Producción de Chile Habanero en México	6
Precio al Mercado de Chile Habanero.....	8
La Nutrición en Chile Habanero	9
Producción en Invernadero	11
Producción Orgánica	14
Uso de Vermicomposta Sólida y Líquida.....	15
Antioxidante en los Vegetales y la Salud Humana	17
Capasaicina.....	19
Caratenoides	21
Vitamina C.....	24
III. ARTICULO.....	27
PERFORMANCE AND ANTIOXIDANT QUALITY OF HABANERO CHILITO NUTRITIONAL SUPPLEMENT OF POTASSIUM FROM ORGANIC PRODUCTS	27
ABSTRACT	28
RESUMEN.....	29
INTRODUCTION.....	30
MATERIALS AND METHODS.....	33
RESULTS AND DISCUSSION.....	36
Performance Components.....	36

Components of biochemical-antioxidant quality	42
CONCLUSIONS.....	50
LITERATURE CITED.....	50
IV. CONCLUSIONES.....	53
V. LITERATURA CITADA.....	54

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Superficie y producción de chile habanero en México en campo abierto.....	19
CUADRO 2. Superficie y producción de chile habanero en México en invernadero.....	20
CUADRO 3. Precio medio de chile habanero en México.....	21

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. División de la Población según las Naciones Unidas, Roma (2009)	12
FIGURA 2. Distribución de cultivos en invernadero en México (SAGARPA, 2012).....	14

INDICE DE CUADROS DE ARTÍCULO

CUADRO 1. Nutritional content of solid and liquid vermicompost, as well as the recommended dose for habanero chili. Buenavista, Saltillo, Coahuila.	34
--	----

CUADRO 2. Mean squares for variables of components of performance of habanero chili yield nutrition treatments grown with treatments of chemical and organic potassium supplements.	37
CUADRO 3. Comparison of means of factors A and B of performance variables of habanero chili grown under greenhouse conditions.	41
CUADRO 4. Comparison of means of interaction of nutrition x varieties of two characteristics of habanero chile.	42
CUADRO 5. Sum of squares of the biochemical-antioxidant variables of habanero chili treatments under study and potassium nutrition supplemented with organic nutrition (factor A) and three varieties of habanero chile (Factor B) grown under greenhouse conditions.	43
CUADRO 6. Comparison of means of variables related to the antioxidant capacity of habanero chili fruit developed under greenhouse conditions.	46
CUADRO 7. Comparison of means of interaction of nutrition x varieties of two characteristics of habanero chile under greenhouse conditions.	48
CUADRO 8. Comparison of means of interaction of nutrition x varieties of two characteristics of antioxidants in habanero chile fruits grown under greenhouse conditions.	49

INDICE DE FIGURAS DE ARTÍCULO

FIGURE 1. Effect of potassium nutrition supplemented with organic nutrition and varieties on average fruit weight of habanero chile, 240-200-120 +50% liquid humus (N1), 240-200-180 +25% liquid humus (N2); 240-200-120 +50% of vermicompost (N3) 240-200-180 +25% of vermicompost (N4) and control 240-200-240 (N5), Campeche variety (G1), Palenque variety (G2), Jaguar variety (G3).....	40
--	----

I. INTRODUCCIÓN

El chile es uno de los vegetales más antiguos y conocidos en la cocina mundial. Las plantas de la especie del género *Capsicum* sintetizan una variedad de fitoquímicos con papeles valiosos en la salud humana y nutrición. Durante miles de años, los humanos han seleccionado chiles en base al picor, color, sabor y contenido de vitaminas. Son muchos los beneficios potenciales para la salud como resultado de consumir chile habanero y sugieren que podría ser utilizado como sabor nuevo y valioso con propiedades funcionales de los productos alimenticios o nutraceuticos, sobre la base de su alto contenido de fitoquímicos y propiedades biológicas (Menichini *et al.*, 2009).

En la actualidad existe la nueva tendencia de producir cultivos sanos, libres de contaminantes químicos, ya que estos puedan dañar la salud humana y perturbar los ecosistemas, por otra parte, practicar una agricultura combinada es decir, no abusar de los productos químicos y de alguna manera aprovechar los recursos orgánicos que se encuentren disponibles y que ayuden a mejorar las condiciones del suelo y la obtención de cosechas de mayor calidad. Existen fuertes razones para pensar en una reconversión de la agricultura tradicional a la orgánica, debido al elevado precio de

los fertilizantes químicos, entre ellos el fosforo y el potasio, siendo este ultimo muy importante ya que ayudan a mejorar el rendimiento y la calidad de la cosecha.

Productos como el lombricomposteo del estiércol bovino (sólido y/o líquido), el uso de algas marinas que además de incorporar macro nutrientes tienen entre sus componentes; micronutrientes, ácidos húmicos, fulvicos y aminoácidos, que al verse incorporados al cultivo este se ven reflejados en la obtención de mejores producciones. Por otra parte esta la producción de cultivos en invernadero, la cual implica una agricultura de precisión llevando al máximo la eficiencia de los componentes de la producción, con ayuda de estas estructuras se puede minimizar las fluctuaciones ambientales a las que se someten los cultivos, tales como la radiación, temperatura, humedad, la incidencia de plagas y enfermedades, además que ayudan a tener cosechas fuera de temporada y con mayor calidad, para con ello lograr mejor precio del producto.

El sabor es en parte el resultado de mono-terpenoides y aldehídos alifáticos, que también se acumulan en la pared del fruto, mientras que el contenido de vitaminas, específicamente el ácido ascórbico es muy variado dentro de especies siendo el chile habanero uno de los que presenta mayor contenido de dicha vitamina (Guzmán *et al.*, 2011). Además antioxidantes tales como (carotenoides, flavonoides, vitaminas y fenoles) son capaces de realizar un sinnúmero de funciones incluyendo la eliminación de radicales libres. Los antioxidantes también pueden retrasar o prevenir la oxidación de los lípidos u otras moléculas mediante la inhibición del inicio o propagación de la oxidación de las reacciones en cadena, antes de la cosecha, donde

influyen variables del clima, incluyendo la variación en el cultivo, genotipo y la madurez, las prácticas de cultivo y manejo (Wang, 2010).

El cultivo de Chile Habanero (*Capsicum chienense* Jacq) es de suma importancia para el país, específicamente para el sureste de México, sin embargo actualmente se está sembrando en otros Estados de la Republica Mexicana ya que su demanda a crecido por sus grandes atributos de sabor, así como por su uso en salsas, cosméticos y medicinas, además por su exportación a diferentes países del mundo. Se reporta que en 2012 se sembraron alrededor de 600 ha a campo abierto con un rendimiento de 8 ton ha⁻¹ y solo 30 ha en invernadero con un rendimiento promedio de 35 ton ha⁻¹. Es atractiva la producción del chile habanero y el alto precio que alcanza en el mercado (15 a 80 pesos por kilogramo) es una de las razones para desarrollar técnicas que ayuden a tener mejores rendimientos y calidad del fruto. (SIAP, 2012a)

Dada la alta demanda y los altos precios que alcanza en el mercado el chile habanero, se ha buscado desarrollar tecnología de producción en otras regiones, resultando el chile habanero una alternativa en zonas donde los recursos para la producción son escasos y costosos. Por lo tanto el objetivo del presente trabajo fue determinar si las dosis de fertilización química suplementanda con K de origen orgánico, modifica el rendimiento así como la calidad física y bioquímica-antioxidante de tres variedades de chile habanero en condiciones de invernadero. Tendiendo como hipótesis que:

La nutrición química suplementando con K de fuentes orgánicas así como el uso de cultivares influyen en las variables de rendimiento y calidad bioquímica-antioxidante del chile habanero.

II. REVISION DE LITEATURA

El Cultivo de Chile Habanero

México se ha distinguido como uno de los países con mayor diversidad genética en Chile, las especies más cultivadas de *Capsicum* son originarias de Centro y Sudamérica. Estas especies incluyen a *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. baccatum*, *C. pubescens* y *C. chinense*. Desde el punto de vista agrícola-comercial la especie más importante es *C. annuum*, la cual es originaria de México (Corona *et al.*, 2000), sin embargo en los últimos años, la superficie de Chile habanero se encuentra en crecimiento exponencial.

El Chile habanero es una planta de ciclo anual, variando su altura de 75 a 120 cm (Prado, 2001). Su potencial productivo en condiciones de riego está determinado principalmente por la clase de suelo y la temperatura media anual (Tun, 2001). Sin embargo existen muchos más factores que se tienen que considerar para tener éxito (humedad, nutrición, sanidad, material genético) y lograr altos rendimientos como los indicados por Ramírez *et al.*, (2005) quien logró tener hasta 46.02 t·ha⁻¹. Las plantas de Chile habanero desarrolladas en invernadero presentaron mayor número de flores y frutos, aunque frutos de tamaño pequeño, en contraste con lo reportado en

campo, donde se obtuvieron menos frutos pero más grandes, y como consecuencia mayor rendimiento de fruto por hectárea.

Las plagas constituyen una limitante severa en la producción de chile habanero. Los productores se enfrentan a reducción en el rendimiento como consecuencia del ataque de insectos y ácaros que afectan en diferentes estados de desarrollo de la planta, esta problemática es la que enfrentan productores en el sureste de México (Poot *et al.*, 2008). Durante los últimos 6 años en base a monitoreo en campo e invernadero se encontró que las plagas más importantes en chile habanero, son; mosca blanca (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*), picudo del chile (*Anthonomus eugenii*) y ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus*) y con menor frecuencia el minador de la hoja (*Liriomyza sp.*) y el gusano soldado de franjas amarillas (*Spodoptera ornithogalli*) (Martín *et al.*, 2012)

Estado Actual de la Producción de Chile Habanero en México

La producción de chile habanero se ve centrada en los estados de Yucatán, Tabasco, Campeche y Quintana Roo, quienes se han mantenido su nivel de producción (Cuadro 1) a lo largo de los años sin embargo, otros estados se han agregado a la lista de producción, teniendo altos rendimientos pero con pocas hectáreas sembradas produciendo un año y al siguiente no. Nuevo León por ejemplo, en el año 2010 sembró 30 hectáreas con rendimientos de 30 ton ha⁻¹, siendo el estado con el mayor rendimiento reportado pero, solo lo reportó en el 2010.

Cuadro 1. Superficie y producción de chile habanero en México en campo abierto.

	2007			2008			2009			2010		
	HS	PT	Ren	HS	PT	Ren	HS	PT	Ren	HS	PT	Ren
Yucatán	338.4	2897	8.6	392	3261	8.3	343	2706	7.9	298	2968	10.0
Tabasco	143.8	904	6.3	414	2766	6.7	132	911	6.9	287	550	1.9
Campeche	67.5	674	10.0	53	565	10.6	44	393	9.0	39.7	236	5.9
Sonora	22	255	11.6	10	178	17.8						
Quintana R.	22.01	265	12.1	41	336	8.2	23	244	10.7	27.5	271	9.9
Colima	16	18	1.1									
Michoacán	12	72	6.0	20	70	3.5	14	15	1.1	14	14	1
Veracruz	11.5	87.7	7.6	5	9.3	1.9	2	12	6.0			
Jalisco	5.5	56	10.2	2	28	14.0						
Nuevo L.										30	900	30
Nayarit	3.5	21.6	6.2									
Chiapas	1	15	15.0	7	100	14.3	5	100	20.0	10	175	17.5

Hectáreas sembradas (HS), producción en toneladas (PT) y rendimiento ton ha⁻¹ (Ren). (SIAP 2012 a): Servicio de Inspección Agroalimentaria y Pesquera.

Anteriormente la producción en condiciones de invernadero se centraba en el Centro y Noroeste de México con producción de jitomate, pepinos, pimiento morrón y ornamentales, sin embargo en la actualidad la producción de chile habanero se está convirtiendo en una necesidad, dada la exigencia del mercado de exportación por la adquisición de frutos de calidad y como consecuencia de este, ya se registra en la estadística de producción en invernaderos de México, siendo Yucatán el primero en

iniciar y mantenerse con una cantidad constante al igual que Quintana Roo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Superficie y producción de chile habanero en invernadero en México.

Estado	2007			2008			2009			2010		
	HS	PT	Ren	HS	PT	Ren	HS	PT	Ren	HS	PT	Ren
Yucatán	9.68	139	16.0	11	283	28.9	8	199	24.8	11.4	478	42.0
Campeche							1.5	31.5	21.0			
Nuevo L.							30	450	15.0	2	86	43
Q. Roo				6.2	397	63.7	26	1859	71.8	33.9	2830	83.4

Hectáreas sembradas (HS), producción en toneladas (PT) y rendimiento ton ha⁻¹ (SIAP 2012 b); Servicio de Inspección Agroalimentaria y Pesquera

Precio al Mercado de Chile Habanero

El incremento exponencial en la producción de chile habanero es quizá debido al alto precio que éste alcanza en el mercado. Sin embargo, el precio se encuentra muy heterogéneo en las diferentes centrales de abasto de los estados de México. En los estados del sureste los precios son mas bajos comparados con los estados del norte de México como lo es Durango, Nayarit y Nuevo León, donde los precios evidentemente son más atractivos, para pensar en una reconversión a cultivos alternativos altamente rentables (Cuadro 3).

