

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Producción Orgánica de Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) Utilizando
Agroplasticultura en Condiciones de Casasombra

Por:

CLAUDIA LETICIA BORJAS BANDA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARAMENTO DE HORTICULTURA

Producción Orgánica de Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) Utilizando
Agroplasticultura en Condiciones de Casasombra

Por:

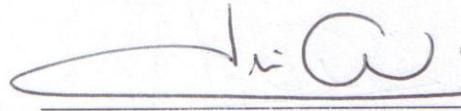
CLAUDIA LETICIA BORJAS BANDA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

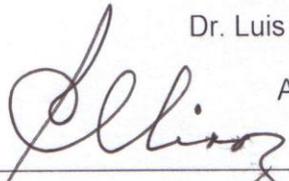
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Asesor Principal



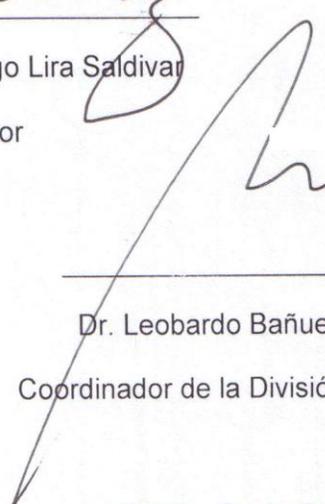
Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía

División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2014

Resumen

El estudio fue realizado en las instalaciones del Centro de Investigación en Química Aplicada, en una casa sombra con malla anti-trips de 225 m², ubicándose en el noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila. Se utilizó semilla de chile habanero, de la variedad Orange de la compañía Westar de California, USA.

Se constituyeron 6 tratamientos experimentales, los cuales constaron de diferentes dosis de fertilización: 100%, 50% y 25% de la dosis convencional (250-100-300) usada por los productores, y la aplicación de biofertilizantes a base de *Azospirillum brasilense* (Ab) más *Glomus intraradices* (Gi) en los tratamientos con fertilización reducida. Los tratamientos fueron: T1=Cama con acolchado a una dosis de fertilización de 100%, T2= Cama sin acolchado a una dosis de fertilización de 100%, T3=Cama con acolchado a una dosis de fertilización de 50% + Ab+Gi, T4= Cama sin acolchado con una dosis de fertilización al 50% + Ab+Gi, T5=Cama con acolchado a una dosis de fertilización de 25% +Ab+Gi, T6= Cama sin acolchado a una dosis de fertilización de 25% + Ab+Gi.

Las semillas fueron inoculadas y sembradas el 12 de marzo en charolas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato a base de perlita y peat moss. El trasplante se efectuó el 18 de mayo. Ejecutándose muestreos fenológicos a los 30, 60 y 90 días después del trasplante. El análisis estadístico determinó al tratamiento de dosis de fertilización al 25% + Ab+Gi sin acolchado, como el que demostró igualar las características fenológicas medidas, incluso el rendimiento, comparada con las plantas testigo.

Palabras clave: Biofertilizantes, acolchado plástico, *Azospirillum brasilense*, *Glomus intraradices*, chile habanero, casa sombra.

Dedicatorias

A mi familia: Por comprender mis errores y mis aciertos. Por apoyarme e impulsarme en cada etapa de mi vida, enseñándome con cariño el valor del trabajo y la dedicación y las recompensas que esto conlleva. Gracias por el tiempo invertido en mí y sepan que les dedico todo mi futuro.

A mi mami: Gracias por todas las horas de desvelo y de enseñanza que me dedicaste. Por guiarme a ser una persona íntegra, responsable, honesta y sobre todo por enseñarme lo que se puede lograr en la vida siendo perseverante.

A mi papi: Gracias por transmitirme el amor por el campo y por enseñarme como ser una buena persona. Papá te agradezco por enseñarme a divertirme de la vida, por ser un ñoño y por permitirme a mí siempre ser tu niña.

A Lilo: Gracias hermana por cuidarme desde pequeña, por darme los mejores consejos en todos los aspectos, por ser mi amiga, hermana (e incluso mamá postiza) y sobre todo por siempre estar ahí conmigo en las buenas y en las malas.

A mis amigos: Gracias por todos esos momentos con ustedes, honestamente me enseñaron a ser una mejor persona. Gracias: ¡Bertha, te convertiste en una hermana para mí!, Alichó, Martinic, Claudio, Giadis, Saulini, Michel, Fide, Parritas, Pablito, Chavita, Deysi, Paquito, Paisanito Evaristo, Agus, , Winni, Cris, Chihuas, Julius, ... TODOS!

Agradecimientos

Agradezco a mi Alma Mater “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” por ser mi casa de estudios, por darme todo el conocimiento adquirido a través de mis profesores y por tener el carácter social que posee. ¡Narrito no te acabes!

Agradezco al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar por todo el apoyo brindado en la realización de este trabajo, y por la paciencia mostrada en los momentos difíciles de esto, por ser uno de mis mejores Profesores y sobre todo por el tiempo brindado para la realización del proyecto.

Al Dr. Ricardo Hugo Lira Saldívar por darme la oportunidad de intervenir en su proyecto y por hacerme crecer como persona y como profesionista con sus conocimientos y consejos.

Al Dr. Alberto Sandoval por apoyarme en la revisión de mi trabajo, por mostrarse interesado en él y por haber sido uno de los profesores de la Universidad que mas despertó las ganas de aprender en mí dentro del Departamento de Horticultura.

A el resto de mis asesores por brindarme su tiempo y conocimientos en la revisión de este trabajo.

A todos mis profesores que dedicaron su mayor esfuerzo para hacer de nosotros unos excelentes Ingenieros en busca de mejorar el Agro Mexicano.

¡Mis más sinceros agradecimientos a todos ustedes!

INDICE DE CONTENIDO

	Página
Resumen	III
Dedicatorias.....	V
Agradecimientos	VI
I INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL.....	6
HIPOTESIS	6
II. REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1 - <i>DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO.....</i>	7
2.1.1 Origen.....	7
2.1.2.- Taxonomía y Morfología	7
2.1.3.-Características botánicas.....	8
2.3.- <i>Importancia económica.....</i>	11
2.4 <i>Principales países productores de chile habanero.....</i>	12
2.5 <i>Principales países productores de chile en general.....</i>	12
2.6.- <i>México: productor de chile habanero.....</i>	15
2.7.- <i>Agricultura orgánica.....</i>	16
2.7.1 Definición	16
2.7.2 Situación actual.....	16
2.7.4 Ventajas y desventajas de la agricultura orgánica	18
2.8 <i>Nutrición de cultivos en sistemas orgánicos de producción agrícola</i>	19
2.9 <i>Utilización de fertilizantes orgánicos</i>	20
2.10.- <i>Respuestas fisiológicas</i>	22
2.11.- <i>Rendimientos de cultivos en sistemas orgánicos.....</i>	23
2.12.- <i>Biofertilizantes.....</i>	25
2.12.1.- Hongos	27
2.12. 2.- <i>Glomus intraradices.....</i>	28
2.12.3 Bacterias.....	29

2.12.4 <i>Azospirillum brasilense</i>	30
2.13.- <i>Agricultura protegida</i>	31
2.13.1.- Descripción	31
2.13.2.- Importancia	34
2.13.3.- Acolchados	35
2.13.4.- Casa sombra	37
2.14.- <i>Antecedentes de uso de técnicas orgánicas en sistemas de agricultura protegida</i>	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1 <i>Localización geográfica</i>	40
3.2 <i>Descripción del área de trabajo</i>	40
3.3 <i>Descripción del material vegetativo</i>	41
3.4 <i>Tratamientos</i>	41
3.5 <i>Metodología</i>	42
3.5.1 <i>Producción de plántulas</i>	42
3.5.2 <i>Preparación del terreno</i>	42
3.5.3 <i>Instalación de cintillas y acolchados</i>	43
3.5.4 <i>Trasplante</i>	43
3.6 <i>Manejo del cultivo de chile habanero</i>	43
3.6.1 <i>Nutrición y Riegos</i>	43
3.6.2 <i>Tutoreo</i>	44
3.6.3 <i>Manejo de plagas y enfermedades</i>	44
3.6.4 <i>Cosecha</i>	46
3.7 <i>Variables evaluadas</i>	46
3.7.1 <i>Altura de la planta</i>	46
3.7.2 <i>Área foliar</i>	47
3.7.3 <i>Peso fresco total</i>	47
3.7.4 <i>Peso seco total</i>	47
3.8 <i>Colecta de datos</i>	47
3.9 <i>Diseño experimental</i>	48
IV.- RESULTADOS	49
4.1 <i>Primer muestreo</i>	49
4.2 <i>Segundo muestreo</i>	51
4.3 <i>Tercer muestreo</i>	54

4.4 Rendimiento.....	57
V.-DISCUSIÓN.....	60
5.1 Efecto del acolchado.....	60
5.2 Efecto de la biofertilización	62
5.3 Influencia de la casa sombra	63
5.4 Rendimiento del cultivo	64
VI. CONCLUSIONES	67
VII LITERATURA CITADA.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Efecto de la dosis de fertilización combinada con el tratamiento de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*, en el peso seco del tallo de la planta del chile habanero, en el primer muestreo realizado a los 30 días después del trasplante..... 51

Figura 2. Efecto de la dosis de fertilización combinadas con la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*, en la altura de la planta de chile habanero bajo condiciones de acolchado y sin acolchado de suelo a los 60 días después del trasplante. 53

Figura 3. Efecto de la dosis de fertilización combinadas con la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*, en la altura de la planta de chile habanero bajo condiciones de acolchado y sin acolchado de suelo a los 60 días después del trasplante. 53

Figura 4. Efecto de la dosis de fertilización combinadas con la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*, en la altura de la planta de chile habanero bajo condiciones de acolchado y sin acolchado de suelo a los 90 días después del trasplante. 56