CUADRO 3. Precio medio de chile habanero en México.

Estados	Precio en pesos por kilogramo de 2005 a 2012							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Yucatán	38.6	21.2	38.9	33.7	26.0	40	26	19.6
Campeche	32.5	24.5	64.1	62.2	53.5	41.9	38.8	36.4
Q. Roo	32.0	25.2	41.8	32.7	31.0	47.7	28.2	36.0
Durango	61.8	55.4	82.7	58.3	58.3	69.4	59.4	66.6
Nayarit	44.1	42.3	58.5	53.8	50.4	65.1	54.0	60.4
N. León	78.1	55.9	48.0	32.0	65.1	48.0	43.0	
Veracruz	16.7	38.8	35.4	85.0			44.4	39.9
Tabasco	36.0	25.7	37.6	28.4	23.6	35.2	22.8	23.7

(SNIIM 2012 a): Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados

La Nutrición en Chile Habanero

La nutrición mineral para *C. annuum* se conoce ampliamente, no así para *C. chinense*. Algunas recomendaciones generadas sobre los requerimientos nutricionales en Yucatán, señalan el uso de dosis de fertilización para obtener los mejores rendimientos de fruto (Gómez *et al.*, 2008a). Las relaciones existentes observadas entre la concentración de nutrimentos en tejido seco y extracto celular podrían ser utilizadas como un principio en la búsqueda de los niveles óptimos de referencia del chile habanero. Las relaciones entre ambas formas analíticas tuvieron de acuerdo a los valores de r el siguiente orden $P > N = K > Cu > Zn > Ca > Mn$ y no se observaron relaciones en Mg y Fe entre las concentraciones de tejido y extracto celular (Noh *et al.*, 2010).

Gómez *et al.*, (2008a) realizaron simulaciones en diferentes suelos de Yucatán basado en procesos que controlan la absorción de nutrimentos por las raíces y en los factores involucrados en el suministro de K por el suelo. Sus aplicaciones permitieron simular la absorción de nutrimentos bajo condiciones cambiantes del suelo. Concluyen que de acuerdo a las metas de producción propuestas 28 t ha⁻¹ de fruto fresco, los resultados mostraron que los suelos requieren una aplicación de 108 a 150 kg ha⁻¹ de K. En algunos suelos se requirió que la mayor cantidad de K fuera aplicada durante la etapa de crecimiento de la planta, para otros, la incorporación de K debe ser dosificada durante todo el ciclo de cultivo.

Borges *et al.*, (2010) cultivando chile habanero con diferentes niveles de humedad edáfica (100, 75 y 50% de humedad aprovechable) y niveles nutrimentales de N, P₂O₅ y K₂O (240-240-240, 120-120-120 y 000-000-000), encontraron que el rendimiento de frutos reflejó una respuesta significativa ante los incrementos de nutrición y humedad, alcanzando en promedio 1391 g de fruto por planta para el nivel con mayor nutrición y humedad aprovechable.

Villa *et al.*, (2011) evaluaron la respuesta del chile habanero a tres densidades de plantación y tres soluciones nutrimentales bajo condiciones de invernadero con clima semicontrolado, localizado en Gómez Palacio, Durango. Las densidades de población fueron: 2.1, 2.4 y 2.8 plantas por m² y las soluciones nutrimentales consistieron en 12, 17 y 22 meq L⁻¹ de aniones y cationes. Los resultados indican que hubo una respuesta positiva del rendimiento de fruto al incremento de la concentración de la solución nutrimental.

El análisis de los tejidos vasculares (tallos, pecíolos, brotes axilares) están en relación permanente y directa entre la fuente de aprovisionamiento (sistema radical) y las zonas de utilización de los elementos minerales (hojas y fruto) por lo que constituyen un indicador más adaptado a hortalizas con rápida producción de biomasa.

Para predecir el nivel de disponibilidad de fósforo (P) para cada cultivo y condición donde se desarrolla; debe basarse en la relación entre el P extraído por la planta y el análisis de suelo realizado con una técnica apropiada. Gómez *et al.* (2008b) compararon los métodos químicos de análisis de Olsen y Bray para evaluar la disponibilidad de P aprovechable y determinar el nivel crítico para el cultivo el chile habanero. Concluyendo que los valores críticos de P obtenidos para el chile habanero por el método gráfico y el estadístico se encuentra entre 10.65 y 12 mg kg⁻¹ según el método químico de análisis utilizado. Sin embargo, el análisis químico Bray P1 tuvo un r de 0.472, mientras que en Olsen el r fue de 0.802 estableciendo un nivel crítico de P para chile habanero de 11.9 mg kg⁻¹.

Producción en Invernadero

La agricultura en el siglo XXI se enfrenta a múltiples retos: tiene que producir más alimentos y fibras, a fin de alimentar y vestir a una población creciente (Figura 1), así como producir más materias primas para contribuir al desarrollo global de los numerosos países en desarrollo dependientes de la agricultura, adoptar métodos de producción más eficaces y sostenibles y adaptarse al cambio climático (FAO, 2009). Una alternativa es la producción de cultivos bajo condiciones de invernadero ya que con ellos se optimizan los componentes de la producción.

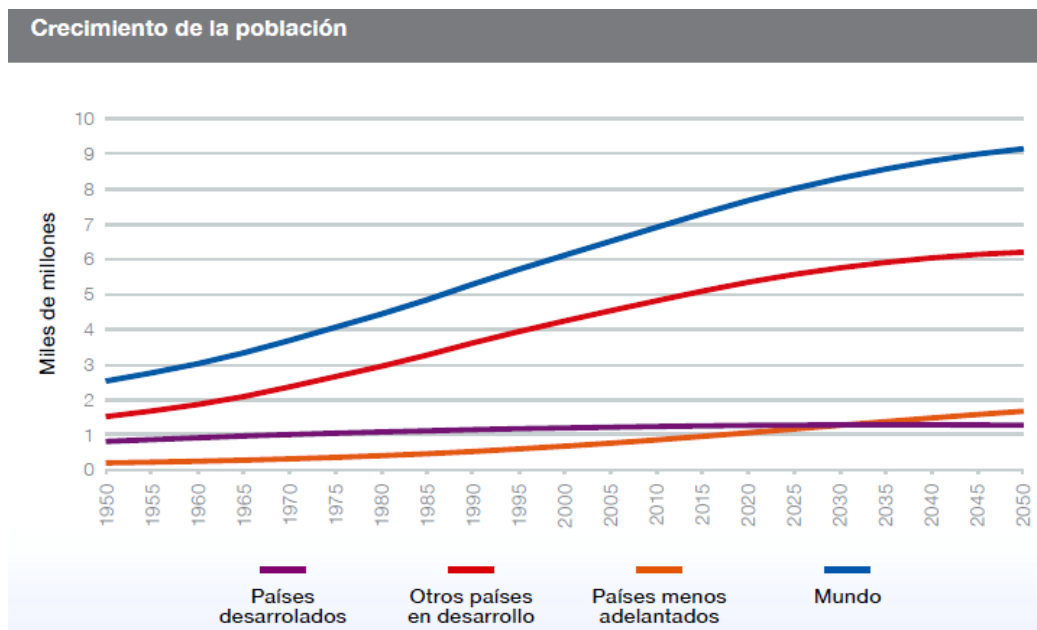


Figura 1. División de la Población según las Naciones Unidas, Roma (2009)

Sánchez (2007), define al invernadero como una estructura agrícola con cubierta traslúcida, cuyo principio es simular las condiciones para tener éxito en la producción de cultivos altamente rentables. Para lograr el objetivos se recurre al diseño y equipamiento del mismo, dichas estructuras se han convertido en una necesidad, debido a una importante serie de factores que afectan la producción agrícola así como la demanda de alimentos, que crece de manera exponencial (Rodríguez *et al.*, 2006).

La agricultura protegida es aquella que se realiza bajo métodos de producción que ayudan a ejercer determinado grado de control sobre los diversos factores del ambiente. Minimizando las condiciones climáticas restricciones que limitan la producción de los cultivos. Entre las ventajas de este sistema de producción se

encuentra: generación de ocho empleos directos por hectárea, producción de cultivos inocuos e incrementos de hasta cinco veces la producción, con relación a campo abierto (SAGARPA, 2012).

Muchas son las ventajas de los invernaderos en la producción de hortalizas, flores y ornamentales, como la posibilidad de cultivar todo el año, producir fuera de temporada, obtención de productos en regiones con condiciones restrictivas, aumento de los rendimientos por unidad de superficie, productos de alta calidad, menor riesgo en la producción y condiciones idóneas para la experimentación e investigación (ACEA, 2012).

La transmisión de la luz, termicidad y coeficiente global de transmisión calorífica, son características deseadas en los materiales de recubrimiento de los invernaderos, para lograr alta calidad de la cosechas (Rodríguez, 2007).

Las buenas prácticas agrícolas en sistemas de producción protegida se consideran actualmente como un programa de aseguramiento de la inocuidad de las frutas y hortalizas frescas desde el campo al tenedor, ya que estas son muy susceptibles a la contaminación por microorganismos y pesticidas (Nichols, 2007).

La hortaliza que mas se cultiva en condiciones de invernadero es el jitomate, seguida por los pimientos y los pepinos (Figura 2), el 4 % lo ocupan las ornamentales y hortalizas, destacando los estados de Yucatán y Quintana Roo en la producción de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*), que ha recobrado interés en los últimos

cinco años. La producción de chile habanero bajo invernadero es una opción para la diversificación de cultivos en ese sistema de producción (Villa *et al.*, 2011).

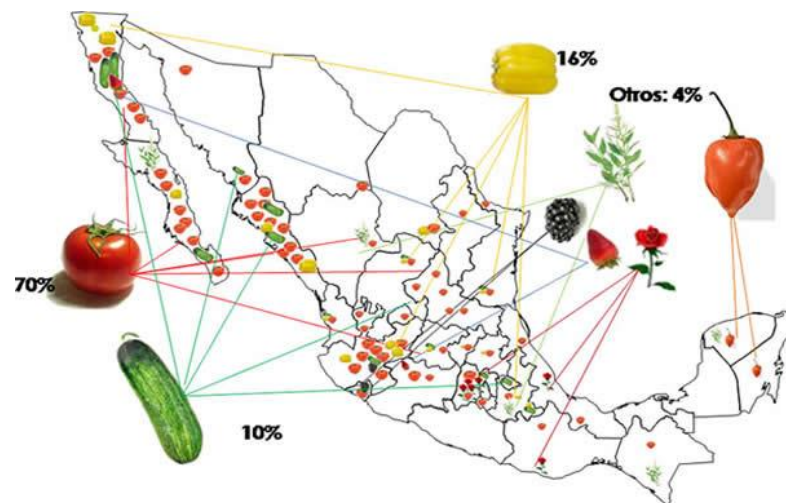


Figura 2. Distribución de cultivos en invernadero en México (SAGARPA, 2012)

Producción Orgánica

El mercado de productos orgánicos está creciendo rápidamente. Esto se debe a que los clientes esperan alimentos saludables y libres de residuos de pesticidas, pero en términos de compuestos secundarios de las plantas, los antioxidantes también promueven beneficios en los alimentos producidos orgánicamente.

La agricultura orgánica continúa su expansión en todo el mundo, a pesar de la recesión económica de 2008. Este crecimiento está impulsado por la demanda de los consumidores en Europa y los mercados de América del Norte, así como el potencial de la agricultura ecológica para abordar la conservación de los recursos, la seguridad alimentaria y los problemas agrícolas en países en desarrollo, los cultivos hortícolas, especialmente frutas y verduras, se están promoviendo como una parte fundamental

de una dieta saludable que puede ayudar a evitar problemas como la obesidad, la diabetes y las enfermedades del corazón (Willer *et al.*, 2012).

En la actualidad, diversos factores de carácter ambiental, social, económico, cultural y político, han motivado el interés por el desarrollo de la agricultura orgánica, reconociéndose como una alternativa económicamente eficiente, socialmente justa y ecológicamente sostenible con potencial para mitigar los impactos negativos atribuidos a la agricultura convencional (Gómez *et al.*, 2010).

El consumo de alimentos orgánicos se ha incrementado en los principales mercados de la Unión Europea y América del Norte. Sin embargo, la base de información estadística para describir este crecimiento es incompleta o inaccesible e imprecisa a veces. En los EE.UU., las frutas y hortalizas representan el 40% de las ventas de alimentos orgánicos (Granatstein y Willer, 2010).

Cuando se habla de consumo de fruta en fresco la apariencia dice mucho, siendo el color el primer parámetro para la decisión del consumo, en cultivos de pimiento el color se ve modificado cuando se practica una agricultura orgánica comparada con la tradicional, sin embargo esto puede ser resultado de muchos componentes del medio ambiente al cual la planta se encuentre sometida (Pérez *et al.*, 2007).

Uso de Vermicomposta Sólida y Líquida

Se sabe que la calidad del suelo se relaciona con la naturaleza de los compuestos orgánicos (Velázquez *et al.*, 2008). Las sustancias húmicas en la

actualidad tiene una gran importancia debido a las funciones que puede ejercer en la disponibilidad de nutrientes actuando como un agente quelatante. La mayoría de las investigaciones se centran en estudiar la estructura, función y ventajas que estos pueden traer a los cultivos en el momento de aplicación (Hernández, 2011).