Figura 5. Efecto de la dosis de fertilización combinadas con la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*, en el área foliar de la planta de chile habanero bajo condiciones de acolchado y sin acolchado de suelo a los 90 días después del trasplante 59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Producción anual de chile verde y pimientos, expresado en toneladas, para los principales países productores a nivel mundial, 2005-2009.	13
Cuadro 2. Producción de chile habanero en México, expresado en toneladas para la producción en invernadero y campo abierto.....	15
Cuadro 3. Descripción de tratamientos utilizados en el estudio *gi+ab= inoculación de las semillas y plantas con biofertilizantes <i>Glomus intraradices</i> y <i>Azospirillum brasilense</i>	41
Cuadro 4. Productos utilizados para la nutrición y control de plagas y enfermedades del cultivo de chile habanero.	45
Cuadro 5. Respuesta del chile habanero cultivado bajo condiciones de casa sombra y acolchado de suelos, con diferentes dosis de fertilización en combinación con biofertilizantes en muestreo realizado a los 30 días después del trasplante	50
Cuadro 6. Niveles de significancia (<i>P</i>) de los factores acolchado y dosis de fertilización, y la interacción detectados en las variables respuesta evaluadas en chile habanero a los 30 días después del trasplante.....	50
Cuadro 7. Respuesta de chile habanero cultivado bajo condiciones de casa sombra y acolchado de suelos, con diferentes dosis de fertilización en combinación con biofertilizantes, a los 60 días después del trasplante.	52
Cuadro 8. Niveles de significancia (<i>P</i>) de los factores acolchado, dosis de fertilización y la interacción detectados en las variables respuestas evaluadas en chile habanero a los 60 días después del trasplante.....	52
Cuadro 9. Respuesta de chile habanero cultivado bajo condiciones de casa sombra y acolchado de suelos con diferentes dosis de fertilización, en combinación con biofertilizantes a los 90 días después del trasplante.	54
Cuadro 10. Niveles de significancia (<i>P</i>) de los factores acolchado, dosis de fertilización y la interacción detectados en las variables respuestas evaluadas en chile habanero a los 90 días después del trasplante.....	55

Cuadro 11. Rendimiento obtenido en el cultivo de chile habanero bajo condiciones de casa sombra, con diferentes dosis de fertilización e inoculados con *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* 58

Cuadro 12. Niveles de significancia (*P*) de los factores acolchado, dosis de fertilización y la interacción detectados en las variables respuesta evaluadas en chile habanero a los 90 días después del trasplante..... 58

I INTRODUCCIÓN

Muchos sistemas agrícolas han sido eficientes transformadores de tecnologías, insumos no renovables y finanzas; pueden producir grandes cantidades de alimentos pero también pueden tener importantes impactos negativos sobre bienes fundamentales (Pretty, 1999).

Estos bienes fundamentales comprenden no solo los recursos naturales como el suelo y el agua, sino también el reciclaje y la fijación de nutrientes, la formación del suelo, el control biológico, la captura de carbono y la polinización. Este punto da lugar a preguntarse qué es lo que constituye el éxito en la agricultura, si los grandes beneficios del aumento de rendimiento se obtienen generando serios problemas ambientales y sanitarios (FAO, 2013).

La producción agropecuaria tiene profundos efectos en el medio ambiente en conjunto. Es la principal fuente de contaminación del agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas. También es la mayor fuente antropogénica de gases responsables del efecto invernadero, metano y óxido nítrico, y contribuye en gran medida a otros tipos de contaminación del aire y del agua. Los métodos agrícolas, forestales y pesqueros son las principales causas de la pérdida de biodiversidad del mundo (FAO, 2002). Se define impacto ambiental como la “modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza” (SEMARNAT, 2013).

La agricultura orgánica es una estrategia de desarrollo que trata de cambiar algunas de las limitaciones encontradas en la producción convencional. Más que una tecnología de producción, la agricultura orgánica es una estrategia de

desarrollo que se fundamenta no solamente en un mejor manejo del suelo y un fomento al uso de insumos locales, pero también un mayor valor agregado y una cadena de comercialización más justa (FAO, 2003 a).

En las últimas décadas la agricultura orgánica ha venido tomando cada vez mayor relevancia y hoy es reconocida como un fuerte movimiento internacional. El propósito fundamental es la búsqueda de un modelo alternativo de desarrollo a la agricultura moderna o convencional tipo “Revolución Verde”, la cual tuvo efectos iniciales de gran impacto en los rendimientos agropecuarios, pero pronto manifestó fragilidad, vulnerabilidad y riesgos para el ambiente, la salud humana, los agroecosistemas y para la seguridad socioeconómica de los agricultores más pobres (Funes *et al.*, 2001).

México es uno de los 20 productores más importantes de alimentos orgánicos a nivel mundial, pero sólo el 10% de la producción se consume internamente, el resto se exporta. Por el contrario, en otros países como Dinamarca, muchos de los alimentos orgánicos ya forman parte del mercado masivo y son accesibles a través de tiendas de autoservicio y pequeños comercios (Monroy, 2008).

Con cerca de 500 mil ha dedicadas a este tipo de cultivos, México es el primer productor de café orgánico a nivel mundial (ocupa dos terceras partes de la superficie destinada a la agricultura orgánica) y el tercer productor de miel. Pero también se producen cacao, aguacate, mango, piña, plátano, naranja, ajonjolí, maíz, nopal, vainilla, leche y sus derivados, huevo y plantas medicinales, así como

algunos productos procesados como carnes y embutidos, jugos, galletas y mermeladas, principalmente. El precio también es un factor que obstaculiza su venta a nivel nacional. Dado que los productos orgánicos deben ser certificados para garantizar su calidad, además de que su producción es más laboriosa, éstos comúnmente están disponibles en tiendas especializadas y supermercados y llegan a ser hasta 30% más caros (Monroy, 2008).

Ante esa situación, una de las alternativas para la producción de alimentos se ha encontrado en el uso de los biofertilizantes, los cuales han ganado gran popularidad en México, donde el avance en su desarrollo y aplicación en cultivos de cereales, principalmente en el maíz, es destacado (Monroy, 2008).

En los últimos años se ha visto un incremento en la utilización de biofertilizantes, que se caracterizan por la presencia de microorganismos, ya sean, hongos o bacterias, siendo los más comunes los que pertenecen a los géneros *Rhizobium*, *Azospirillum* y *Glomus* (Alarcón y Ferrera Cerrato, 2000). Los hongos micorrízicos arbusculares y las bacterias promotoras de crecimiento vegetal, asociadas con las plantas, tienen una función relevante para la nutrición vegetal, al incrementar la calidad del suelo y la producción de los cultivo.

El chile es una hortaliza que se cultiva en casi todo el país en los dos ciclos agrícolas y forma parte del grupo de los principales productos hortofrutícolas exportados. El 80% de la producción nacional de chile se consume internamente. El volumen destinado a las exportaciones se mantiene relativamente constante desde 1998, y se concentra en pocas regiones y estados aptos para la producción

de invierno, con tecnología de riego y regularmente localizadas cerca al mercado estadounidense. En 2004, la importación por parte de los Estados Unidos fue del 85% del total exportado (432,960 toneladas) y el resto correspondió a Canadá. México es, a su vez, el mayor proveedor de chiles frescos de Estados Unidos (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2011).

El cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) en Yucatán, México, es parte de la identidad regional. Constituye el principal productor del país con al menos 600 ha anuales dedicadas a este cultivo (Alejo *et al.*, 2006).

La agricultura protegida (AP) es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras, para proteger cultivos, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos. La agricultura, por su naturaleza, se encuentra asociada al riesgo, de ahí que este sistema tenga como característica básica la protección contra los riesgos, inherentes a esta actividad. Los riesgos pueden ser: climatológicos, económicos (rentabilidad, mercado) o de limitaciones de recursos productivos (agua o de superficie). Adicionalmente, se establece que la AP ha modificado las formas de producir alimentos y genera múltiples ventajas para los productores (Durón *et al.*, 2011)

Dentro de la AP, las mallas sombras tienen un control parcial de algunos factores climáticos; son consideradas opciones tecnológicas para la producción de hortalizas en ambientes cerrados de producción. Entre las funciones más importantes de las mallas plásticas está el aislar a cultivos de los insectos; disminuir los efectos negativos de la radiación directa y reducir la velocidad del

viento. Las mallas pueden reducir el paso de la luz y proteger los cultivos del cambio de clima. Sin embargo, es comúnmente encontrar combinaciones de las funciones, de sombreo y el efecto antiviral o anti-trips (Durón *et al.*, 2011).

Es por esto que buscar alternativas de producción, para una hortaliza de gran importancia para nuestro país, como lo es el chile habanero , bajo condiciones que puedan representar mejores rendimientos como lo son la casa sombra y el uso de acolchados resulta de gran importancia, más aún si se logra con alternativas que traten de no dañar al ambiente, como lo es la agricultura orgánica a través del empleo de biofertilizantes, lo que a su vez puede representar ganancia económica para los productores.

OBJETIVO GENERAL

Analizar el crecimiento y el rendimiento del chile habanero utilizando diferentes dosis de fertilización química sintética, combinada con la inoculación de microorganismos biofertilizantes, con acolchado plástico del suelo y aplicando un paquete tecnológico para realizar un manejo orgánico del cultivo, bajo condiciones de casa sombra.

HIPOTESIS

Al inocular biofertilizantes a base del hongo *Glomus intraradices* y la bacteria *Azospirillum brasilense* en plantas de chile habanero, los tratamientos tendrán un comportamiento similar que al ser fertilizados de manera tradicional con fertilizantes químicos y aplicados en la dosis comercial, debido al efecto biofertilizador de los microorganismos benéficos y a las ventajas que el acolchado plástico tiene para los cultivos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 - Descripción del cultivo

2.1.1 Origen

Se desconoce con exactitud el origen del chile habanero. (Laborde y Pozo, 1982) mencionan que probable su origen sea en América del Sur, se cree que posteriormente fue introducido a Cuba y que de la isla se propagó hacia la península de Yucatán. Reforzando esta hipótesis, se tiene el hecho de que el chile habanero, es el único chile de la región, que no presenta nombre Maya. Según el International Plant Genetic Resource en 1983, se determina que el origen de este cultivo es Brasil (Amazonia, Ecuador, Perú) ya que la mayor diversidad se encuentra en la región del Amazonas, y su centro de origen es América del Sur.

El chile es originario de Mesoamérica según Andrews (1995) y Naj (1992) la popularización de su consumo ha extendido su cultivo a muchos países. No obstante, México es el país con mayor variedad de chiles, tanto silvestres como cultivados.