Abou *et al.*, (2001) reportan que la aplicación de compostas o gallinaza pueden aumentar el rendimiento del pepino en condiciones de invernadero, gracias a una mayor disponibilidad de nutrientes, Szmidt y Fox (2001) exponen que el éxito en la fabricación de compostas se debe elegir una adecuada materia prima, así como procesos controlados ya que esto se reflejará en el producto final.

La fracción líquida del estiércol, usada como solución nutritiva, es una fuente importante de nutrimentos para las plantas en hidroponía; sin embargo, requiere de un acondicionamiento previo para abatir su pH y su alta salinidad reflejada en su elevada conductividad eléctrica (Capulin *et al.*, 2011). Otero *et al.*, (2010) sugieren que los sistemas de producción ecológica contribuyen al aumento del pH de los suelos ácidos y mejoran la disponibilidad de nutrientes para la planta, sin agotar el suelo.

Rodríguez *et al.*, (2009) evaluaron el té de compost como fertilizante orgánico para la producción de tomate en invernadero. Se estudiaron los cultivares de tomate Granitio y Romina en tres tratamientos de nutrición orgánica e inorgánica, pero no encontraron diferencias estadísticas en rendimiento y la calidad de fruto en los tratamientos bajo estudio, por lo tanto el té de compost puede ser considerado como

un fertilizante alternativo para la producción orgánica de tomate en condiciones de invernadero.

El uso de líquido de lombriz ó alga-enzimas permite lograr rendimientos semejantes a los obtenidos con el uso de fertilizantes químicos en la producción de jitomate en condiciones de invernadero, sin embargo el genotipo es un factor más determinante de la calidad de fruto que la nutrición. Por lo tanto el material genético es de suma importancia para tener rendimiento y calidad, acorde a las necesidades del mercado (Alavez, 2011).

El tipo de fertilización y los días a cosecha afectan el rendimiento y la calidad nutrimental del forraje hidropónico. La producción de maíz hidropónico fertilizado con té de compost fue similar en el rendimiento y la calidad nutrimental al obtenido con la fertilización inorgánica, excepto en contenido de fibra. Se concluye que es factible la utilización del té de compost como sustituto de la fertilización química en la producción de forraje hidropónico (Salas *et al.*, 2010).

Antioxidante en los Vegetales y la Salud Humana

El entorno cambia continuamente, por lo que las plantas se ven amenazadas constantemente por diversos estreses abióticos, que causan pérdidas sustanciales en el rendimiento y la calidad de las cosechas. Un signo clave de tales tensiones a nivel molecular es la producción acelerada de especies reactivas del oxígeno, que son extremadamente reactivos en la naturaleza, ya que pueden interactuar con una serie

de moléculas celulares y metabolitos, lo que conduce a la disfunción metabólica y muerte irreparable. Las plantas han desarrollado bien las vías enzimáticas y no enzimáticas (ascorbato, glutatión y carotenoides) o sistemas de desintoxicación para contrarrestar los efectos de los radicales libres.

Estudios recientes en plantas han demostrado que los niveles relativamente bajos de radicales libres actúan como moléculas de señalización que inducen la tolerancia al estrés abiótico mediante la regulación de la expresión de genes de defensa. Además, numerosos resultados han demostrado que las plantas con mayores niveles de antioxidantes, ya sea constitutiva o inducida, mostraron una mayor resistencia a diferentes tipos de estrés ambiental (Martínez *et al.*, 2012).

Las plantas constituyen un componente importante de nuestra dieta, proporcionando pigmentos y fitoquímicos por lo que se han dedicado esfuerzos a aumentar y diversificar fitoquímicos como; los carotenoides, flavonoides y vitaminas. Estos esfuerzos se basan en métodos transgénicos y no transgénicos que han usando complejos mecanismos de regulación necesarias para aumentar los niveles de metabolitos funcionales en las plantas. Tal mejora es importante por las siguientes razones: (1) para aumentar la eficiencia de la extracción industrial para reemplazar las químicas, (2) para mejorar y diversificar la dieta de las poblaciones de los países en desarrollo, (3) proporcionar productos agrícolas frescos, como frutas y vegetales altamente enriquecidos con ciertos fitonutrientes para sustituir eventualmente los suplementos alimenticios de síntesis química y vitaminas (Llan, 2009).

Las enfermedades no transmisibles, en especial las enfermedades cardiovasculares, el cáncer, la obesidad y la diabetes mellitus tipo 2 en la actualidad matan a más personas cada año que cualquier otra causa de muerte y 2,7 millones de vidas podrían ser salvadas cada año si el consumo de frutas y hortalizas se incrementara lo suficiente (Nath, 2007).

La medición de las propiedades antioxidantes de las frutas y verduras se ha convertido en uno de los aspectos más importantes de la evaluación de calidad (Lo Scalzo., 2009).

La importancia de los antioxidantes como; carotenoides y compuestos fenólicos es la reducción de enfermedades del corazón, derrames cerebrales y algunos tipos de cáncer en el ser humano (Galli y Pomper, 2007).

Capasaicina

Algunas plantas de las solanáceas como el chile (*Capsicum annuum*, *Capsicum chinense* y *Capsicum frutescens*), producen metabolitos secundarios la vitamina C, capsaicinoides, carotenos, que utilizan para protegerse de patógenos. La aportación de nutrientes y antioxidantes del genero *Capsicum* es importante para la dieta y salud humana (Broderick y Cooke, 2009) y (Sánchez *et al.*, 2010). La suplementación mineral repercute favorablemente en la calidad de las frutas de pimientos, con un gran aumento en los contenidos de capsaicinoides. El régimen de fertilización puede alterar el equilibrio de la competencia entre la biosíntesis de capsaicinoides y la

acumulación de sustancias similares a la lignina en las paredes celulares (Estrada *et al.*, 1988).

Especies de *Capsicum* producen frutos que sintetizan y acumulan capsaicinoides en los tejidos placentarios. La ruta biosintética de capsaicinoides se ha establecido, pero las enzimas y genes que participan en este proceso no se ha estudiado. Los capsaicinoides se sintetizan a través de la convergencia de dos vías biosintéticas: la fenilpropanoides y la vía de ácidos grasos de cadena ramificada, que proporcionan precursores de la fenilalanina, valina o leucina, respectivamente. La biosíntesis de capsaicinoides y la acumulación, es un rasgo genéticamente determinado en diferentes cultivares (Aza *et al.*, 2011).

La pungencia de los chiles es un saborizante o aditivo usado en casi todo el mundo, los capsaicinoides son los responsables de dicha característica, dentro de ellos el más común y abundante es la capsaicina (*trans*-8-metil-N-vanillil-6-nonenamida) y la dihidrocapsaicina (8-metil-N-vanillylnonanamida), de manera general el contenido de capsaicinoides varía desde 0.003 hasta el 1%, esto dependerá de la variedad en la cual se trabaje. Barbero *et al.* (2006) y Mueller *et al.* (2008) estudiando el contenido de capsaicinoides en diferentes tipos de chile, encontró que ésta varía dentro de especies, entre plantas de la misma especie, en la posición de la fruto en la planta, así como de la edad de la planta.

Se han estudiado los mecanismos genéticos que subyacen a la herencia de la pungencia, a pesar de que son aún poco conocidos. En los primeros estudios se

encontró que la presencia/ausencia de la pungencia es controlada por un solo gen dominante, conocido como C. Este gen, el nuevo nombre Pun1, ha sido localizado en el cromosoma 2 del género *Capsicum* y codifica la enzima acil transferasa AT3. El recesivo gen pun1, con una relación de 2,5 kb que abarca el promotor putativo y primer exón, provoca de la ausencia de la pungencia (Garceä *et al.*, 2007).

El contenido de capsaicinoides es mayor en frutos de habanero cultivados en invernadero que a campo abierto, con valores de 195.38 mg g⁻¹ a 113.04 mg g⁻¹ respectivamente, mientras que el chile de árbol llega a tener 80.52 mg g⁻¹ y después por chile Piquín 53.71 mg g⁻¹. Estos resultados indican claramente una relación inversa entre contenido capsaicinoides y la actividad peroxidasa que podría indicar una participación de estas enzimas en la degradación de capsaicinoides, sobre todo la isoenzima 6 peroxidasa, que oxida los precursores fenólicos de la biosíntesis de la capsaicina, tal como el ácido cafeico y ácido ferúlico en *C. annuum*. Los argumentos sobre la participación de la peroxidasa en la degradación de capsaicinoides se ha basado principalmente en la localización de esta enzima, especialmente de la isoenzima 6 peroxidasa, en las células epidérmicas placentarias (Contreras y Elhadi, 1998).

Caratenoides

Los carotenoides son metabolitos secundarios de plantas que cumplen funciones antioxidantes en los procesos fotosintéticos de las plantas, se han vuelto muy importantes en el campo de la tecnología de los alimentos, por su grandes propiedades nutricionales, fármacos y como colorantes (Jaren *et al.*, 1999), también

se indica que el aumento de la ingesta de alimentos ricos en carotenoides puede aumentar en la sangre y el pigmento macular en algunos, pero no todos los individuos (Kopsell *et al.*, 2009).

Los carotenoides se pueden detectar en sangre y tejidos humanos, aunque por lo general sólo en una concentración bastante baja. Ellos no son biosintetizados en el cuerpo humano, tienen que ser proporcionados en la dieta o como suplementos, los carotenoides se incorporan en micelas mixtas, se mueven en los enterocitos intestinales, empaquetados en los quilomicrones y se moviliza a lo largo de la sangre en las lipoproteínas y se acumulan en tejidos específicos en el cuerpo humano. (Kirstie y John, 2009).

Los carotenoides, juegan un papel importante para superar las consecuencias negativas del crecimiento y desarrollo de plantas, gracias a sus estructuras químicas únicas. La acumulación de este parece estar influida por factores fisiológicos, genéticos, bioquímicos así como los factores ambientales de crecimiento, como la luz, la temperatura y la fertilidad. En segundo lugar, está ahora bien establecido que los metabolitos secundarios desempeñan un papel clave en la adaptación de las plantas a las restricciones ambientales. Las observaciones sugieren que las limitaciones bióticas y abióticas pueden influir en la síntesis de carotenoides a través de la mediación de especies reactivas del oxígeno (Urban *et al.*, 2009).

Los carotenoides contribuyen al color rojo, naranja y amarillo a las frutas y las flores y, protegen las plantas de la foto-oxidación (Leskovar *et al.*, 2007). El grupo

de los ceto-carotenoides, Capsantina, Capsurubina son sintetizados en la maduración del fruto y contribuyen al color rojo, mientras que el beta-caroteno, Zeaxantina, Luteina y betacriptoxantina son responsables del color amarillo-naranja. Los carotenoides son de gran importancia, por el efecto anti-tumoral que estos tienen, y que los hace atractivos en la investigación (Méndez *et al.*, 2005).

Moreno *et al.*, (2010) trabajando con diferentes tipos de chiles y tiempos de extracción de carotenoides encontró que los mayores contenidos de carotenoides totales y grupos carotenoides rojos y amarillos se obtienen del chile habanero en fruto fresco.

Pérez *et al.*, (2007) trabajando con agricultura tradicional, orgánica e integrada, evaluó el contenido de carotenos totales en frutos de pimientos, encontrando que dicha variable es estadísticamente superior en la agricultura orgánica con valor de 3231 mg kg⁻¹ seguida por la agricultura integra con 2493 mg kg⁻¹, mientras que en la agricultura tradicional se obtuvieron valores de 1829 mg kg⁻¹. Por su parte Kopsell *et al.*, (2009) mencionan que los cambios en la temperatura del aire, el nivel de radiación, fotoperiodo y el régimen de la fertilidad nutricional pueden influir en la acumulación de carotenoides vegetales.

Las xantofilas son un grupo de los compuestos secundarios que se han evaluado en el cultivo de trigo bajo sistemas orgánicos y convencionales, en condiciones controladas (Roose y Ploeger, 2009).

Los productos químicos incorporados en el cuerpo en formas no modificadas, tales como las xantofilas. Estos fitoquímicos dietéticos exhiben su actividad beneficiosa como antioxidantes y moduladores de función de las proteínas (Kanazawa, 2008).

Vitamina C

Las prácticas agronómicas en las hortalizas pueden modificar las concentraciones de compuestos fitoquímicos de manera significativa. Se ha demostrado que la fertilización alta en nitrógeno disminuye el ácido ascórbico, el licopeno en la sandía y el tomate y con el riesgo de baja productividad. Los efectos complejos e interactivos del medio ambiente y las prácticas agronómicas afectan directa o indirectamente el comportamiento de los vegetales (Leskovar *et al.*, 2009).

La dieta humana contiene varios miles de fitoquímicos, muchos de los cuales tienen bioactividades significativas. La vitamina C, es un antioxidante natural, se sabe que reduce el riesgo de enfermedades neurodegenerativas tales como enfermedad de Alzheimer (Ho y Chang, 2004). El ascorbato es el principal antioxidante soluble que se encuentra en las plantas y es también un componente esencial de la nutrición humana (Yuyang, 2013).