2.1.2.- Taxonomía y Morfología

Clase Angiosperma

Subclase Dicotyledonea

Superorden Sympetala

Orden Tubifloral

Familia Solanácea

Género *Capsicum*

Especie *Chinense* Jacq

2.1.3.-Características botánicas (Tun, 2001)

Semillas

Las semillas son lisas, ovaladas y pequeñas (2.5 a 3. mm); tienen testa de color café claro a café oscuro y su período de germinación varía entre ocho y 15 días. El sabor picante se debe a la presencia de capsicina, sustancia muy irritante en estado puro, y cuya mayor concentración se encuentra en la placenta de las semillas.

Raíz

Tiene raíz pivotante y un sistema radicular bien desarrollado, cuyo tamaño depende de la edad de la planta, las características del suelo y las prácticas de manejo que se le proporcionen; puede alcanzar longitudes mayores a los 2.0 m.

Tallo

Su tallo es grueso, erecto, glabro y robusto y generalmente tiene tendencia a formar tres tallos en la primera ramificación, la que ocurre entre la décima y la duodécima hoja, para después continuar bifurcándose, con un crecimiento semi-

indeterminado; después de la primera trifurcación muy raramente las tres ramas alcanzan el mismo desarrollo.

Hojas

Las hojas son simples, lisas, alternas y de forma lanceolada, de tamaño variable lo mismo que su color, el cual puede presentar diferentes tonos de verde dependiendo de la variedad. Pueden ser glabras o pubescentes; el grado de pubescencia también depende de la variedad. Con una nutrición adecuada se pueden alcanzar hojas con un tamaño superior a los 15 cm de longitud y ancho.

Frutos

Son bayas huecas con tres o cuatro lóculos, las semillas se alojan en las placentas. Presenta en promedio seis frutos por axila; éstos son de un tamaño entre 2 y 6 cm. El color es verde cuando son tiernos, y anaranjados, amarillos o rojos cuando maduros; son además muy picantes y aromáticos.

2.2.- Requerimientos edafoclimáticos

Los factores climáticos que limitan la adaptación, desarrollo y producción de chile habanero en Yucatán, son la precipitación y la temperatura, siendo la primera la más determinante, pero a la vez la más fácil de resolver con la aplicación del riego, ya que se cuenta en esta entidad con un manto freático a poca profundidad. Demanda una cantidad de agua relativamente alta (550 a 700 mm por ciclo), sobre todo durante las etapas de floración, fructificación y llenado de fruto. Se desarrolla mejor en regiones con temperatura promedio superior a los 24° C, poca variación

entre las temperaturas diurnas y nocturnas y humedad del suelo entre el 80 y el 90% de humedad aprovechable. No tolera temperaturas menores a 15° C, las cuales se pueden presentar ocasionalmente con una duración de pocas horas, en los meses de enero y febrero (Tun, 2001).

El chile habanero se produce mejor en suelos con un buen drenaje y adecuada fertilidad; aunque es poco exigente, la práctica de fertilización y abonado permite la obtención de buenos rendimientos, reduciendo el impacto de la condición natural del suelo (Tun, 2001).

La temperatura requerida para el desarrollo óptimo del chile habanero es de 25° C; la mínima tolerada es de 15° C y la máxima de 32° C. Las temperaturas inferiores a la mínima detienen el crecimiento de la planta y causan malformación del fruto y caída de las flores; las superiores a la máxima, provocan caída de las flores por quemadura y/o aborto (Tun, 2001).

Esta especie se cultiva en altitudes inferiores a 1000 msnm, aunque se tienen reportes de su adaptación a lugares de mayor altitud. Además, requiere suelos de textura media a fina con una profundidad entre 40 y 50 cm y pH entre 6.0 y 6.5, aunque se adapta bien a suelos calcáreos con pH ligeramente mayor a 7.0 (Tun, 2001).

2.3.- Importancia económica

La importancia económica del chile en general, se basa principalmente en la utilización de sus frutos. El chile es a nivel mundial el quinto producto hortícola, por superficie cultivada. El interés por este cultivo no se centra únicamente en su importancia económica y consumo humano; también se ha demostrado que el chile es una fuente excelente de colorantes naturales, minerales y vitaminas A, C y E (Ruiz-Lau *et al.*, 2011).

En Estados Unidos el chile habanero tiene excelente demanda por ser de los más picantes y aromáticos. Los únicos países que se conoce que son exportadores de este producto son México y Belice; por lo general se vende en forma de pasta, para ser utilizado en la industria procesadora de salsas, distribuyéndose en los mercados nacionales de Estados Unidos y Canada. Además de su uso como alimento o condimento, el chile habanero, es utilizado en la medicina debido a su contenido de capsacionoides, siendo estos los compuestos bioquímicos responsables de determinar el picor en esta hortaliza y en todas las pertenecientes al género *Capsicum* (Ruíz Lau *et al.*, 2011).

La importancia del chile habanero parte de la demanda que tiene, en el año 2007 se generaron alrededor de 90 millones de pesos por su exportación, tan solo en la Península de Yucatán. Los precios de este son muy variables en el mercado nacional, dependiendo del estado en el que se comercialice: de tal manera que en Durango y Nayarit el precio puede rebasar los \$115/Kg. Aunque es de mayor importancia su precio en mercados extranjeros, el cual es también variable, pero

oscila en los 14 dólares (\pm \$182/kg) por kg de fruta fresca. Esto hace de este cultivo una opción rentable para su producción, de aquí que actualmente se esté buscando establecer nuevas y mejores tecnologías para aumentar su productividad y con esto la exportación, teniendo como consecuencia, la generación de divisas por su venta (Santoyo y Martínez, 2011).

2.4 Principales países productores de chile habanero

El consumo de chile ha ido en aumento en los últimos años, consumiéndose tradicionalmente en países en vías de desarrollo como los latinoamericanos, africanos y asiáticos, e incrementándose en países como la Unión Europea y Estados Unidos. Desde 1993, la producción mundial de chiles ha tenido un crecimiento del 48% de la superficie y duplicando los volúmenes de producción. Este aumento en la producción de chiles se debe a la creciente demanda de este producto en todas sus presentaciones (fresco, seco y procesado), tanto para consumo directo como para usos industriales (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2012).

2.5 Principales países productores de chile en general

El país más importante por el volumen producido de chile es China, el cual es seguido por México. El listado completo de los principales países productores de esta hortaliza se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Producción anual (ton) de chiles y pimientos verdes a nivel mundial, de los principales países productores durante el período 2005-2009.

Países	2005	2006	2007	2008	2009
	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
China	12,530,180	13,030,234	14,026,272	14,274,178	14,524,178
México	1,617,264	1,681,277	1,890,428	2,054,968	D.N.D
Turquía	1,829,000	1,842,175	1,759,224	1,796,180	1,837,003
Indonesia	1,058,023	1,185,060	1,128,790	1,092,115	D.N.D
España	1,060,362	1,147,774	1,059,500	1,059,500	1,011,700
Estados Unidos	959,070	998,210	855,870	915,160	926,680
Nigeria	721,000	721,500	723,000	725,000	D.N.D
Egipto	460,000	470,000	475,000	475,000	800,000
República de Corea	395,293	352,966	414,136	385,763	D.N.D
Países Bajos	345,000	318,000	320,000	330,000	D.N.D

Fuente COVECA D.N.D = Datos no disponibles (Los datos 2009 están disponibles para ciertos países y productos)

Como antes se señaló, China supera por mucho al resto de los países productores de chiles y pimientos en verde. Su superficie sembrada actual es de

612,800 ha, lo que representan el 36% de la superficie sembrada a nivel mundial con una producción de 14, 524,178 ton, lo que representa el 76% de la producción mundial de chiles al año. De acuerdo a la producción a China le siguen, Turquía, Estados Unidos, España e Indonesia, representando juntos el 25% del volumen mundial de producción (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2012).

México ocupa el segundo lugar en volumen de producción y el tercero en superficie cosechada, con 140,693 has y 1'853,610 toneladas, participando con el 8% del área y el 7%de la producción mundial en toneladas (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2012).

Los países que presentan rendimientos más altos son aquellos que emplean tecnologías de alta precisión para la aplicación de riegos y fertilizantes, entre los que se encuentran Holanda y Reino Unido con 262 y 247 ton/ha respectivamente. El siguiente grupo lo forman Kuwait, Austria, Israel, Bélgica, España, Japón y Francia, presentando rendimientos superiores a las 40 ton/ha. El promedio mundial es de 19.60 ton/ha (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2012).

2.6.- México: productor de chile habanero

En México se cuenta con una amplia variedad de chiles, siendo el chile habanero uno de ellos. Este es considerado uno de los chiles más picante del mundo, con una pungencia (grado de picor) desde 150 mil unidades Scoville¹ (SHU), alcanzando niveles de hasta 350 mil SHU, característica generada tanto por factores genéticos como por el medio ambiente (INIFAP, 2012).

Entre 1999 y 2000, la superficie cultivada con chile habanero creció de 150 ha a 600 ha a nivel estatal, mientras que a nivel nacional la superficie sembrada fue de 900 ha (INIFAP, 2012). En el Cuadro 2 se muestra la producción en toneladas del año 2004 al 2008 para la producción de chile habanero en México.

Cuadro 2. Producción anual de chile habanero en México, expresado en toneladas para la producción en condiciones de invernadero y campo abierto.

Tipos	2004	2005	2006	2007	2008
Habanero	5,300.17	6003.7	7076.71	5,305.86	7316.06
Habanero de Invernadero	0.0	0.0	0.99	139.81	680.4

Producción de chile habanero en invernadero. Fuente SAGARPA.

En el país, son varios los estados que actualmente están produciendo chile habanero (Carballo-Bautista *et al.*, 2010) Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Jalisco y Veracruz, Baja California Sur, San Luis Potosí, Chiapas, Sonora, Michoacán, Nayarit, Sinaloa, Chihuahua y Colima. De estos, Yucatán ocupa el primer lugar como productor nacional de chile habanero en tanto que Yucatán, Tabasco, Campeche y Quintana Roo cuentan con, 500, 260, 90 y 40 ha

sembradas respectivamente, sin embargo, durante el 2010 la superficie disminuyó a 762 hectáreas, con un rendimiento promedio de 10.8 toneladas por hectárea en los cuatro estados.