El ácido ascórbico es la forma principal de la vitamina C, y su contenido aumenta conforme se acerca la madurez del chile pimiento; los pimientos verdes inmaduros presentan el mayor contenido de polifenoles, mientras que frutas rojas

maduras tenían el mayor contenido de vitamina C y provitamina A (Marín *et al.*, 2004).

El contenido de vitamina C se ve afectado por varios factores de tipo agronómico como son; cultivado al aire libre o invernadero, marco de plantación, riego, estado de madurez del fruto (Nuez *et al.*, 2003). La fertilización orgánica puede ayudar a inducir mayor contenido de vitamina C en los cítricos aunque esto dependerá de la especie y del cultivar, aunque se sacrifica la producción (Duarte *et al.*, 2010).

Crane y Silva (1950) cultivando jitomates bajo campo abierto y con malla sombra encontraron que el contenido de vitamina C muestra mayor concentración en frutos de plantas cultivadas a campo abierto, por su parte Patichtan (2010) trabajando con macrotúneles cubierto con mallas de colores y un testigo a campo abierto, en el cultivo de pimiento y chile chilaca (*Capsicum annuum*) encontró que el contenido de vitamina C en chile chilaca se ve favorecido con el uso de malla en comparación con el cultivo en campo abierto que tuvo 150 mg 100 ml⁻¹ chile, no así para el cultivo de pimiento que su mayor valor se encontró con la malla fotoselectiva blanca; 150 mg 100ml⁻¹. Demostrado con esto que el contenido de dicho antioxidante se ve modificado por muchos factores y uno de ellos es modificar la cantidad y calidad de radiación.

Alavez (2011) trabajando con genotipos de tomate con diferentes soluciones nutritivas orgánicas, bajo condiciones de invernadero no encontró diferencias

estadísticamente significativas para tipos de fertilizantes, ni genotipos para la variable contenido de Vitamina C. Indicando que estos factores no afectan a el contenido de Vitamina C, elemento muy importante para la salud humana, sin embargo el mayor valor fue observado en la parcela nutrida con liquido de lombriz en combinación con el producto de Alga-Enzima, donde se encontró que éste tratamiento supero en 25 % a la parcela fertilizada con la solución química.

III. ARTICULO

PERFORMANCE AND ANTIOXIDANT QUALITY OF HABANERO CHILITO NUTRITIONAL SUPPLEMENT OF POTASSIUM FROM ORGANIC PRODUCTS

PERFORMANCE AND ANTIOXIDANT QUALITY OF HABANERO CHILITO NUTRITIONAL SUPPLEMENT OF POTASSIUM FROM ORGANIC PRODUCTS

Rendimiento y calidad antioxidante del chile habanero con suplemento de la nutrición potásica con productos orgánicos

José A. Patichtan-Moreno¹, Valentín Robledo-Torres^{2*}, Rosalinda Mendoza-Villarreal²,
Efraín de la Cruz Lázaro³, Adalberto Benavides-Mendoza².

ABSTRACT

The habanero chili is an important crop in southeastern Mexico, although its production is limited by factors such as nutrition, having the need to develop technologies to help improve the performance and fruit quality. The aim of this study was to identify the yield response and nutritional quality of fruit of three varieties to potassium nutrition of organic origin. A research study was undertaken in a greenhouse, under a completely randomized design with split plot arrangement with three replications of the varieties Campeche, Palenque and Jaguar, with five levels of nutrition: 240-200-120 +50% liquid humus (N1), 240-200-180 +25% liquid humus (N2) +50 240-200-120 % of vermicompost (N3) 240-200-180 +25% of vermicompost (N4) and control 240-200-240 (N5). This study considered the weight of fruits per plant (WFP), average fruit weight (AFW), number of fruits per plant (NFP), fruit polar diameter (FPD) and fruit equatorial diameter (FED), capsaicin, vitamin C, total carotenoids, β -carotene and xanthophylls. The WFP of treatments N5, N2 and N3 were statistically similar. The control presented an AFW of 6.7 g which was statistically superior to the other treatments, while the Jaguar (6.6 g) was statistically different ($p \leq 0.01$) to the Palenque (5.3 g) and exceeded 24.5% and 37.5% of the Campeche; N3 treatment was statistically superior to the control FPD by 8.8%. The capsaicin and xanthophylls contents were not affected by organic nutrition, however the content of vitamin C, total carotenoids and β -carotene were modified significantly ($p \leq 0.01$) for both levels of nutrition and variety.

Keywords: *Capsicum chinense* Jacq., biochemical quality, organic nutrition, greenhouse.

¹Student of the Master of Science in Horticulture, ²Professors from the Master of Science in horticulture and ⁴Professor from Plant Breeding Department, of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 1923, CP 25315. ³Researcher Professor of Master of Science in Agri-food, of the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa, R/a. La Huasteca Km. 25, Tabasco, México. CP.

*corresponding author (varoto@prodigy.net.mx)

RESUMEN

El chile habanero es un cultivo importante en el sureste de México, aunque su producción es limitada por factores como la nutrición, teniendo la necesidad de desarrollar tecnologías que contribuyan a mejorar el rendimiento y calidad del fruto. El objetivo fue estudiar la respuesta en rendimiento, calidad nutricional del fruto de tres variedades de chile habanero a la nutrición con potasio de origen orgánico. Las variedades Campeche, Palenque y Jaguar, con cinco niveles de nutrición: 240-200-120+50% de humus líquido (N1), 240-200-180+25% humus líquido (N2); 240-200-120+50% de vermicomposta (N3); 240-200-180+25% de vermicomposta (N4) y testigo 240-200-240 (N5), fueron estudiados en invernadero, bajo un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones. Se estudió el peso de frutos por planta, peso promedio de fruto (PPF), frutos por planta, diámetro polar (DPF) y ecuatorial del fruto, capsaicina, vitamina C, carotenoides totales, β -carotenos y xantofilas. El PPF de los tratamientos N5, N2 y N3 fue estadísticamente igual. El testigo presentó un PPF de 6.7 g y superó estadísticamente al resto de los tratamientos, mientras que la variedad Jaguar (6.6 g) fue diferente estadísticamente ($p \leq 0.01$) de Palenque (5.3 g) y superaron en 24.5 % y 37.5 % a Campeche, el tratamiento N3 fue estadísticamente superior en DPF al testigo en 8.8%. El contenido de capsaicina y xantofilas no fue afectado por la nutrición orgánica, sin embargo el contenido de vitamina C, carotenoides totales y β -carotenos sí fueron modificados significativamente ($p \leq 0.01$) tanto por los niveles de nutrición como por la variedad.

Palabras claves: *Capsicum chinense* Jacq, calidad bioquímica, nutrición orgánica, invernadero.

INTRODUCTION

Mexico is one of the countries with the greatest genetic diversity of chili and the most economically important species are *Capsicum annuum*, *C. frutescens*, *C. baccatum*, *C. pubescens* and *C. chinense*, of which *C. annuum* is the most important from the point of view of agriculture and trade (Corona *et al.*, 2000). However, the chinense species is distributed throughout the Yucatan Peninsula, Mexico, which ranks second in acreage between the vegetable and are different shapes, colors and sizes of fruit, but studies have shown that the center of origin of the chinense species is an area situated between four regions, southern Brazil and eastern Bolivia, western Paraguay and northern Argentina, and which was taken to the Yucatan Peninsula (Ruiz-Lau *et al.*, 2011).

In recent years, the area planted with habanero chili in Mexico has increased exponentially and is occurring throughout the year, but the production conditions are not the most appropriate, which affects the performance and quality of the fruit. For this reason, the aim is to seek to develop techniques to improve the efficient use of available resources, in order to increase yields and to promote a uniform product quality (Rodriguez *et al.*, 2006).

Agriculture is extremely susceptible to climate changes affecting the proper development of the crops, so protected production systems are considered as an important element in ensuring the production and safety of fresh fruits and vegetables (Nichols, 2007). One of the advantages of protected production systems is to minimize the restrictions that cause poor weather on crops, direct employment, safe crop production and increase production by up to five times, in relation to open-

field production (SAGARPA, 2012), therefore, currently organic crop production under greenhouse conditions appear as a very attractive proposition.

One pertinent trend is the conservation of agricultural systems through sustainable agriculture, based on the use of non-polluting natural products such as compost, worm castings and kelp, whereby such farming methods present a means to achieve food safety (Rodriguez et al., 2009). However, Pearson (2010) notes that the problems facing organic products are the lack of specialty markets and consumer information concerning organic production and differences from conventional production.

There are important factors which are suggested by a conversion from conventional agriculture to organic in order to offset the price increase in chemical fertilizers of which the potassium contained within them is one of the most expensive ingredients to produce (Rodriguez et al., 2009). In this respect, Borges et al. (2008) propose an amount of from 140 to 150 kg ha⁻¹ of potassium to produce 28 t ha⁻¹ habanero chili while Borges et al. (2010) suggest quantities of 130-120-160 kg N, P₂O₅ and K₂O, respectively, for the production of habanero chile. Other studies (Tun, 2001) reported that the requirement of genus *Capsicum* is 50-300 kg ha⁻¹ for potassium, but now that nutrient has reached a price of U.S. \$3.57 per kg, being more an expensive nutrient compared to nitrogen which is between \$1.32 and \$1.99 for phosphorus.

Conditions such as weather, temperature, light intensity, type of soil, compost, fertilizer, increased concentration of carbon dioxide in the atmosphere and the application of compounds of natural origin, can affect the content of antioxidants and antioxidant activity of the fruit harvested. Other factors that also affect the amounts

of antioxidants are: variations between crops, genotype, stages of maturity, cultivation and management practices (Wang, 2010).

By consuming habanero chile (*Capsicum chinense*) in addition to its pleasant taste, there are potential health benefits due to its high content of phytochemicals (Menichini *et al.*, 2009). For thousands of years, chillies have been selected on the basis of heat or piquancy, color, flavor and vitamin content. Pungency in the fruit is attributed to the production of capsaicinoids in the placenta. The color of the fruit is due to a combination of pigments: chlorophylls, carotenoids, anthocyanins which accumulate on the wall or pericarp of the fruit; the wall of the fruit may be green, yellow or purple during immature stages and yellow fruit red or orange during mature stages. The taste is partly the result of monoterpenoids and aliphatic aldehydes, which also accumulate in the wall of the fruit, while the content of vitamins, particularly ascorbic acid, is varied within habanero chili species, being one that has a greater content of this vitamin (Guzman *et al.*, 2011).

Given the high demand and high prices in the market affecting habanero chili, a production technology has been developed in some regions, with the use of alternative organic fertilizers in areas where resources are scarce and production is expensive, which are an alternative for achieving increase in performance and quality. Hence, currently organic products are being used to for crop management in controlled environments. The objective of this research was to determine whether supplementing chemical fertilization with potassium from organic sources, modified performance or not and the physical, biochemical and antioxidant content of habanero chile under greenhouse conditions.

MATERIALS AND METHODS

Work was established in the spring-summer period of 2012 in the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro greenhouse, located in Saltillo Coahuila, Mexico. The relative humidity ranged from 60-90% and temperatures were 15-30⁰C, the experimental design consisted of complete blocks in a randomized split plot arrangement with three replications. Organic nutrition levels were studied in the main plots, replacing between 25 and 50% of potassium from potassium-organic liquid humus (vermicompost leachate) and vermicompost, and for calculation of contributions of potassium an analysis was performed for both nutrition and liquid humus-based vermicompost, based on the results of contributions from each organic compound under the following N-P-K treatments: 240-200-120+50% liquid humus (N1) 240-200-180+25% liquid humus (N2) 240-200-120+50% vermicompost (N3), 240-200 to 180+25% vermicompost (N4) and control 240-200-240 (N5), the nutrition of nitrogen and phosphorus chemistry was complemented with inputs of with nitrogen and phosphorus of organic nutrition treatments (Table 1). Habanero chili varieties were studied as subplots Campeche (G1), Palenque (G2) and Jaguar (G3).

CUADRO 1. Nutritional content of solid and liquid vermicompost, as well as the recommended dose for habanero chili. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

	N	P	K	Ca	Mg	Na	B	Fe	Cu	Mn	Zn	PH
	Ppm											
Dose	240*	200*	240*	168.0	48.7	23.0	0.4	3.2	0.0	1.9	0.2	--
Liquid humus	0.06 ⁺⁺	0.08 ⁺⁺	14.4 ⁺⁺	21.0	22.0	136.0	27.3	17.0	1.8	3.2	2.5	8.2
Vermicompost	0.16 ⁺	0.108 ⁺	24.3 ⁺	11.0	23.0		15.7	15.0	1.8		0.3	7.2

* = recommended doses of N, P, K, are presented in Kg·ha⁻¹; ++ = ml·L⁻¹; + = g·kg⁻¹

The seeds were sown in polystyrene seedling trays with 200 cavities on April 10, 2012, were transplanted on May 18 high density polyethylene pots with a capacity of 16 liters, which were filled with peatmoss and perlite in a 60:40 relation as substrate. The pots were placed in rows 40 cm apart from each other and with a distance of 1.60 m between rows. A drip system was used for the test at a cost of 2 l hr⁻¹ per issuer; each nutrient solution was prepared in a 200 l container with a pump flow rate of 600 l hr⁻¹.