2.7.- Agricultura orgánica

2.7.1 Definición

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2012): La agricultura orgánica es un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y, al mismo tiempo, a minimizar el uso de los recursos no renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el ambiente y la salud humana.

La agricultura orgánica (AO) involucra mucho más que no usar agroquímicos sintéticos. La AO es un tipo de agricultura que pretende regresar a las bases de nuestros ancestros, de lograr una producción de alimentos “limpios”, de manera que se integren no sólo los beneficios de sembrar sin agroquímicos, sino que también se utilicen las ventajas que el suelo particular de una zona ofrece para la siembra de ciertos productos, buscando siempre producir el menor impacto posible al ambiente (Borge, 2012).

2.7.2 Situación actual

La Agricultura orgánica ha crecido a un ritmo acelerado en el mundo y en Latinoamérica no ha sido la excepción. De 130 países encargados de la

producción orgánica, el 69% son países en desarrollo. En los últimos años este mercado se duplicó y la demanda mundial de estos productos crece a una tasa promedio del 20% anual (Willer y Yussefi, 2001).

Esta agricultura ha adquirido importancia en el sistema agroalimentario en más de 14 países, contando con alrededor de 67 millones de hectáreas certificadas, por lo menos 560,000 unidades de producción que son atendidas por 1.4 millones de productores (Willer y Yussefi, 2001).

México ocupa el lugar 16 en superficie sembrada, el tercero con respecto al número de productores y a su vez, es el país con mayor diversidad de cultivos producidos orgánicamente, contando con alrededor de 81 diferentes por Gómez *et al.* (2010)

2.7.3 Superficie con agricultura orgánica certificada

En datos de la FAO (2013) la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM) colaboró con la Fundación para la Ecología y la Agricultura (SOL) en Alemania para obtener cálculos actualizados de la tierra orgánica certificada. De acuerdo con este estudio, la superficie global de la tierra bajo agricultura orgánica certificada en el año 2002 era de 17.8 millones de hectáreas distribuidas de la siguiente manera:

- 7,7 m ha están ubicadas en Oceanía (principalmente en Australia).
- 4,2 m ha en Europa (Italia cuenta con la superficie más grande, 1 millón de ha).
- 3,7 m ha en América Latina (casi la totalidad en Argentina).

- 1,3 m ha en América del Norte (EE.UU. con casi 0,9 millones de ha).
- 94 000 ha en Asia.
- 60 000 en África

2.7.4 Ventajas y desventajas de la agricultura orgánica

Ventajas:

- El suelo en que se practique este tipo de agricultura será beneficiado ya que su proceso de producción no es tan desgastante como el de la agricultura tradicional o intensiva, es decir, se reduce drásticamente la erosión, la pérdida de nutrientes y la compactación.
- No se utilizan pesticidas y fertilizantes sintéticos, los cuales pueden ser sustituidos por bioplaguicidas y fertilizantes orgánicos. Estos protegen la salud del ecosistema y la del ser humano.
- Se protege el ciclo hidrológico ya que mediante técnicas sostenibles se logra reducir el uso del recurso hídrico y se minimiza su contaminación.
- El sabor de los cultivos que han sido producidos de manera orgánica es mucho más intenso que el de aquellos que han sido elaborados utilizando otros métodos. Además, consumirlos es mucho más saludable pues no contienen trazas de químicos que son dañinos para nuestro organismo.
- La vida de una planta que ha sido cultivada de manera orgánica es mucho más larga, lo que permite que sus años de producción sean más extendidos (Satakar, s.f.).

Desventajas

Según datos de la FAO (2012) la Agricultura orgánica presenta numerosas desventajas dentro de las que destacan las siguientes:

- Falta de conocimiento de mercado por parte de los agricultores, lo que a falta de mercado, el producto es vendido como uno convencional.
- No existen datos oficiales sobre la producción, consumo, comercio o precios de los productos orgánicos por lo que los organismos nacionales de estadísticas tienden a ver a la producción orgánica como un hecho poco importante y no elaboran estudios especializados.
- Mayor utilización de mano de obra.
- Aumento en la competitividad, lo que provocó la exigencia de una mayor calidad en el producto.
- Así como la creación de más leyes y restricciones por parte de los países consumidores.

2.8 Nutrición de cultivos en sistemas orgánicos de producción agrícola

Los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos se ha demostrado, aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (Romero *et al.*, 2000). Además, el valor de la materia orgánica que contiene ofrece grandes

ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes inorgánicos (Márquez *et al.* 2006).

El precio accesible de los fertilizantes químicos, ha detenido el uso de aquellos orgánicos dentro de la agricultura moderna. Creando con esto un problema ambiental, ya que el uso excesivo de estos han contribuido al alarmante deterioro ambiental (Salas y Ramírez, 2001).

Líra-Saldívar *et al.* (2011) menciona que la AO es un sistema que evita tanto como sea posible el uso de fertilizantes, plaguicidas, fitoreguladores y otros agroquímicos sintéticos de alta residualidad en el ambiente. A partir del sistema de producción orgánica han surgido insumos agrícolas como los biofertilizantes con base en microorganismos promotores de crecimiento y antagonistas de patógenos (Furuya *et al.*, 2011), los cuales contienen uno o varios microorganismos del suelo, que pueden ser aplicados a la semilla o al suelo con el fin de incrementar su densidad y su asociación al sistema radical de la planta para favorecer su nutrición. Esto favorece el desarrollo vegetal y productivo de la planta. Entre los microorganismos más utilizados por su potencial contribución al desarrollo de las plantas se encuentran la rizobacteria *A. brasilense* (Kefalogianni y Aggelis, 2002) y el hongo micorrízico arbuscular *G. intraradices* (Mrosk *et al.*, 2009).

2.9 Utilización de fertilizantes orgánicos

El uso de residuos vegetales como acolchado de camas de siembra o incorporados al suelo, puede contribuir a disminuir las pérdidas por la erosión al

mantener cubierto al mismo, además incrementa la tasa de incorporación de materia orgánica. La producción de compostas, a partir de residuos de cosecha, o desechos domésticos, así como estiércoles y otros residuos orgánicos que se encuentran disponibles de manera local, es una nueva estrategia que contribuye al reciclaje de nutrientes. La composta es el producto final de la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos del suelo y constituye un fertilizante orgánico que cumple una doble función: contribuye a mejorar su estructura y provee de nutrientes, sus ácidos orgánicos hacen a los nutrientes del suelo más disponibles para la planta (INIFAT, 2012).

Otra estrategia del uso de fertilizantes orgánicos, es la lombriz de tierra que los transforma en humus y los incorpora al suelo como abono orgánico, lo que permite intensificar la vida del suelo debido al alto contenido de flora microbiana. El humus de lombriz es un estimulador biológico de la fertilidad del suelo, por el aporte equilibrado de vitaminas, enzimas, auxinas, macro y microelementos, ácidos fúlvicos y húmicos que con su aplicación se consigue (INIFAT, 2012).

Los beneficios de los abonos orgánicos son evidentes, la composta ha mejorado las características de los suelos, tales como fertilidad, capacidad de almacenamiento de agua, mineralización del nitrógeno, fósforo y potasio, mantiene valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas y fomenta la actividad microbiana (Nieto-Garibay *et al.*, 2002) y como sustrato para cultivos en invernadero que no contamina el ambiente (Rodríguez *et al.*, 2008).

Las compostas y vermicompostas se han utilizado como sustratos debido a su bajo costo (Rodríguez *et al.* 2008). De los principales elementos nutritivos presentes en las compostas y vermicompostas, del 70 al 80% de fósforo y del 80 al 90% de potasio están disponibles el primer año (Eghball *et al.* 2000). Mientras que, el nitrógeno debe de mineralizarse para poder ser absorbido por la planta (Heeb *et al.* 2005), durante el primer año, sólo se mineraliza el 11 % del nitrógeno (Márquez *et al.* 2008).

2.10.- Respuestas fisiológicas

Existen diversos trabajos en los que se ha utilizado fertilización orgánica con diversos resultados, ejemplo de estos es el orientado a la evaluación de la respuesta fisiológica del lulo (*Solanum quitoense*) una fruta en un inicio silvestre, originaria de los bosques del Ecuador, en la cual se emplearon tres tratamientos de fertilización orgánica (bocashi, mezcla bocashi + biol y biol), y uno con síntesis química (18-18-18); se evaluó biomasa seca, área foliar, y las fisiológicas: índice y área foliar, tasa de crecimiento, tasa relativa de crecimiento y tasa de asimilación neta. En todos los tratamientos, las mejores respuestas fueron evidentes en la aplicación de abono de síntesis química, seguida por la mezcla de bocashi + biol, la más eficiente económicamente (Almanza *et al.*, 2011).

Otro ejemplo es el estudio realizado para evaluar diferentes sustratos elaborados con mezclas entre compostas y vermicompostas con arenas, a diferentes niveles, bajo condiciones de invernadero El híbrido SUN-7705 de

tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) fue analizado en cuatro sustratos, los cuales fueron compostas y vermicompostas mezcladas en tres diferentes proporciones (100, 75 y 50%). Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4x3 con cinco repeticiones. El mayor rendimiento promedio (39.811 t ha⁻¹) se obtuvo con la composta generada por la descomposición de estiércol bovino, rastrojo de maíz (*Zea mays L.*), zacate elefante (*Pennisetum purpureum Schumacher*) y tierra negra (CEMZT) al 75% + arena y la vermicomposta de estiércol, pasto bahía (*Paspalum notatum Flügge*) y tierra negra (VEPT) al 100 y 50% + arena. Este rendimiento resultó mayor al registrado en producciones de tomate orgánico en campo, sin afectar la calidad de los frutos por De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009).

2.11.- Rendimientos de cultivos en sistemas orgánicos

Numerosos reportes han enfatizado la necesidad de mayores cambios en el sistema global de producción de alimentos: la agricultura se enfrenta a un doble desafío en la alimentación de la población que va en aumento, con la creciente demanda de carnes y dietas con altas calorías, y simultáneamente minimizar los impactos ambientales Godfray (2010) y Foley (2011). La agricultura orgánica, es un sistema dirigido a producir alimentos con el mínimo de daño a los ecosistemas, a los animales y a las personas, es frecuentemente utilizada como propuesta a la solución de incrementar la producción y minimizar los impactos ambientales. Sin embargo, críticos argumentan que la agricultura orgánica tiene rendimientos más

bajos y por lo tanto necesita, más extensión de tierra para producir la misma cantidad que las granjas con sistemas convencionales de producción de alimentos, resultando en más extensión de deforestación y pérdida de la biodiversidad, socavando así los beneficios ambientales de las prácticas orgánicas (Seufert *et al.*, 2012).