The total yield per plot was estimated by considering the weight of fruit of three plants per treatment and six cuts, for which the fruits of the six cuts were weighed on a precision balance (Sartorius brand 1352Q37 TS). The number of fruits per plant was the result of the sum of fruits per plant harvested with six cuts. The average fruit weight was determined based on the ratio of total weight of fruits per plant and total number of fruits per plant. To estimate the polar and equatorial diameter six fruits were taken randomly from the third and fourth plants and were measured with a precision digital vernier caliper (of brand AutoTECTM).

The content of vitamin C in fruits was determined according to the official AOAC method (2000), estimated mg of vitamin C · 100 g⁻¹ fresh weight of fruit.

Quantification of capsaicin content fresh fruits was determined by the method reported by Bennett and Kirby (1968). When 80% of the fruits reached physiological maturity, they were harvested and 1 gram fresh weight of fruit was taken for each treatment and was macerated in a mortar, to which was added 10 mL of absolute ethanol and the mixture was stirred for 15 minutes. It was then filtered through Whatman 1 paper and then gauged to 25 mL with ethanol. The sample was transferred to a separation flask and then to it was added 2.5 mL of buffer solution of sodium bicarbonate (NaHCO₃) at pH 2.8 plus 0.5 ml of ethanol, 20.5 mL of distilled water and 10 mL of toluene-Adogen solution. The mixture was stirred vigorously for 1 minute. Subsequently, the determination of absorbance of capsaicin in the organic phase was performed in a spectrophotometer (Bio-145025 biomate-5 Thermo Electron Corporation) at a wavelength of 286 nm. The readings were performed in triplicate for each sample. To determine the concentration of capsaicin in the samples, a calibration curve of this antioxidant was constructed (Sigma, Co.) within a range of 0 to 0.40 mg mL⁻¹, dissolved in the aforementioned solvents (Bennet and Kirby, 1968).

Quantification of total carotenoids, β-carotene and xanthophylls was determined by the method reported by Silverstein and Webster (1998).

$$\beta - \text{carotenos } \mu\text{g/ml} = \frac{\text{Abs}_{440} \times 3.857 \times \text{volumen}}{\text{Peso gr.}} (100)$$

$$\text{Xantofilas mg/kg} = \frac{\text{Abs}_{474} \times \text{factor de desviacion del espectofotometro}}{\text{peso gr.} \times 236} (\text{Dilucion final} \times 1000)$$

The results were analyzed with statistical software SAS (2002) for Windows version 9.0 for analysis of variance and comparison of means by the Tukey test ($P \leq .05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Performance Components

Nutrition treatments were significantly different ($p \leq 0.05$) for the variables weight of fruits per plant and fruit equatorial diameter. These differences were not of the same magnitude among varieties and interaction of nutrition for both varieties, the most important source of nutrition in increasing crop yields in the habanero chili under greenhouse conditions.

Statistically significant differences ($p \leq 0.01$) were found between nutrition treatments, in average weight and polar diameter of fruit, while among varieties was average fruit weight, number of fruits per plant, polar and equatorial diameter of fruit, aforementioned, suggesting that there are significant differences ($p \leq 0.01$) among the varieties under study, in important yield components of habanero chili. Furthermore, the interaction observed in nutrition varieties indicates that they behave differently according to nutrition treatments used.

The results shown in Table 2 indicate that there were different responses between treatments with different levels of organic nutrition. In this context Salas *et al.* (2010) conclude that it is feasible to use the liquid humus as a substitute for chemical fertilizers in forage production, which can induce the production of better quality fruits.

CUADRO 2. Mean squares for variables of components of performance of habanero chili yield nutrition treatments grown with treatments of chemical and organic potassium supplements.

Source of Variation	Degrees of Freedom	Mean Squares				
		WFP	PPF	NFP	FPD	FED
Blocks	2	9100.9ns	0.2ns	2313.9*	0.01ns	0.03ns
Nutricion(N)	4	77810.2*	3.4**	423.7ns	0.19**	0.07*
Error A	8	26835.0ns	0.4ns	818.6ns	0.04ns	0.01ns
Varieties (G)	2	10607.4ns	13.0**	4633.1**	0.26**	0.30**
N x G	6	38188.6ns	1.3**	2903.7**	0.02ns	0.07*
Error B	20	18031.9	0.2	648.9	0.04	0.02
C.V. %		15.4	8.3	15.3	5.9	6.5

*, **Significant at $p \leq 0.05$, 0.01, ns: non-significant, WFP: weight of fruits per plant, AFW: average fruit weight, NFP: number of fruits per plant: FPD: fruit polar diameter, FED: fruit equatorial diameter, C.V. %: coefficient de variation.

The results of comparison of means (Tukey $P \leq 0.5$) show that the WFP was affected by organic nutrition levels and the highest yield was obtained with chemical nutrition (N5) (1010.4g). However, this was statistically equal to treatments N2 (883.9g) and N3 (876.5ab), indicating that the yields are not significantly affected ($P \geq 0.05$) when part of the chemical nutrition is supplemented with organic sources of potassium. These results in liquid humus and vermicompost organic sources of nutrients that can contribute to fruit yield per plant and the yields obtained agree with those obtained by Ramirez *et al.* (2005) who indicated that gases can reach 18.642-45150 t ha⁻¹.

As no significant differences (Tukey $P \leq 0.5$) in AFW may indicate that the three varieties have competitive yields which are superior to the national average, as reported by the SIAP (2012) and that the performance of habanero chili with the use of greenhouses can be quadrupled (35 t ha^{-1}), in contrast to the yield of 8 t ha^{-1} obtained in the open field. Meanwhile, Borges *et al.* (2010) indicated that yields of $15,119 \text{ t ha}^{-1}$ are obtained by fertilization with 240-240-240 kg ha^{-1} of NPK, respectively.

The comparison of means (Tukey $p \leq 0.01$), indicate that the control treatment (N5) with 6.7 gr of PPF as a single chemical nutrition, statistically outperformed the other treatments (Figure 1). The Jaguar range (6.6 g) had an AFW significantly ($p \leq 0.01$) higher than the range Palenque (5.3 g) which exceeded 24.5% and 37.5% to the variety Campeche which, according to the findings of Borges *et al.* (2010), chemical nutrition allows greater AFW. This affirms the findings of this research since N5 and the Jaguar range are producing top quality fruit ($\geq 6.5 \text{ g}$), while the N3 treatment produces fruit of secondary quality, and treatments N1, N2 and N4 and varieties Palenque Campeche produced fruit of third quality.

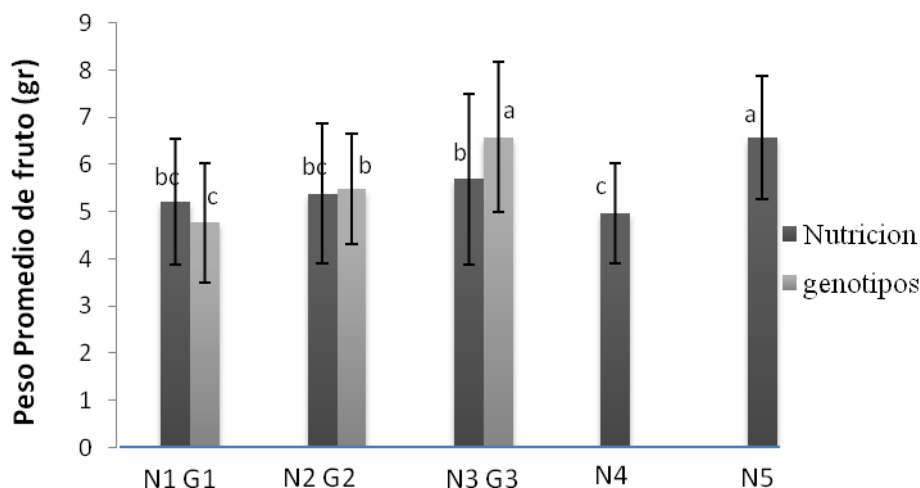


FIGURE 1. Effect of potassium nutrition supplemented with organic nutrition and varieties on average fruit weight of habanero chile, 240-200-120 +50% liquid humus (N1), 240-200-180 +25% liquid humus (N2); 240-200-120 +50% of vermicompost (N3) 240-200-180 +25% of vermicompost (N4) and control 240-200-240 (N5), Campeche variety (G1), Palenque variety (G2), Jaguar variety (G3).

Organic nutrition levels of chemical potassium nutrition supplements did not influence the number of fruits per plant of habanero chili cultivation (Table 3), although addition of potassium, with the use of incorporated organic fertilizers, micronutrients, humic and fulvic acids function as chelates in the culture medium. However, in the NFP if there was significant statistical difference between genotypes where variety Palenque (183.2) was statistically superior ($p \leq 0.05$) to the Jaguar range by 23.7%, with on average heavier fruits. Although, the habanero chili can produce up to 280 fruits per plant, but when this happens, up to 60% of the fruit is not marketable (Ramirez *et al.*, 2005).

With respect to fruit polar diameter (FPD) variables, supplementing K with organic sources played a decisive role in achieving the highest values of FPD, as the best size taken from the plot nourished with N3 treatment was statistically superior to the

control ($p \geq .0.05$), which exceeded 8.8%. Hence, it is likely note worthy that in addition to providing nutrients, vermicompost provides other compounds which promote increased fruit size. It was found that Campeche variety was statistically superior in FPD to the Jaguar range at which exceeded 9.1%, the variety Campeche was statistically higher ($P \leq 0.05$) to the Jaguar variety in FED, exceeding by 13.6%. However, it was observed that average fruit weight of Jaguar variety had the highest average fruit weight, therefore, despite producing smaller fruits, they are heavier, therefore on can infer that the mesocarpof Campeche variety is thinner, and furthermore is larger and lighter.

Fruit equatorial diameter was not affected by the use of organic nutrition since no difference was observed between treatments with K input of organic or chemical sources (Table 3). Rodriguez *et al.* (2009) used nutrient solutions from vermicompost in tomato production and found no difference in the thickness of the pericarp, polar and equatorial diameter of fruits, thus togetherwith this highlighting that the use of organic fertilizers can be an alternative for generating good quality, without affecting fruit size.

CUADRO 3. Comparison of means of factors A and B of performance variables of habanero chili grown under greenhouse conditions.

Treatments of nutrition and genotypes			WFP	NFP	FPD	FED (cm)
N	P	K				
240-200-120+50%	liquid humus	(N1)	803.2b	159.5	3.4ab	2.5a
240-200-180+25%	liquid humus	(N2)	883.9ab	173.4	3.4ab	2.4ab
240-200-120+50%	vermicompost	(N3)	876.5ab	166.9	3.7a	2.4ab
240-200-180+25%	vermicompost	(N4)	769.1b	171.9	3.3b	2.2b
240-200-240	(control)	(N5)	1010.4a	158.6	3.4b	2.3ab
Varieties						
	Campeche		840.1a	183.2 a	3.6a	2.5a
	Palenque		873.1a	166.9ab	3.5ab	2.3b
	Jaguar.		892.7a	148.1 b	3.3b	2.2b

*Means with the same letter within each column are statistically equal (Tukey, $\alpha= 0.05$), WFP: weight of fruits per plant, AFW: average fruit weight, NFP: number of fruits per plant: FPD: fruit polar diameter, FED: fruit equatorial diameter.

applying a Tukey means analysis ($p \leq 0.05$) interactions (Nutrition x Variety) for the variable AFW it was found that treatments N3 and N5 with the Jaguar variety were statistically superior to other combination values of 7.4 and 7.8 g, respectively; it is noteworthy that the varieties did not have the same response to nutrition levels studied. For the variable, number of fruits per plant the N2 treatment with Palenque variety had the highest number of fruits, but when reviewing the PPF in treatment N2 with Palenque variety, we discovered that this was one of the lowest values. We found a similar relationship with the N3 treatment and Campeche variety, demonstrating an inverse relationship between these variables. Furthermore, there is a differential response of varieties with respect to nutrition levels in this study (Table 4), and the columns of the show that for variable PPF the three varieties had the best performance with treatment N5. However, this demonstrates that varieties had a different response in the other levels of nutrition, although the Campeche variety had an equal response in NFP, regardless of the level of nutrition, but Jaguar and

Palenque varieties responded in a statistically different manner with respect to the nutrition levels studied.

CUADRO 4. Comparison of means of interaction of nutrition x varieties of two characteristics of habanero chile.

Treatment	Weight of fruits per plant (g)			Number of fruits per plant		
	Campeche	Palenque	Jaguar	Campeche	Palenque	Jaguar
N1	5.0A:ab	5.2A:ab	5.4A:c	168.9AB:a	120.1B:c	189.4A:a
N 2	5.3A:ab	4.6B:b	6.3A:bc	165.4AB:a	206.7A:a	148.1B:a
N 3	4.3C:bc	5.4B:ab	7.4A:ab	201.8A:a	181.5A:b	117.7B:b
N 4	3.6B:c	5.3A:ab	6.0A:c	188.4A:a	167.3A:ab	160.1A:a
N 5	5.7B:a	6.2B:a	7.8A:a	191.6A:a	191.6A:b	125.3B:b

Uppercase letters represent the behavior of genotypes within each level of nutrition. Lowercase letters represent the behavior of each genotype across nutrition levels.