Sin embargo otros estudios en agricultura orgánica han demostrado rendir más que los sistemas agrícolas ordinarios, en condiciones de presiones ambientales. Se menciona que en las circunstancias correctas, las ganancias comerciales de la agricultura orgánica pueden contribuir a la seguridad alimentaria local, al incrementar los ingresos de las familias. Pero mundialmente y con los conocimientos y la tecnología de hoy, los agricultores orgánicos no pueden producir suficientes alimentos para todos. FAO (2003b). Al simplificar el rendimiento que se obtendrá, basándose en el sistema de producción empleado con anterioridad en el mismo terreno se indicara que:

- En los países industriales los sistemas orgánicos son menos productivos, de acuerdo con la intensidad de la utilización de insumos externos antes de adoptar este sistema
- En las zonas denominadas de la revolución verde (tierras de riego) la adopción de la agricultura orgánica suele producir casi lo mismo que la ordinaria.
- En la agricultura tradicional de temporal (con poco empleo de insumos externos), la agricultura orgánica puede incrementar el rendimiento.

Un ejemplo es que en 2004 y en condiciones de invernadero se han obtenido rendimientos de 90 t ha¹ cuando se fertiliza con gallinaza y de 100 t ha¹ con compostas y vermicomposta, es decir, la producción orgánica en invernadero aumenta la relación beneficio-costo (De la Cruz Lázaro *et al.*, 2009).

Bajo ciertas condiciones, esto es, con un buen manejo de prácticas agrícolas, particulares tipos de cultivo y condiciones de crecimiento los sistemas orgánicos pueden casi coincidir con los rendimientos de cultivos convencionales, mientras bajo otras condiciones esto no puede suceder (Seufert *et al.*, 2012).

Para establecer la agricultura orgánica como una importante herramienta de producción sustentable de alimentos, el factor limitante de los rendimientos orgánicos tienen que ser mejor comprendidos, junto a muchas evaluaciones e investigaciones que deben hacerse para poder comprender, muchos de los beneficios ambientales y económicos, para la gran mayoría de la sociedad, hablando de granjas con sistemas orgánicos (Seufert *et al.*, 2012).

2.12.- Biofertilizantes

Los biofertilizantes son insumos formulados con uno o varios microorganismos, los cuales benefician la nutrición y el crecimiento de las plantas, son generalmente hongos y bacterias que se asocian de manera natural en al raíces y pueden facilitar de manera directa o indirecta la asimilación de algunos nutrientes como fósforo y nitrógeno y además la absorción de agua (Acuña, 2003).

Aparte de producir sustancias determinadas como fitohormonas promotoras del crecimiento vegetal, algunos de estos microorganismos, se pueden combinar,

resultando en efectos sinérgicos cuando se aplican de manera conjunta. Es decir, de una forma u otra, proveen o mejoran la disponibilidad de nutrientes cuando se aplican a los cultivos (Acuña, 2003).

El uso de biofertilizantes origina procesos rápidos, consumen poca energía y no contaminan el medio ambiente. Su uso representa una alternativa para limitar el uso de abonos químicos, que son menos rentables económicamente, a la vez reduce el impacto ambiental negativo y mejora la productividad de los cultivos. A su vez, los biofertilizantes pueden ser de gran utilidad en la recuperación de los terrenos marginales para su aprovechamiento agrícola y forestal (Fernández y Rodríguez, 2005).

Hoy se utilizan diferentes microorganismos con funciones específicas en la agricultura para mejorar la productividad de las plantas. Todos son una fuente facilitadora del manejo de los nutrimentos que benefician el funcionamiento de los cultivos, y forman parte de una tecnología que garantiza una productividad biológica, económica y ecológica más exitosa y sin contaminación del ambiente y de inocuidad reconocida para el hombre (Aguirre, 2009).

Ferrera-Cerrato *et al.* (2001). La aplicación de abonos orgánicos, la inoculación de hongos endomicorrízicos y microorganismos fijadores de nitrógeno son alternativas que pueden emplearse en la producción agrícola. Los hongos micorrízicos son importantes en las plantas porque penetran y colonizan las células radicales del hospedante, forman un sistema de transferencia bidireccional, llevan nutrimentos minerales del suelo a la planta y compuestos orgánicos de la planta al suelo. De este modo, la asociación posibilita, mediante

mecanismos bioquímicos, mayor absorción de nutrimentos, principalmente fósforo (Bethlenfalvay, 1993; González, 1993).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y la rizobacteria promotora de crecimiento vegetal (RPCV) del género *Azospirillum*, son de los microorganismos benéficos más estudiados (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). Su uso en regiones semiáridas es de particular importancia para soportar los efectos del estrés hídrico en los cultivos (Sánchez de la Cruz *et al.*, 2008)

2.12.1.- Hongos

Se propone una clasificación de las micorrizas que se basa en las características morfológicas de la infección y en los taxones de los simbioses, distinguiendo siete tipos: ectomicorrizas, endomicorrizas o micorrizas vesículo-arbusculares (VA), ectendomicorrizas, arbutoides, monotropoides, ericoides y orquidioides (Chung, 2005).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son componentes importantes de la comunidad microbiana de la rizosfera, que colonizan las raíces de las plantas y establecen simbiosis. Su función es facilitar la asimilación de nutrimentos a las plantas, inclusive en suelos infértiles, lo que se traduce en la promoción de su crecimiento y reproducción de éstas (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000).

Adicionalmente, los HMA protegen a la planta contra la acción de algunos fitopatógenos del suelo por Khali *et al.* (1994) y Espinoza-Victoria *et al.* (2004). La

información del beneficio que aportan los HMA a gramíneas, en particular en sorgo, es amplia. Diferentes estudios de invernadero y campo han demostrado que estos microsimbiontes incrementan la biomasa seca, el peso de grano, la absorción de P, el contenido de clorofila, la extracción de agua del suelo a la planta, la longitud de la raíz y el rendimiento de grano por Singh y Tilak (1992), Osonubi (1994) y Bressan *et al.* (2001).

La colonización micorrízica radical por los HMA ha demostrado incrementos de productividad de diversos cultivos en suelos con estrés hídrico (Sylvia *et al.*, 1993).

La promoción en la productividad de plantas con HMA es atribuida al mejor aprovechamiento de los nutrientes inmóviles del suelo como P, Z y Cu. También, la colonización de HMA puede influir en la resistencia a sequía ya que provocan cambios en la elasticidad de la, al incrementar su turgencia y los potenciales de agua, al moderar la apertura estomática y la transpiración, así como al incrementar la longitud y profundidad radical, y la proliferación de hifas (González *et al.*, 2004).

2.12. 2.- *Glomus intraradices*

El HMS *G. intraradices* es un extendido hongo micorrícico (*Glomeromycota*) encontrado en diferentes ecosistemas a lo largo del mundo, incluidos lugares templados y tropicales. Como un simbiote, el *G. intraradices* es altamente efectivo en movilizarse, tomar y transferir nutrientes minerales del suelo hacia las plantas, y fácilmente colonizar muchas especies de plantas incluyendo las especies de importancia agrícola, así como el trigo, alfalfa, arroz, y plantas modelo

claves como *Medicago truncatula*, *Lotus japonicum*, y *Populos trichocarpa*. Por estas razones el *G. intraradices* es uno de los más estudiados de las Micorrizas Arbusculares y el ingrediente primario en muchos productos de inoculación comerciales. *G. intraradices* puede también crecer in vitro y además transformarse siendo aplicado en raíces de zanahoria, y es una de las esporas disponibles comercialmente de manera pura en grandes cantidades (Tisserant *et al.*, 2012).

2.12.3 Bacterias

Existen bacterias libres y bacterias simbióticas fijadoras de N. Las bacterias libres fijadoras de nitrógeno se encuentran en altas concentraciones en la rizosfera, una región ubicada hasta 2 mm de distancia de la raíz. La rizosfera representa un oasis nutricional en el suelo, en especial para el césped. Entre las bacterias libres que pueden fijar el N figuran especies aerobias como rizobacter. Estos organismos aerobios utilizan gran cantidad de oxígeno, lo que disminuye su difusión hacia el interior de la célula. De este modo evitan que la enzima anaerobia nitrogenada, ubicada en el interior de la célula entre en contacto con el oxígeno (Tortora *et al.*, 2007).

Las bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno desempeñan un papel más importante aún en la producción de cultivos. Los miembros de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y otros infectan las raíces de las leguminosas como la soja, las judías, los guisantes, los cacahuates, la alfalfa y el trébol. Estas bacterias conocidas como *Rhizobia*, están adaptadas a ciertas especies de legumbres, en

las que forman nódulos de la raíz. El N se fija mediante un proceso de simbiosis entre la planta y la bacteria. La planta le suministra a la bacteria condiciones anaerobias y nutrientes y la bacteria fija el nitrógeno para que la planta pueda incorporarlo a las proteínas (Tortora *et al.*, 2007).

La fijación biológica de N se lleva a cabo exclusivamente por procariontes que tienen la capacidad de reducir el nitrógeno atmosférico N^2 , a amonio (NH^4), que puede ser utilizado por las plantas, contribuyendo a la mejora y productividad de los cultivos. Por tanto, cualquier deficiencia en los compuestos nitrogenados orgánicos e inorgánicos del suelo estimula la fijación microbiana de N (Rózycki *et al.*, 1999).

2.12.4 *Azospirillum brasilense*

El género *Azospirillum* pertenece a la subclase alfa de las proteobacteria. Características útiles en la identificación rutinaria son la forma vibroide, el pleomorfismo y su movilidad en espiral. Las células contienen cantidades elevadas de poli- β -hidroxibutirato (PHB), hasta 50% del peso seco celular, observándose al microscopio las células jóvenes con abundantes gránulos refringentes (Caballero-Mellado, 2000).

Las especies de *Azospirillum* han sido encontradas en asociación con raíces de varias gramíneas importantes, como maíz y trigo (*Triticum aestivum L.*). También ha sido encontrada en asociación con plantas de las familias Leguminosae, Compositae y Cactaceae, entre otras. La inoculación con *A.*

brasilense ha incrementado entre 30% y 36% la producción de grano y materia seca del maíz (García-Olivares *et al.*, 2007).

La rizobacteria *A. brasilense* posee la capacidad de fijar N², producir fitohormonas, siderófos, solubilizar el P y promover la síntesis de enzimas que a la vez regulan los niveles de fitohormonas. En sorgo de temporal, la inoculación con el HMA *G. intraradices* Schenck et Smith, o la rizobacteria *A. brasilense*, incrementaron el rendimiento de grano y la rentabilidad de la producción (Sánchez de la Cruz *et al.*, 2008).

Existe un estudio en el cual se inocularon semillas de chile habanero, con la bacteria *A. brasilense*, en el cual se obtuvo como resultado, que el uso de esta bacteria no aumentó ni disminuyó el porcentaje de germinación, pero si aceleró la germinación un día comparada con los tratamientos en los que no se inoculó *A. brasilense* (Canto- Martin *et al.*, 2004).

2.13.-Agricultura protegida

2.13.1.- Descripción

La agricultura protegida (AP) es aquella que se realiza bajo métodos de producción que ayudan a ejercer determinado grado de control sobre los diversos factores del medio ambiente. Permitiendo con ello minimizar las restricciones que las malas condiciones climáticas ocasionan en los cultivos (SAGARPA, 2012).

Entre las ventajas de este sistema de producción se puede señalar que: la AP, permite el desarrollo de cultivos agrícolas fuera de su ciclo natural y en menor tiempo, se enfrenta con éxito plagas y enfermedades, con mejores rendimientos en menor espacio, sanos y con un mejor precio en los mercados, generando, un mejor ingreso para los productores (FAO-SAGARPA, 2007).

López *et al.* (2011) publica, que en años recientes, los cultivos hortícolas han presentado una tendencia hacia la obtención de producción anticipada o fuera de estación, en condiciones diferentes a aquellas en las que tradicionalmente se cultivaban a campo abierto. Esta tendencia ha creado la necesidad de usar diversos elementos, herramientas, materiales y estructuras en la protección de cultivos con la finalidad de obtener productos de mejor calidad. Esta actividad también llamada horticultura protegida y en gran medida ha sido propiciada por el desarrollo de materiales plásticos para el uso agrícola. Las estructuras más utilizadas de la AP son los invernaderos, malla sombra, túneles altos y bajos; en este orden.

La AP es una herramienta que va desde componentes muy simples que sólo ayudan a conservar calor y/o proteger de precipitación, hasta sistemas muy complejos que a través de diversos componentes se puede controlar la temperatura, radiación, humedad, aeración y CO₂, proteger contra los elementos climáticos, como es viento, precipitación y ayudar a controlar plagas y algunas enfermedades López *et al.* (2011).

Dentro de las tecnologías más conocidas (SAGARPA, 2009) se tienen:

- Los Invernaderos: son estructuras que puede utilizar sistemas de hidroponía o producir directamente en suelo, pero que sus componentes van desde activos hasta pasivos. Existen una gran variedad de diseños, tipo de estructuras y usos de materiales como vidrio, plástico, mallas, o mezcla de estos mismos.
- Casa Sombra: son estructuras más simples y menos activas que constan de una estructura que rodea el cultivo con malla.
- Macro túneles: Es uno de los sistemas más pasivos dentro de la horticultura protegida que cuenta con una estructura que pone un techo cóncavo sobre el cultivo, cuya función va desde la conservación de temperatura hasta proteger cultivos de la precipitación y parcialmente de la radiación solar.

Lo importante a destacar es que estas tecnologías son herramientas cuya aplicación obedece a un análisis de factores que van desde: SAGARPA (2009).

- Clima
- Topografía
- Cultivos
- Mercados destinos
- Dimensiones
- Capacidad técnica
- Capacidad económica

En México, la horticultura protegida está en amplio crecimiento y desarrollo. En el año de 1980 se reportaron 300 ha, con este sistema de producción y en 2008 alrededor de 10 000 ha. Este sistema de producción ha presentado un elevado crecimiento en los últimos años que se ubica entre 20 y 25% anual, lo que ha generado contradicciones en el número de ha actualmente establecidas. La Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en 2009 reportó 11 760 ha mientras que para el mismo año la Asociación Mexicana de Agricultura Protegida, Asociación Civil (AMHPAC) en el mismo año censó 15 300 ha. En general, los invernaderos constituyen 44 % y la malla sombra 51% respectivamente. Los Estados que concentran el mayor número de ha de cultivo en invernadero son: Sinaloa (22%), Baja California (14%), Baja California Sur (12%) y Jalisco (10%); en estas cuatro entidades se encuentra más del 50% de la producción total de cultivos protegidos (López *et al.*, 2011).

2.13.2.- Importancia

La aparición de los plásticos procedentes de la industria química ha tenido múltiples aplicaciones en la vida moderna; una de ellas es la agricultura llamada "Plasticultura". El aumento de los rendimientos está relacionado básicamente con algunos factores tecnológicos y estos se inician en Holanda e Israel, a principios de los años 60, para producir hortalizas bajo condiciones de invernadero. Al mismo tiempo, los agricultores chinos comenzaron a utilizar la técnica de acolchados para proteger los cultivos que se plantaban a finales de invierno y

principios de primavera. Estas técnicas, se difundieron rápidamente y alcanzaron un gran desarrollo en otros países como España, Italia, Turquía, Japón, Estados Unidos, México, Chile y Argentina (CENAMAR, 1985).

Aun con el costo de los plásticos, este insumo representa una inversión válida para la producción de alimentos, por el ahorro de insumos, aumentando los rendimientos de los cultivos sobre todo donde se carece de recursos naturales (clima, agua, suelo) desarrollando así una agricultura rentable. (CENAMAR, 1985).

En México, las hectáreas protegidas han evolucionado desde 1998 a 2008 a una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) de 34.5%, existiendo diferentes versiones de su inventario. De la información obtenida en el II Simposio Internacional de Invernaderos 2008, de 8,834 ha con AP, 49% eran de invernaderos tecnificados y de mediana tecnificación y el 51% de malla sombra. Es decir, la dinámica de la TMCA corresponde en un porcentaje importante (70%) al crecimiento de los invernaderos de mediana y baja tecnología. En México, los invernaderos de mediana tecnología han proliferado en la región del bajío y los de baja tecnología se han instalado, preferentemente, en los estados de Baja California y Sinaloa según SAGARPA-ASERCA (2008).

2.13.3.- Acolchados

Los acolchados se han utilizado desde hace muchos años en la agricultura, principalmente en horticultura y fruticultura. El motivo principal del uso de los acolchados es la mejora de la productividad del cultivo debido al control de las

malas hierbas; del incremento o disminución de la temperatura del suelo dependiendo del color de acolchado plástico, al aumento de la precocidad de la cosecha, y a la disminución de la evaporación de agua del suelo (Valenzuela y Gutiérrez, 2003).

El polietileno, fundamentalmente por su bajo costo relativo, es el material más utilizado en acolchado de suelos a nivel mundial. Además es de fácil uso ya que posibilita la mecanización de su instalación. Corresponde a una resina termoplástica obtenida a partir del etileno polimerizado a altas presiones. Es flexible, impermeable e inalterable al agua, no se pudre ni es atacado por los microorganismos. El uso de acolchado de polietileno en los cultivos genera importantes modificaciones en el ambiente físico donde se cultivan las plantas, cuya intensidad depende del tipo de polietileno que se utilice (Valenzuela y Gutiérrez, 2003).

Hay numerosas ventajas asociadas al empleo de los acolchados, pero su uso supone un importante coste que sólo es generalmente abordable en cultivos con una elevada rentabilidad económica (Zribi *et al.*, 2011)

El acolchado del suelo constituye una alternativa a los métodos tradicionales de control de malas hierbas ya que no produce contaminación del medio (suelo o aguas subterráneas) por productos fitosanitarios ni ocasiona problemas de erosión. El acolchado del suelo con materiales opacos evita la penetración de la luz y constituye una barrera física para la emergencia de la flora arvense por Teasdale (2003). Asimismo, Walsh *et al.* (1996) indican que el

acolchado controla la maleza favoreciendo su asfixia y evitando la germinación de las semillas de las malas hierbas (Zribi *et al.*, 2011)

2.13.4.- Casa sombra

Las mallas sombras con cubiertas plásticas para los cultivos son sistemas alternativos a los invernaderos cubiertos con polietilenos para la producción de hortalizas. Aun cuando las mallas tienen un control parcial de algunos factores climáticos, son consideradas opciones tecnológicas para la producción de hortalizas en ambientes cerrados de producción. Entre las funciones más importantes de las mallas plásticas está el aislar a cultivos de los insectos; disminuir los efectos negativos de la radiación directa y reducir la velocidad del viento. (Morales y Payán, 2010)

Este tipo de estructuras, son considerados en Europa de baja tecnología (Guantes, 2006), por lo que su costo es menor. El precio podría variar entre los 4 o 5 euros/m² de las más baratas hasta los 10 o 11 euros/m² para los más caros.

Las mallas plásticas son estructuras más flexibles a las ráfagas de viento, de menor costo y no han presentado ninguna dificultad agronómica para el crecimiento y desarrollo de tomate, pimientos, pepinos y calabacita en relación al amarre de frutos, control de plagas y enfermedades; permitiendo mayor densidad de población y tutorado más fácil. Sin embargo es posible controlar los factores ambientales adversos para los cultivos (Guantes, 2006).

Las mallas anti-insectos en la mayoría de los casos no controlan totalmente a los patógenos, debido a que algunos insectos como mosca blanca son capaces

de penetrar por roturas de plástico, orificios de canaletas, puertas mal hermetizadas, errónea colocación de plástico o malla, etc. Además, los insectos muy pequeños son arrastrados por el viento con facilidad y en algunas ocasiones pueden atravesar la malla por aquellos orificios muy grandes. Sin embargo, los tamaños reducidos disminuyen la circulación del viento dentro de la malla. En general, la decisión de las características físicas de las mallas dependerá del clima y necesidades agronómicas de los cultivos que serán establecidos (Morales y Payán, 2010).