Components of biochemical-antioxidant quality

Solanaceous plants, such as some peppers (*Capsicum annuum*, *Capsicum chinense*) produce secondary metabolites that are used to protect pathogens such as vitamin C, capsaicinoids and carotenoids which are very important for the human diet. The European Scientific Committee on Food, reports that per-capita consumption in Europe and the United States is 1.5 mg of capsaicin. Meanwhile, Mexico, India and Thailand consume an average of 25-200 mg (Azaet *al.*, 2011). Table 5 shows the mean squares of the analysis of variance applied to biochemical-antioxidant variables of habanero chili fruit. The analysis of variance applied to capsaicin shows no significant differences between levels of nutrition or varieties (Table 5), however the content of vitamin C, total carotenoids and β -carotene were significantly affected (p

≤ 0.01) in levels of nutrition and variety, and variance analysis also shows that varieties respond differently to the studied nutrition treatments. However, xanthophylls did not respond to the nutrition levels under this study, but content presented statistically differently from one variety to another, and varieties responded significantly differently ($p \leq 0.01$) to the studied nutrition levels.

CUADRO 5. Sum of squares of the biochemical-antioxidant variables of habanero chili treatments under study and potassium nutrition supplemented with organic nutrition (factor A) and three varieties of habanero chile (Factor B) grown under greenhouse conditions.

Source of Variation	Degrees of freedom	Mean squares				
		Capsaicina	Vitamin C	Carotenoides	β -carotene	Xantofilas
Blocks	2	25454.6ns	102.1ns	240644.9ns	1.6ns	191.0ns
Nutrition (A)	4	27838.2ns	5224.9**	2097168.4**	19.3**	242.2ns
Error A	8	31275.4ns	79.9ns	529611.6ns	1.5ns	71.2ns
Varieties (B)	2	7173.8ns	1453.1**	3881695.1**	24.4**	5639.3**
A x B	6	14796.5ns	3146.6**	2522558.2**	2.2**	275.5**
Error B	20	17604.7	68.6	277851.5	0.7	97.6
C.V.%		7.5	4.5	33.2	17.6	28.7

*, ** Significant at $p \leq 0.05, 0.01$, ns: non-significant, C.V: Coefficient of variation.

Comparison of means presented in Table 6 shows that the variable capsaicin is not modified when organic products are used in K supplementing, because the control was statistically numerically equal to other treatments with a range of 1730.3 to 1857.2 mg/g. These values are higher than those reported by Broderick and Cooke

(2009) who reported 1187.4 mg/g in habanero chili and jalapeno peppers, while reporting an amount of 105 mg/g of capsaicin. Similar results were reported by Borges *et al.* (2010) with respect to habanero chili in determining the capsaicin content of fruits of plants grown under different nutrient levels of N, P₂O₅ and K₂O and there were no differences between treatments. However, there are numerous reports showing that capsaicin may vary between types of chilies in this sense. Kozukue, *et al.* (2005) studied different antioxidants and capsaicinoids in placentas, pericarp and seeds of the fruits of different kinds of chilies and discovered differences in each. Meanwhile, Eyal *et al.* (2003) and Sanju *et al.* (2012) reported that capsaicin and hydrocapsaicin represent 90% of the pungency of chili, and these characteristics are influenced by planting density and the annual season in which it occurs.

Vitamin C is a natural antioxidant and is known to reduce the risk of neurodegenerative diseases such as Alzheimer's disease (Jin and Yonh, 2004). In this study we found that treatments N1, N3 and N5 were statistically equal in vitamin C, but statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$) in N2 and N4 treatments. Treatments indicating that nutrition can affect the concentration of this important secondary metabolite indicated that Palenque and Jaguar varieties were statistically similar, but statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$) from Campeche variety, indicating that variation in vitamin C not only changes according to the type of chile (Broderick and Cooke, 2009), but also between varieties of the same species. These results agree with those reported by Nuez *et al.* (2003) who indicate that the content of vitamin C is affected by several factors such as agronomic type, outdoor or greenhouse growing conditions, irrigation, fruit ripeness, nutrition and cultivars.

The carotenoid content in potassium supplement treatments of organic origin shows significant differences between treatments ($p \leq 0.05$) demonstrating that the use of organic products improves the concentration of this group of antioxidants, because the control had the lowest value of 1070.3 mg/100gr. This agrees with results reported by Kopsell *et al.* (2009) who suggest that a nutritional regimen can influence the accumulation of plant carotenoids. Meanwhile, Campeche variety was statistically superior to Palenque and Jaguar varieties with 35.5 and 44.3 percent, respectively. Moreno *et al.* (2010) working with different types of chilies for quantification of carotenoids, found that in many of these, the present variety shows fresh habanero chili as 932.5 mg 100g⁻¹.

With respect to nutrition treatments treatment 1 (6.95 mg/ml) was statistically superior ($p \leq 0.05$) in β -carotene content than the other treatments, exceeding 109% of only chemical nutrition treatment (Table 6), therefore we can conclude that potassium supplementing with 50% potassium provided by vermicompost increased the content of β -carotene, improving nutritional quality and color. The latter is an important quality characteristic, because it determines maturity and post-harvest life and is a factor in consumer acceptability (Zapata *et al.*, 2007). In contrast, Campeche variety was statistically higher ($p \leq 0.05$) than Jaguar and Palenque varieties with 38.63 and 64.9%, respectively. Campeche variety was higher at 0.72 mg/ml being the value reported by Minguez and Homer (1993) yellow pepperfruits with 6.23mg/ml of β -carotene. When speaking of fruit consumption, color is the first parameter determining consumer decisions, although color pepper crops are modified by the production system, either organically or traditionally, however, this may be a result of many components within the environment to which the plant is subjected

(Perez *et al.*, 2007). In the content of xanthophylls no statistically significant difference existed between nutrition treatments, however between varieties there were statistically significant differences ($p \leq 0.05$). Campeche variety was statistically superior to Palenque and Jaguar varieties at 129 and 160.5%, respectively. Therefore, Campeche variety is known for having high amounts of carotenoids that help to achieve high nutritional quality of fruits (Table 6).

CUADRO 6. Comparison of means of variables related to the antioxidant capacity of habanero chili fruit developed under greenhouse conditions.

Treatments of nutrition and genotypes		Caps	vit.C	Carot	β -caro	Xant $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$
N - P - K		$\mu\text{g}\cdot\text{gr}^{-1}$	$\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$	$\text{Mg}\cdot 100^{-1}$	$\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$	
N1	240-200-120+50% liquid humus	1734.7	198.1a	1695.3ab	6.9a	36.4
N2	240-200-180+25% liquid humus	1736.8	148.9c	1553.4b	5.4b	38.6
N3	240-200-120+50% vermicompost	1730.3	200.2a	1290.0b	4.3bc	39.2
N4	240-200-180+25% vermicompost	1799.3	163.6b	2338.0a	3.7c	30.7
N5	240-200-240 (control)	1857.2	199.3a	1070.3b	3.3c	27.4
Varieties						
G1	Campeche	1749.2	170.7b	21.66.5a	6.1a	56.8a
G2	Palenque	1772.9	186.4a	1395.8 b	4.4b	24.8b
G3	Jaguar	1792.9	188.9a	1206.0b	3.7b	21.8b

*Means with the same letter within each column are statistically equal (Tukey, $\alpha = 0.05$), Caps= Capsaicin; vit.C:=Vitamin C; Carot= total carotenoids; β -caro= β -carotenos; Xant=xanthophylls.

Table 7 shows that the varieties under study had a vitamin C content which was statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$) in each studied nutrition level, indicating the interaction between varieties and nutrition levels studied. The three varieties studied had a different behavior according to observed nutrition levels. Campeche variety had the best performance N1, N2 and N5 levels, while Palenque variety had the

highest content of vitamin C with N5 level, and Jaguar variety had the highest content of vitamin C with level N5, as presented above the interaction of the varieties studied nutrition levels are demonstrated. With respect to the aforementioned findings, we refer to what was noted by Duarte *et al.* (2010), who indicated that organic fertilization can help to have a higher content of vitamin C in citrus fruits, although the response is influenced by the species and cultivar. The lowest value observed was $109.8 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fresh weight of fruit, while the highest was $226.9 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fresh weight of fruit; these values were higher than those reported by Manju and Sreelathakumary (2002) and while working with 32 genotypes they found that ascorbic acid content varies in habanero chili by $136.33 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fresh weight of fruit. Besides having high breeding values, this establishes that vitamin C content can be improving selection.

We also found interaction between variety x organic nutrition treatments studied, which is shown in the contents of xanthophylls observed, especially Campeche variety which showed very different behavior in the nutrition levels studied, however the Palenque and Jaguar varieties were very stable throughout nutrition treatments, but with treatment N4, the three varieties had statistically similar behavior ($p \leq 0.05$). Although, we highlighted treatment of N2 and N3 and Campeche variety with the largest of xanthophyll values 76.8 and $66.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively; while, the lowest value was recorded in the treatment of nutrition N5 and Palenque variety, with value of $16.9 \text{ mg} / \text{kg}$ (Table 7). This value was exceeding by 354% the highest value observed, showing the antioxidant capacity of the Campeche variety and nutrition level N2.

CUADRO 7. Comparison of means of interaction of nutrition x varieties of two characteristics of habanero chile under greenhouse conditions.

Treatment	Vitamin C (mg·100 gr of fresh weight ⁻¹)			Xanthophylls (µg·gr ⁻¹)		
	Campeche	Palenque	Jaguar	Campeche	Palenque	Jaguar
N1	212.1A:a	179.0B:bc	203.3A:b	50.1A:bc	31.3A:a	27.7B:a
N 2	123.2B:b	163.4A:c	160.1A:c	76.8A:a	19.0B:a	20.1B:a
N 3	213.4A:a	193.1B:b	193.9B:b	66.1A:ab	32.7B:a	18.8B:a
N 4	109.8C:b	220.7A:a	160.4B:c	43.9A:c	24.1A:a	23.9A:a
N 5	195.2B:a	175.6C:bc	226.9A:a	46.9A:bc	16.9B:a	18.4B:a

Uppercase letters represent the behavior of genotypes within each level of nutrition. Lowercase letters represent the behavior of each genotype across nutrition levels.

The study of the synthesis of carotenoids is currently an important topic in research as it can counter the biotic and abiotic constraints through mediation by reactive oxygen species (Urban *et al.*, 2009). The carotenoid content of Campeche variety was found to respond differently to treatment N4, while Jaguar and Palenque varieties responded similarly to nutrition levels, regardless of the use of organic or synthetic nutrition (Table 8). Campeche variety with N4 level presented the highest value of total carotenoids, with a value of 4693.4 (mg 100g⁻¹ fresh weight of fruit), while the combination that presented the lowest value was N5 x G2 with a value of 819.0 (mg 100g⁻¹ fresh weight of fruit). These results are similar to those presented by Perez *et al.* (2007) when working with traditional, organic, integrated and agriculture, evaluated the total carotenoid content in fruits of peppers, finding that this variable is statistically higher in organic agriculture with value of 3231 mg/kg

followed by integrated farming with 2493 mg/kg and traditional farming values obtaining 1829 mg/kg.

The β -carotenes are of utmost importance for the elimination of free radicals by both plants and humans. Under the conditions of this study it was found that the antioxidant content is promoted by the use of organic fertilizers, as in the comparison of means of N1 in combination with Campeche variety, which are those with the highest content, with a value of 8.8 mg ml⁻¹, statistically exceeding the levels N3, N4 and N5, although being statistically equal to Palenque and Jaguar varieties in the same level of nutrition (N1). The three varieties under study had the highest β -carotene content in level N1, statistically resulting higher than the value observed in level N5, therefore, it follows that the use of supplementing liquid humus with a 50% potassium dose favors β -carotene synthesis, promoting the nutritional quality of the fruit (Table 8).

CUADRO 8. Comparison of means of interaction of nutrition x varieties of two characteristics of antioxidants in habanero chile fruits grown under greenhouse conditions.

Treatment	Total carotenoids (mg 100g ⁻¹)			β -carotenes (mg ml ⁻¹)		
	Campeche	Palenque	Jaguar	Campeche	Palenque	Jaguar
N 1	1741.2Ab	1849.8Aa	1495.0Aa	8.8Aa	6.6Ba	5.4Ba
N 2	1993.0Ab	1082.0ABa	865.3Ba	7.6Aab	4.4Bab	4.1Bab
N 3	1083.1Ab	1332.8Aa	1454.2Aa	6.2Abc	3.5Bb	3.0Bab
N 4	4693.4Aa	1175.4Ba	1145.3Ba	3.8Ad	4.4Aab	3.0Aab
N 5	1321.8Ab	819.0Aa	1069.9Aa	4.2Acd	2.9Ab	2.8Ab

Uppercase letters represent the behavior of genotypes within each level of nutrition. Lowercase letters represent the behavior of each genotype across nutrition levels.

CONCLUSIONS

Using organic nutrition as supplementing partial K required for cultivation, does not negatively affect the weight of fruit per plant, number of fruit per plant and fruit size, with the result that organic K supplementing is an alternative method in reducing application of potassium of synthetic origin.

There were no statistically significant differences in the capsaicin content between varieties and nutrition levels of this study had no significant influence on the content of vitamin C, therefore, it can be inferred that organic nutrition does not affect the content of capsaicin.

With the use of organic fertilizers to supplement K chemical nutrition, one can maintain yields of habanero chilifruit, in a similar manner to those obtained with K fertilization of synthetic origin, while the physical quality of the fruit is favored, and the results obtained in this work allow us to conclude that the use of organic nutrition in growing habanero chile allows an increase in total carotenoids and consequently the β -carotene content, although the content of xanthophylls was not affected by the use of organic nutrition. Therefore, one can conclude that the use of nutrition-based organic vermicompost or liquid humus can improve the antioxidant quality of habanero chili under greenhouse conditions.

LITERATURE CITED

- AOAC, 2000. Official methods of analysis, 17thed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.
- Aza-Gonzales, C., H. G. Núñez-Pelenius and N. Ochoa-Alejo. 2011. Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum* spp.). Plant Cell Reports 30(5):695-706.

- Bennett, D. J. and G. W. Kirby. 1968. Constitution and biosynthesis of capsaicin. *Journal of the Chemical Society* 442-446.
- Borges-Gómez, L., L. Cervantes-Cardenas, J. Ruiz-Novelo, M. Soria-Fregoso, V. Reyes-Oregel y E. E. Villanueva-Couoh. 2010. Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Terra Latinoamericana* 28(1):35-41
- Broderick, C. E. y P. H. Cooke. 2009. Fruit composition, tissues, and localization of antioxidants and capsaicinoids in *capsicum* peppers by fluorescence microscopy. *Acta Horticulturae* 841:85-90.
- Corona-Torres, T., A. García-Velázquez, F. Castillo-González, V. Montero-Tavera y H. S. Azpiroz-Rivero. 2000. Caracterización isoenzimática de la diversidad genética de colectas de chile (*Capsicum annuum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6(1): 5-17
- Duarte, A., D. Caixeirinho, M.G. Miguel, V. Sustelo, C. Nunes, M. Mendes, y A. Marreiros. 2010. Vitamin C content of citrus from conventional versus organic farming systems. *Acta Horticulturae* 868:389-394.
- Eyal, B., M. Mazourek, O. M. Connell, J. Curry, T. Thorup, L. Kede, M. Jahn and P. Llan, 2003. Molecular mapping of capsaicinoid biosynthesis genes and quantitative trait loci analysis for capsaicinoid content in *Capsicum*. *Theoretical Applied Genetics* 108:79-86.
- Borges-Gómez, L., T. González-Estrada y M. Soria-Fregoso. 2008. Prediction of potassium requirements for *Capsicum chinense* Jacq. production in southeast México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 8: 69-80.
- Guzman, I., W. B. Paul and A. O. M. Connell. 2011. Heat, color, and flavor compounds in capsicum fruit, the biological activity of phytochemicals 41:109-126.
- Jin-Heo, H. and C. Yonh-Lee. . 2004. Protective effects of quercetin and vitamin C against oxidative stress-induced neurodegeneration. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 52 (25): 7514-7517.
- Kopsell, D. A., M. G. Lefsrud and D. E. Kopsell. 2009. Pre-harvest cultural growing conditions can influence carotenoid phytochemical concentrations in vegetable crops. *Acta Horticulturae* 841:283-294.
- Kozukue, N., H. Jae-Sook, E. Kozukue, L. Sin-Jung, K. Joung-Ae, L. Kap-Rang, C. E. Levin and M. Friedman. 2005. Analysis of eight capsaicinoids in peppers and pepper-containing foods by high-performance liquid chromatography and liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 53: 9172-9181.
- Manju, P. R. and I. Sreelathakumary. 2002. Quality parameters in hot chilli (*Capsicum chinense* Jacq.). *Journal of Tropical Agriculture* 40: 7-10
- Menichini, F., R. Tundis, M. Bonesi, R. Monica, C. F. Loizzo, S. Giancarlo, D. B. Cindio, J. Peter and C. F. M. Houghton. 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. *Food Chemistry* 114: 553-560.
- Mínguez-Mosquera, M., and D. Hornero-Mendez. 1993. Separation and quantification of the carotenoid pigments in red peppers (*Capsicum annuum* L.), paprika, and oleoresin by reversed-phase HPLC. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 41:1616-1620
- Moirangthem, S. S., Gogoi, S., Thongbam, P. D., Ramya, K. T., Fiyaz, R. A., & Pandey, D. S. (2012). Effect of sowing time and crop geometry on the Capsaicinoid content in BhootJolokia (*Capsicum chinense* Jacq.). *Journal of Food Science and Technology* 49: 1-8.
- Moreno-Limon, S., J. A. Guerra-Cantú, M. L. Cárdenas-Avila, M. A. Nuñez-González, H. Gamez-González y J. A. Villarreal-Garza. 2010. Determinación de carotenoides y clorofila en frutos de cuatro variedades de chile (*capsicum* sp). XII congreso

- nacional de ciencia y tecnología de alimentos Jueves 27 y viernes 28 de mayo. Guanajuato, Gto. México.
- Nichols, M. 2007. Good agricultural practises (gap) and greenhouse crops. *Acta Horticulturae* 742:135-138.
- Nuez, F., Ortega, R. G. y Costa, J. 2003. El cultivo de pimiento chiles y ajíes. Ed. Grupo – Mundi-Presa. Madrid, España. 607 p.
- Padayatt, S. J., R. Daruwala, Y. Wang, P. K. Eck, J. Song, W. S. Koh y M. Levine. 2001. Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. In: *Handbook of Antioxidants*. Cadenzas, E.; Packer, I. (eds) 2nd edition. CRC Press. Washington DC, USA. pp 117-145.
- Pearson, D. 2010. Exploring shopping behavior to improve marketing of organic fruits. *Acta Horticulturae* 873:45-56.
- Pérez-López, J.A., J. M. López-Nicolas, E. Núñez-Delicado, F. M. del Amor and A. A. Carbonell-Barrachina. 2007. Effects of agricultural practices on color, carotenoids composition, and minerals contents of sweet peppers, cv. Almuden. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 55:8158–8164.
- Ramírez-Luna, E., C. de la C. Castillo-Aguilar, E. Aceves-Navarro, E. Carrillo-Ávila. 2005. Efecto de productos con reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile ‘habanero’. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(1): 93-98.
- Rodríguez-Dimas, N., P. Cano-Ríos, U. Figueroa-Viramontes, E. Favela-Chávez, A. Moreno-Resendez, C. Márquez-Hernández, E. Ochoa-Martínez y P. Preciado-Rangel. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana* 27(4): 319-327.
- Rodríguez-Fuentes, H., S. Muñoz-López y E. Alcorta-García. 2006. El tomate rojo. 86p. Editorial Trillas. D. F. México.
- Ruiz-Lau, N., F. Medina-Lara y M. Martínez-Estévez. 2011. El chile habanero: su origen y usos. *Ciencia*. 73:70-77.
- SAGARPA, (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. Importancia de la agricultura protegida. www.SAGARPA.gob.mx.
- Salas-Pérez, L., P. Preciado-Rangel, J.R. Esparza-Rivera, Vicente de P. Álvarez-Reyna, A. Palomo-Gil, N. Rodríguez-Dimas y C. Márquez-Hernández. 2010. Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana* 28(4):355-360.
- SIAP (Servicio de Inspección Agroalimentaria y Pesquera). 2012. Anuario estadístico de la producción de chile habanero en condiciones de invernadero. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350.
- Silverstein, R. M. and F. X. Webster. 1988. *Spectotrometric identification of organic*. Six Edition. Ed. John Wiley and Sons, N.Y.
- Tun, D.C. 2001. Características y tecnología de producción de chile habanero. SAGARPA. INIFAP-PRODUCE. Mérida, Yucatán. México. 74 p.
- Urban, L., L. Berti, F. Bourgaud, H. Gautier, M. Léchaudel, J. Joas and H. Sallanon. 2009. The effect of environmental factors on biosynthesis of carotenoids and polyphenolics in fruits and vegetables: a review and prospects. *Acta Horticulturae* 841:339-344.
- Villa, C. M. M.; V. E. A. Catalán, I. M. A. Inzunza y L. A. Román. 2011. Población de plantas y manejo de la solución nutritiva de *capsicum chinense* Jacq. en invernadero. Memoria. VI Reunión Nacional de Innovación Agrícola León, Guanajuato, México.
- Wang, S. Y. 2010. Maximizing antioxidants in fruits. *Acta Horticulturae* 877:81-93.
- Zapata L., Gerard L., Davies C., Oliva L., Schwab M. 2007. Mathematical correlation of tomato colour indexes with textural parameters and carotenoids concentration. *Ciencia, Docencia y Tecnología* 34 (18):207-226.

IV. CONCLUSIONES

El uso de nutrición orgánica como suplementando parcial del K requerido por el cultivo, no afecta de forma negativa el peso de fruto por planta, número de frutos por planta y tamaño de fruto, resultando la suplementación de K orgánico como una alternativa en la reducción de la aplicación de potasio de origen sintético.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas en el contenido de capsaicina entre genotipos y los niveles de nutrición estudiados no influyeron de forma significativa sobre el contenido de vitamina C, por lo tanto se puede inferir que la nutrición orgánica no afecta el contenido de capsaicina.

Con el uso de abonos orgánicos como complemento de la nutrición química de K, se pueden tener rendimientos de fruto de chile habanero, semejantes a los obtenidos con fertilización de K de origen sintética, mientras que la calidad física del fruto se ve favorecida, además los resultados obtenidos en éste trabajo permiten concluir que el uso de nutrición orgánica en el cultivo de chile habanero permite incrementar el contenido de carotenoides totales y dentro de éstos el contenido de β -carotenos, aunque el contenido de xantofilas no se vio afectado por el uso de nutrición orgánica. Por lo tanto es posible concluir que con el uso de nutrición de orgánica a base de vermicomposta o humus líquido pueden mejorar la calidad antioxidante del chile habanero bajo condiciones de invernadero.

V. LITERATURA CITADA.

- Abou, A. F. H.; Mohamed, A. O.; Fattah I. A. A. y Mohamed, E. S. 2001. Effect of composted greenhouse wastes on macro-nutrients concentration and productivity of cucumber. *Acta Hort. (ISHS)* 549:123-130 http://www.actahort.org/books/549/549_13.htm
- ACEA. Asesores en Construcción y Extensión Agrícola A.A de C V. 2012. invernaderos para el mundo
- Alavez, H. Z. 2011. Rendimiento y calidad del fruto de seis genotipos de jitomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) con nutrición orgánica bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Aza, G. C.; Núñez, P.; Herctor, G. y Ochoa, A. N. 2011. Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum* Spp.). *Plant Cell Reports*. 30(5)::695-706 <Http://Www.Springerlink. Com/Content/ C52086606530 78m7/>
- Barbero, F. G.; Palma, M. y Barroso, G. C. 2006. Pressurized liquid extraction capsaicinoids from peppers. *Agric. Food Chem*, 54: 3231-3236.
- Borges G., L.; Cervantes, C. L.; Ruiz, N. J.; Soria, F. M.; Reyes, O. V.; y Villanueva, C. E. 2010. Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum Chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Terra Latinoamericana*. 28(1):35-42
- Broderick, C. E. and Cooke, P. H. 2009. Fruit composition, tissues, and localization of antioxidants and capsaicinoids in *Capsicum* Peppers by Fluorescence Microscopy. *Acta Hort. (ISHS)* 841:85-90. http://www.actahort.org/books/841/841_7.htm.
- Capullin, G. J.; Mohedano, C. L.; Sandoval, E. M.; Capullin, V. J. C. 2011. Estiércol bovino líquido y fertilizantes inorgánicos en el rendimiento de jitomate en un sistema hidropónico. *Revista Chapingo serie Horticultura*. XVII (2):105-114
- Contreras, P. M. y Elhadi M. Y. 1988. Changes in capsaicinoids during development, maturation, and senescence of chile peppers and relation with peroxidase activity. *J. Agric. Food Chem.*46: 2075-2079.
- Corona, T. T.; García, V. A.; Castillo, G. F.; Montero, T. V. Y Azpiroz, H. S. R. 2000. Caracterización isoenzimática de la diversidad genética de colectas de chile (*Capsicum Annuum* L. Y *Capsicum Chinense* Jacq.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6(1): 5-17