Las casas sombras son baratas y es una alternativa para invernaderos que ofrecen ventilaciones sólidas para un crecimiento positivo y con resultados, especialmente para cosecha, al igual que chile pimiento, pepinos y una variación de flores, también provee protección desde insectos y exposición de sol de excesiva. Puede venir con una variedad de modelos con diferentes tipos de malla que proveen en diversos niveles de protección de cosecha (Rivera, 2007).

Las ventajas que proporciona el uso de mallasombra son (Rivera, 2007):

- Se minimiza la entrada de insectos plaga y vectores de enfermedades
- Sombreo de plantas
- Reduce el estrés por altas radiaciones y temperaturas
- Ahorro de agua por una reducción en la evapotranspiración
- Las mallas uniformizan la radiación y reducen los cambios marcados en temperatura.

2.14.- Antecedentes de uso de técnicas orgánicas en sistemas de agricultura protegida

Siendo Sinaloa uno de los 13 principales estados productores de papaya, existen antecedentes de producción de la misma de manera orgánica y bajo condiciones de malla sombra, para la cual se utilizaron y se elaboraron dos fertilizantes líquidos fermentados (Supermagro y Biofish). Para el control de las plagas que se presentaron realizaron aplicaciones de caldo sulfocálcico (mezcla de una parte de cal más dos de azufre), en dosis de 2 litros por hectárea cada ocho días; con estas aplicaciones la presencia de araña roja se eliminó por completo, pero no la del piojo harinoso por lo que fue necesaria una aplicación adicional de extracto de Neem (Fundación Produce Sinaloa, 2012).

Un trabajo realizado por Cépeda (2010), nos muestra como antecedente el uso de malla sombra en la producción orgánica en el cultivo de tomate cherry, en las cuales se tuvo un buen resultado en las plantas coinoculadas con *A. brasilense* y *G. intraradices*. Existen otros estudios realizados en la Comarca Lagunera, en donde se probó la eficiencia de la utilización de estiércol bovino en la producción orgánica de tomate obteniendo buenos resultados (Salazar *et al.*, 2003).

Cabe mencionar que si existe literatura que hable de la producción convencional de chile habanero en condiciones de malla sombra o en condiciones orgánicas, pero no se encontró literatura de la existencia de cultivos que además de ser producidos de manera orgánica, se estuvieran produciendo en condiciones de malla sombra.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica

El trabajo se realizó en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado en la ciudad de Saltillo, Coahuila y que se encuentra en las coordenadas geográficas: 25°27'39.81" de latitud norte, 100°58'08.05" de longitud oeste y a una altitud de 1499 msnm. Fue realizado en una casa sombra de 225 m² con malla con un 50% de sombreado y con una malla antiáfidos adicional.

3.2 Descripción del área de trabajo

La ciudad de Saltillo está ubicada a 1,600 metros sobre el nivel del mar, con clima árido, pero debido a su altura sus temperaturas son más bajas que otras ciudades ubicadas en los desiertos de México. El clima en el municipio es de subtipos secos semicálidos; al suroeste subtipos semisecos templados y grupos de climas secos B y semifríos, en la parte sureste y noreste; la temperatura media anual es de 14 a 18°C y la precipitación media anual en el sur del municipio se encuentra en el rango de los 300 a 400 milímetros; al centro tiene un rango de 400 a 500 milímetros y al norte de 300 a 400 milímetros; con régimen de lluvias en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y escasas en noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo; los vientos predominantes soplan en dirección noreste con velocidad de 22.5 km/h (Cuellar *et al.*, 1981).

3.3 Descripción del material vegetativo

Se utilizaron semillas de chile Habanero, cultivar Orange de la compañía Westar de California, USA. Con una pureza del 99%, 85% de germinación y 1% de impurezas. La producción de plantas se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades, para un posterior trasplante.

3.4 Tratamientos

El estudio consistió de seis tratamientos, con cuatro repeticiones cada uno, las repeticiones constaron de 14 plantas de chile habanero, los cuáles se describen en el Cuadro 3:

Cuadro 3. Descripción de tratamientos utilizados en el trabajo experimental.

Tratamientos	Con o Sin Acolchado Plástico	Fertilización (N-P-K)
T1	Sin	100%
T2	Con	100%
T3	Con	50% + inoculación con *Gi+Ab
T4	Sin	50% + inoculación con Gi+Ab
T5	Con	25% + inoculación con Gi+Ab
T6	Sin	25% + inoculación con Gi+Ab

*GI+AB= Inoculación de las semillas y plantas con biofertilizantes *Glomus intraradices* (Gi) y *Azospirillum brasilense* (Ab)

3.5 Metodología

3.5.1 Producción de plántulas

Se sembraron el 12 de marzo de 2012, 7 charolas de poliestireno, de 200 cavidades, con un sustrato proveniente de la mezcla del sustrato comercial conteniendo peatmoss y perlita. Se sembraron y regaron de forma manual y se sometieron a condiciones de invernadero para su germinación. Se llevó a cabo un proceso de imbibición de las semillas que se realizó dos días antes de ser sembradas. Previo a ser sembradas en las charolas las semillas se inocularon con *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*, con la dosis recomendada por los productos de la empresa Green Corp para inoculación de semillas. Para la inoculación de *Azospirillum brasilense* se utilizó el biofertilizante nombrado comercialmente Biospiril L. con la dosis de 0.5- 1 L. En cuanto a la inoculación de *Glomus Intraradices* se utilizó el producto Micorrizas con la dosis de 700 g/ha. En ambos productos, posterior a la inoculación de las semillas, se realizaron 3 inoculaciones más a los 5, 10 y 15 días después del trasplante (ddt). Siendo aplicado en la base del tallo de la planta con ayuda de una bomba de aspersion.

3.5.2 Preparación del terreno

El barbecho y rastreo del suelo, se realizó con maquinaria agrícola, mientras que la formación y levantamiento de camas se elaboraron de manera manual a una distancia de 120 cm entre cama y cama, con una altura de 20 cm y un ancho de la misma de 110 cm. El largo de estas era de 14 m con la finalidad de

dejar el suelo con la calidad óptima para la instalación de cintillas, acolchado y el posterior trasplante.

3.5.3 Instalación de cintillas y acolchados

Se instalaron dos líneas de cintilla en cada cama, con emisores a 12 pulgadas de distancia, para posteriormente instalar la película de acolchado coextruído blanco-negro, dejando en la parte superior el color blanco y en el inferior el color negro. El acolchado plástico fue una película 1.20 m de ancho y 0.03 mm de espesor.

3.5.4 Trasplante

El trasplante de plántulas de chile habanero se realizó el día 18 de mayo del 2012, el diseño de plantación corresponde al sistema de tresbolillo a una distancia entre plantas de 40 cm y una distancia entre camas de 120 cm, las cuales constaban de 14 metros de longitud. Cada repetición constaba de 14 plantas.

3.6 Manejo del cultivo de chile habanero

3.6.1 Nutrición y Riegos

La nutrición se realizó con la utilización de fertilizantes químicos sintéticos, los cuales se aplicaban de manera foliar y mediante el sistema de riego, para satisfacer la demanda recomendada para el cultivo correspondiente a una dosis de 250-100-300 (correspondiente a N-P-K respectivamente) para la fertilización

tradicional completa, 125-50-150 para la fertilización correspondiente al 50% y 62.5-25-75 para el tratamiento de fertilización que se utilizó para la dosis al 25%.

3.6.2 Tutoreo

A pesar de que la producción de chile habanero en campo abierto no muestra la necesidad del tutoreo, en casa sombra fue necesario realizarlo con la finalidad de mejorar la ventilación e iluminación en toda la planta así como optimizar los espacios y con esto facilitar el manejo de cultivo.

Para realizarlo se utilizó rafia de polietileno y polipropileno, para lo cual previamente se instalaron 2 postes a cada extremo, a la mitad y al final de cada una de las camas de siembra. Mediante estos se sostenía la rafia y se iba colocando alrededor de todas las plantas por la parte interna y externa. Al realizarlo se cuidó de que la rafia no quedara demasiado apretada para no maltratar la planta.

3.6.3 Manejo de plagas y enfermedades

El control y/o manejo de las plagas y enfermedades se realizó mediante la utilización de plaguicidas orgánicos. A lo largo del ciclo de cultivo hubo la aparición de mosca blanca (*Bemisia tabasi*), pulgones (*Myzus persicae*) y trips (*Thrips* spp). La mosca blanca se controló mediante la aplicación de Bio-crack insecticida y repelente, el Pestil out se utilizó contra la presencia de Trips, y para controlar a los pulgones se utilizó aceite de Neem.

En cuanto a las enfermedades, no se presentó ninguna, pero se anexa el Cuadro 4 con los productos que fueron utilizados en la prevención de las mismas.

Cuadro 4. Productos orgánico-biológicos utilizados para la nutrición y control de plagas y enfermedades del cultivo de chile habanero.

Producto	Función biológica	Dosis
Insecticidas y repelentes		
Ebioluzion Plus	Control de ácaros, minadores, picudos y larvas de lepidópteros	0.75 L/ha
Pestil Out	Control de mosquita blanca, picudos, trips, minador de la hoja, larvas.	1-2 L/ha
Aceite de Neem	Control de al menos unas 175 especies diferentes de insectos, garrapatas, nemátodos, escarabajos (Coleóptera), moscas (Díptera), mariposas (Lepidóptera), langosta (Ortóptera), trips, pulgones, escarabajo de la patata, mosca blanca, mosquitos de agua estancada.	1-2 cc/L
Acaricidas		
Abamixxin	Controlar ácaro blanco, araña roja, minador de la hoja.	0.5 L/ha
Bio crack	Utilizado para regular la población de las siguientes plagas: mosquita blanca y picudo del chile.	1-3 L/ha
Fungicidas		

Best Ultra F	Control de cenicillas polvorientas, royas, carbones, antracnosis, <i>Botrytis cinerea</i>	1-2 L/ha
Best Ultra S	Control de <i>Fusarium</i> sp, <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> sp., <i>Phymatotrichum</i> , <i>monosporascus</i> y <i>Verticilium</i> sp.	1-2 L/ha
Bactericidas		
Biobacter	Control e inducción a la resistencia a enfermedades causadas por bacterias fito patógenas	0.30-0.35 L/ha

3.6.4 Cosecha

Los cortes se realizaron cada 15 días, cosechando todos los frutos que presentaban la madurez aceptada por el mercado, esto es cuando empiezan a cambiar su color de verde a naranja, o los que ya están completamente naranjas. Se realizaron ocho cortes durante el ciclo.