- Crane, M. B. y Zilva, S. S. 1950. The Influence of some genetic and environmental factors on the concentration of *l*-ascorbic in the tomato fruit. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 25 (1): 36-49 http://www.jhortscib.org/Vol25/25_1/4.htm.
- Duarte, A.; Caixeirinho, D.; Miguel, M.G.; Sustelo, V.; Nunes, C.; Mendes, M. y Marreiros, A. 2010. Vitamin C content of citrus from conventional versus organic farming systems. *Acta Hort. (ISHS)*. 868:389-394. http://www.actahort.org/books/868/868_52.htm
- Estrada, B.; Pomar, F.; Díaz, J.; Merino, F. y Bernal, M. A. 1988. Effects of mineral fertilizer supplementation on fruit development and pungency in 'padrón' peppers. *the journal of horticultural Science & Biotechnology*. 73(4):493-498, <http://www.jhortscib.org/allvolumes.htm>
- FAO. 2009. Secretaría del Foro de Alto Nivel de Expertos Cómo alimentar al mundo en 2050. Roma 12-13 octubre 2009. www.
- Galli, F., D. D. y Pomper, K. W. 2007. Pawpaw: an old fruit for new needs. *Acta Hort. (Ishs)* 744:461-466 http://www.actahort.org/books/744/744_56.htm
- Garceä, C. Ana.; Gil, O. Ramiro.; Aä, L.N. Fernä. A. y Arnedo, A. M. Soledad. 2007. Inheritance of capsaicin and dihydrocapsaicin, determined by hplc-esi/ms, in an intraspecific cross of *capsicum annum* l. *J. Agric. Food Chem.* 55:17.
- Gómez, L. B.; González, E. T; y Soria, F. M. 2008 a. Prediction of potassium requirements for *Capsicum Chínense* Jacq. production in southeast México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 8: 69-80.
- Gómez, L. B.; Soria, F. M.; Casanova, V. V.; Villanueva, C. E. y Pereyda, P. G.; 2008 b. Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de yucatán, méxico, para el cultivo de chile habanero. *Agrociencia*: 42(1): 21-27
- Gómez, C. M. A. R; Schwentesius, R.; Javier, O. R. Y Gómez, T. L. 2010. Situación y desafíos del sector orgánico de méxico. *revista mexicana de ciencias agrícolas*. 1(4):593-608.
- Guzman, I., W. B. Paul and A. O. M. Connell. 2011. Heat, color, and flavor compounds in *capsicum* fruit. the biological activity of phytochemicals. 41:109-126, <http://www.springerlink.com/content/v46t237483544px8/>.
- Granatstein, D. K. y Willer, H. 2010. Current world status of organic temperate fruits. *Acta Hort. (ISHS)* 873:19-36 http://www.actahort.org/books/873/873_1.htm
- Hernández, H. A. 2011. Ácidos húmicos y fúlvicos en la producción hidropónia de chile manzano (*Capsicum Pubescens* R Y P) En Invernadero. Tesis de Maestria. Colegio De Posgraduados. Montecillo. Edo. México, México.
- Ho, J. H.; y Chang, Y. L. 2004. Protective effects of quercetin and vitamin c against oxidative stress-induced neurodegeneration. *J. Agric. Food Chem.*, 52(25):7514-7517. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf049243r?prevSearch=vitamin%2BC&searchHistoryKey>.
- Jaren, G. M.; Uwe. N. Y Steven, J. S. 1999. Paprika (*Capsicum annum*) oleoresin extraction with supercritical carbon dioxide. *J agric. Food chem.* Vol. 47:3558-3564.

- Kanazawa, K. 2008. Finding bioavailable phytochemicals which express a beneficial effect on health. *Functional Food and Health*. 2: 8-17. DOI: 10.1021/bk-2008-0993.ch002. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-20080993.ch002?prevSearch=xanthophylls&searchHistoryKey=>
- Kopsell, D. A.; Kopsell, D. E.; Curran, J. Celentano. Y Wenzel, A. J. 2009. Genetic variability for lutein concentrations in leafy vegetable crops can influence serum carotenoid levels and macular pigment optical density in human subjects . *Acta Hort. (ISHS)*. 841:113-118.
- Kirstie, C. A. y John W. E. 2009. absorption, transport, distribution in tissues and bioavailability. *Chemistry And Materials Science*. 5:115-148, Doi:10.1007/978-3-7643-7501-0_7. <http://www.springerlink.com/content/hr7644417m82212h/>
- Kopsell, D. A.; Lefsrud, M. G. Y Kopsell, D. E. 2009. Pre-Harvest cultural growing conditions can influence carotenoid phytochemical concentrations in vegetable crops . *Acta Hort. (ISHS)*. 841:283-294. Http://Www.Actahort.Org/Books/841/841_34.Htm.
- Leskovar, D. I.; Bang, H.; Kim, S. L.; Sun, K. Yoo.; King, S. R. y Crosby, K. 2007. Environmental and genetic factors on carotenoids and quality in watermelon fruits. *Acta Hort. (ISHS)*. 744:233-242 http://www.actahort.org/books/744/744_24.htm
- Leskovar, D. I.; Crosby, K. y Jifon, J. L. 2009. Impact of agronomic practices on phytochemicals and quality of vegetable crops. *Acta Hort. (ISHS)* 841:317-322. http://www.actahort.org/books/841/841_38.htm
- Llan Levin.2009. Regulating phytonutrient levels in plants–toward modification of plant metabolism for human health. *Biomedical and Life Sciences. Recent Advances in Plant Biotechnology*. 3: 289-330, Doi: 10.1007/978-1-4419-0194-1_12.
- Lo Scalzo, R. 2009. Activity of antioxidant plant compounds considered unusual. *Acta Hort. (ISHS)* 841:397-402 http://www.actahort.org/books/841/841_50.htm.
- Martín, M. R.; Nexticapan, G. A.; Larqué, S. A. 2012. Las 3 principales plagas del chile habanero. *De riego*. No 59 diciembre-enero
- Marín, A.; Federico, F. F.; Barberán, T. A., y Gil, M. I. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 52 (12), pp 3861–3869. DOI:10.1021/jf0497915. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf0497915?prevSearch=xanthophylls&searchHistoryKey=>
- Martínez, T.R.; Larqué, E.; Gonzales, S. D.; Sanchez, C. M; Burgos, M. I.; Wellner, A.; Parra, S.; Bialek, L.; Alminger, M.; Perez, LI. F. 2012. Effect of the consumption of a fruit and vegetable soup with high in vitro carotenoid bioaccessibility on serum carotenoid concentrations and markers of oxidative stress in young men *European Journal of Nutrition*. 51:231–239
- Menichini, F.; Tundis, R.; Bonesi, M.; Monica, R.; Loizzo, C. Filomena.; Giancarlo, S.; Cindio, D. B.; Peter, J.; Houghton, C. F. M. 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum Chinense* Jacq. Cv habanero. *Food Chemistry*. 114: 553–560.

- Méndez, T.V.; Gonzales, M. D.;Gutierrez, M. F.A. 2005. Estiércol bovino líquido y fertilizantes inorgánicos en el rendimiento de jitomate en un sistema hidropónico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 11(002):215-218
- Moreno, S. A. L.; Cantú, J. A. G. A.; Cárdenas, M. L. A. B.; González, M. A. N. C.; González, H. G. A.; Garza, J. A. V. 2010. Determinación de carotenoides y clorofila en frutos de cuatro variedades de chile (*Capsicum Sp*). XII Congreso Nacional de Ciencia Y Tecnología de Alimentos Jueves 27 y viernes 28 de mayo. Guanajuato, Gto. México.
- Mueller, S, E.; Constanze, H. y Michael, P. 2008. Chili pepper fruits: content and pattern of capsaicinoids in single fruits of different ages. *J. Agric. Food Chem*. 56: 112-114.
- Nath, P. 2007. Production interventions to enhance availability and access of fruit and vegetables. *Acta Hort. (ISHS)* 744:467-470 http://www.actahort.org/books/744/744_57.htm.
- Nichols, M. 2007. Good agricultural practises (gap) and greenhouse crops. *Acta Hort.(ISHS)*.742:135-138. http://www.actahort.org/books/742/742_18.htm.
- Noh, M. J; Borges, G. L. y Soria, F. M. 2010. Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum Chinense Jacq.*). *Tropical And Subtropical Agroecosystems*.12 (2): 219-228.
- Nuez, F.; Ortega, R. G.; Costa, J. 2003. El Cultivo de pimiento chiles y ajíes. Edit. Grupo –Mundi-Presa.
- Otero, V.; Barreal, M. E.; Martínez, L. Núñez. y Gallego, P. P. 2010. Nutritional status of kiwifruit in organic and conventional farming systems. *Acta Hort. (ISHS)*.868:155-160 http://www.actahort.org/books/868/868_17.htm.
- Patichtan, M. Jose Alfredo. 2010. Rendimiento y calidad del fruto de pimiento morron (*Capsicum Annuum L*) Cv. Capistrano y Chile Chilaca Cv. Joe Parker cultivado en macrotúneles con mallas fotoselectivas. Tesis Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Producción. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Diciembre.
- Pérez, L. A. J.; López, N. J. M.; Núñez, D. E.; M. del Amor F. y Carbonell, B. Á. A. 2007. Effects of agricultural practices on color, carotenoids composition, and minerals contents of sweet peppers, cv. almuden. *j. agric. food chem*. 55: 8158–8164.
- Poot, J. E. M; Gomez, J. R. y Grillo, H. 2008. Manejo agroecológico de plagas del chile habanero (*Capsicum Chinense L. Jacq*) Mediante Barreras Vivas en Tabasco, México. *Fitosanidad*. Vol. 12(4): 248
- Prado, U. G. 2001. Tecnología de Producción comercial de chile habanero (*Capsicum chinense, Jacq*). Instituto para el Desarrollo de Sistemas Reproducción del Trópico Húmedo de Tabasco, Tabasco, México. Pag.30.
- Ramírez, E. L.; C. de la Cruz, C. A.; Aceves, E, N. y Carrillo. A. E. 2005. Efecto de productos con reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile habanero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(1): 93-98.
- Rodríguez, C. M. I. 2007. Diseño agronómico de invernaderos. Memoria del Primer Simposium Internacional de Invernaderos “Producción, Construcción e Insumos”. Edo. De México del 20-22 de junio
- Rodríguez, D. N.; Cano, R. P.; Figueroa, V. U.; Favela, C. E.; Moreno, R. A.; Márquez, H. C.; Ochoa, M. E. y Preciado, R. P. 2009. Uso de abonos

- orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*. 27(4):319-328
- Rodríguez, F. H.; Muñoz I, S.; Alcorta G, E. El tomate rojo. 2006. Editorial trillas
- Roose, M. J. K. y Ploeger, A. 2009. Influence of the farming system on the xanthophyll content of soft and hard wheat. *J. Agric. Food Chem.* 57 (1): 182–188. DOI: 10.1021/jf801407v. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf801407v?prevSearch=xanthophylls&searchHistoryKey=>
- SAGARPA, (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. Importancia de la agricultura protegida. SAGARPA.GOB.MX.
- Salas, P. L., Pablo, P. R.; Esparza, R. J. R.; Álvarez, R. V. P.; Palomo, G. A.; Rodríguez, D. N. Y Márquez, H. C. 2010. Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana*. 28(4):355-360.
- Sánchez, C, F. 2007. Diseño agronómico de invernaderos. memoria del primer simposium internacional de invernaderos “producción, construcción e insumos”. Edo. de México del 20-22 de junio.
- Sánchez, S. H.; González, H. V. A.; Cruz, P. A. B.; Pérez, G. M.; Gutiérrez, E.M. A.; Gardea, B. A. A.; Gómez, L. M. Á. 2010. Herencia de capsaicinoides en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). *Agrociencia* 44 (6): 655-665.
- SIAP (Servicio de Inspección Agroalimentaria y Pesquera). 2012 a. Anuario estadístico de la producción de chile habanero. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=15.
- SIAP (Servicio de Inspección Agroalimentaria y Pesquera). 2012 b. Anuario estadístico de la producción de chile habanero en condiciones de invernadero. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350
- SNIIM (Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados). 2012. Precio medio anual del kilogramo de chile habanero de los principales estados productores de México. <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>.
- Szmidt, R. A. K. Y Fox, C. 2001. Interdependencies for process control and compost quality. *Acta Hort. (ISHS)*. 549:55-60. http://www.actahort.org/books/549/549_5.htm
- Tun, D. J. C. 2001. Chile habanero, características y tecnología de producción. Centro de Investigación Regional del Sureste, INIFAP., SAGARPA., Tabasco, México. p 18-24.
- Urban, L.; Berti, L.; Bourgaud, F.; Gautier, H.; Léchaudel, M.; Joas, J. y Sallanon, H. 2009. The effect of environmental factors on biosynthesis of carotenoids and polyphenolics in fruits and vegetables: A Review And Prospects. *Acta Hort. (ISHS)* 841:339-344 http://www.actahort.org/books/841/841_42.htm
- Velázquez, R. A. S.; David, F. R.; Jorge, D. E. B. y Norma E. G. C. 2008. Materia orgánica en tepetate bajo cultivo de higuera y pasto, acondicionado con estiércol y fertilizante. *Agrociencia*. 42(1):11-19.
- Villa, C. M. M.; Catalán, V. E. A.; Inzunza, I. M. A.; Román, L. A. 2011. Población de plantas y manejo de la solución nutritiva de *Capsicum Chinense* Jacq. en Invernadero. Memoria. VI Reunión Nacional de Innovación Agrícola León, Guanajuato.

- Wang, S. Y. 2010. Maximizing antioxidants in fruits. Acta Hort. (Ishs) 877:81-93
[Http://Www.Actahort.Org/Books/877/877_5.htm](http://www.actahort.org/books/877/877_5.htm)
- Willer, H.; Granatstein, D. y Kirby, E. 2012. The global extent and expansion of organic horticulture production. Acta Hort. (ISHS) 933:23-34 http://www.actahort.org/books/933/933_1.htm
- Yuyang. Z. 2013. metabolic modification of ascorbate in plants. Springer Briefs in Plant Science, 107-112, DOI: 10.1007/978-1-4614-4127-4_10