3.7 Variables evaluadas

3.7.1 Altura de la planta

Se midió con una cinta métrica, desde la parte inicial del tallo hasta las hojas superiores, en todas las mediciones realizadas no se tomó en cuenta la raíz de la planta.

3.7.2 Área foliar

Se midió con la ayuda del medidor de área foliar de la marca Licor modelo Li-3100.

3.7.3 Peso fresco total

Este se determinó pesando el tallo, hojas, flores y frutos utilizando la báscula digital Acull 93 modelo VI-4800.

3.7.4 Peso seco total

La biomasa se determinó considerando el peso de tallo, hoja, flor y fruto luego de que las partes de la planta, fueran secadas en una estufa por 72 horas como mínimo a 65°C de temperatura. Luego de este período se pesaban y registraban los resultados.

3.8 Colecta de datos

Los datos fenológicos fueron obtenidos en tres ocasiones en fechas previamente determinadas a los 30, 60 y 90 después del trasplante (DDT), siendo estas el 19 de junio de 2012, 19 de julio de 2012 y 18 de agosto de 2012. El rendimiento se cuantificó a partir del 20 de agosto con intervalos de 15 días, terminando de cosechar el 26 de noviembre.

3.9 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó para el experimento fue el completamente al azar con arreglo factorial, con 6 tratamientos y 4 repeticiones. Se tuvieron dos factores de estudio: 1) el acolchado de suelos y 2) la dosis de fertilización; habiendo determinado la interacción de los microorganismos inoculados como biofertilizantes. El análisis estadístico fue realizado en el programa SAS y los promedios fueron comparados mediante la prueba de Tukey con $P < 0.05$.

IV.- RESULTADOS

4.1 Primer muestreo

En el primer muestreo a los 30 DDT (Cuadro 5), el acolchado blanco/negro mostró un efecto significativo sobre todas las variables evaluadas, con la excepción de altura de la planta y peso fresco del tallo (Cuadro 6). Mientras tanto el área foliar, peso seco de la hoja, peso seco del tallo y peso seco total fueron superiores en un 39%, 45%, 186% y 54% respectivamente, en las plantas acolchadas comparadas con las plantas sin acolchar.

En este primer muestreo no se observó un comportamiento significativo en cuanto a las dosis de fertilización aplicadas, excepto en el peso seco del tallo (Cuadro 6), en el cual se aprecia que la dosis de fertilización al 50% con acolchado estuvo asociado a los mejores resultados comparado con otras dosis y con las plantas sin acolchado plástico (Cuadro 6). De igual manera no se detectó significancia estadística debido al efecto de la interacción del acolchado con la fertilización, a excepción de la variable peso seco del tallo con el tratamiento acolchado que recibió el 50% de la fertilización química + (Gi+Ab), el cual reportó 276 y 370% más biomasa respectivamente, que los tratamientos con 100% de fertilización convencional y el tratamiento con 25% + (Gi+Ab).

Cuadro 5. Variables analizadas en el cultivo de chile habanero bajo condiciones de casasmbr y acolchado, con diferentes dosis de fertilización convencional en combinación con biofertilizantes microbianos.

Variables Analizadas							
Acolchado	Fertilización (%)	Altura de la planta (cm)	Área foliar (cm ²)	Peso fresco del tallo (g)	Peso seco de la hoja (g)	Peso seco del tallo (g)	Peso seco total (g)
Con	100	18.1	704.8	27.3	2.8	1.0	3.8
Con	50 (Gi+Ab)	19.4	845.8	34.6	3.4	4.7	4.7
Con	25 (Gi+Ab)	19	1069	42.8	4.1	1.7	5.7
	Promedio	18.8	873 a	34.9	3.4 a	2.5 a	4.7 a
Sin	100	17.5	635.9	142.5	2.6	0.9	3.2
Sin	50 (Gi+Ab)	17.3	523.7	20.3	2.1	0.8	3.8
Sin	25 (Gi+Ab)	19.8	717	26.7	2.3	0.9	3.2
	Promedio	18.2	625 b	63.1	2.3 b	0.9 b	3.1 b

Las letras para los promedios del acolchado indican diferencia significativa entre ambos tratamientos con y sin acolchado. *Gi= Glomus intraradices* y *Ab= Azospirillum brasilense*

Cuadro 6. Niveles de significancia (*P*) de los factores acolchado, dosis de fertilización y la interacción detectados en las variables respuesta evaluadas en chile habanero a los 30 días después del trasplante.

Variables Analizadas						
Factores estudiados	Altura de planta	Área foliar por planta	Peso			
			fresco de tallo	Peso seco de hoja	Peso seco del tallo	Peso seco total
Acolchado	0.531	0.012	0.474	0.004	0.001	0.001
Fertilización	0.46	0.10	0.433	0.360	0.001	0.154
Acolchado*Fertilización	0.473	0.379	0.31	0.145	0.001	0.184

En la Figura 1 se presenta la interacción significativa, en la cual se puede observar que con la dosis de fertilización correspondiente al 50% en el tratamiento con acolchado, se obtuvo mayor valor de peso seco del tallo, con la fertilización

en dosis de 100% y 25% los resultados fueron casi 4 veces menores que el antes mencionado.

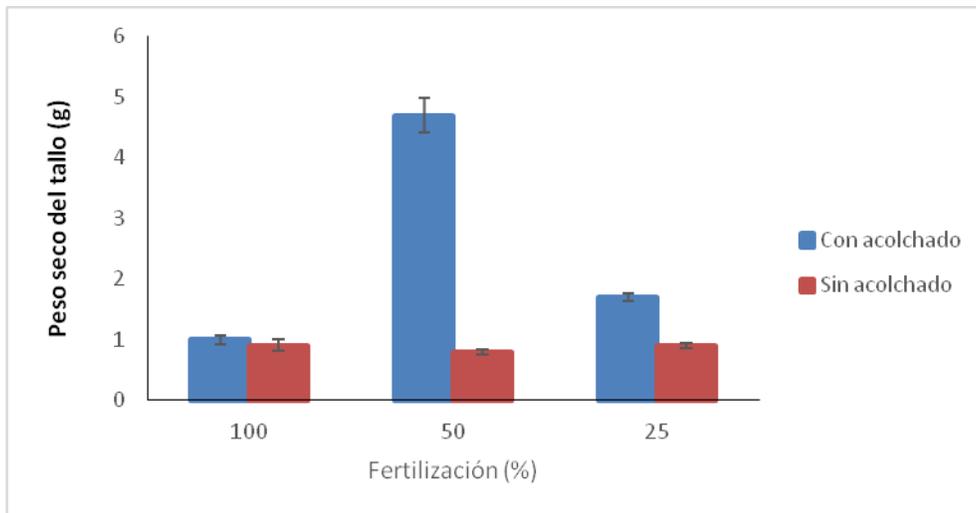


Figura 1. Efecto de la dosis de fertilización convencional combinada con la biofertilización de *Azospirillum brasilensis* y *Glomus intraradices* en el peso seco del tallo de plantas de chile habanero, en el primer muestreo realizado a los 30 días después del trasplante

4.2 Segundo muestreo

En el segundo muestreo a los 60 DDT (Cuadro 7) todas las variables presentaron un efecto significativo del acolchado, con excepción del área foliar. Al igual que en el primer muestreo las plantas con acolchado obtuvieron valores más altos comparados con los tratamientos sin acolchar. La altura de la planta, peso fresco del tallo, peso seco de la hoja, peso seco del tallo, peso seco de flor y peso seco total, de las plantas con acolchado, fueron mayores en un 14, 41, 41, 41, 43 y 41% respectivamente, en comparación a las plantas que no se acolcharon.

En cuanto a la fertilización y la interacción, no se detectaron diferencias significativas en ninguna variable, sin embargo, se presentó una tendencia hacia un mayor crecimiento vegetativo al reducir la dosis de fertilización, tanto en plantas acolchadas como no acolchadas, tal como se puede apreciar para la variable altura de la planta Figura 2 y el peso seco total por planta en la Figura 3.

Cuadro 7. Variables analizadas en el cultivo de chile habanero bajo condiciones de casasmombra y acolchado de suelos con diferentes dosis de fertilización convencional en combinación con biofertilizantes.

Variables analizadas a los 60 días después del trasplante								
Acolchado	Fertilización	Altura	Área foliar	Peso fresco del tallo	Peso seco de hoja	Peso seco de tallo	Peso seco de flor	Peso seco total
Con	100	66.8	5769.2	521.2	32.7	16.3	2	51
Con	50 (Gi+Ab)	68.8	10298	565.7	35.4	17.7	2.2	55.3
Con	25 (Gi+Ab)	77.5	12829	698.1	43.7	21.9	2.7	68.3
	Promedio	70.7 a	9632	595 a	37.3 a	18.6 a	2.3 a	58.2 a
Sin	100	59.5	7823	470.7	29.5	14.7	1.8	46
Sin	50 (Gi+Ab)	60.3	6424	335.4	21	10.5	1.3	32.8
Sin	25 (Gi+Ab)	66	8499	46.3	28.6	14.3	1.8	44.7
	Promedio	61.9 b	7582	420.8 b	26.4 b	13.2 b	1.6 b	41.2 b

Las letras para los promedios del acolchado indican diferencia significativa entre ambos tratamientos con y sin acolchado. Gi= *Glomus intraradices* y Ab= *Azospirillum brasilense*

Cuadro 8. Niveles de significancia (*P*) del factor acolchado; dosis de fertilización y la interacción detectada en las variables respuesta evaluadas en chile habanero.

Variables analizadas a los 60 días después de trasplante							
Factores estudiados	Altura de la planta	Área foliar de la planta	Peso fresco del tallo	Peso seco de hoja	Peso seco de tallo	Peso seco de flor	Peso seco total
Acolchado	0.016	0.119	0.008	0.008	0.008	0.007	0.008
Fertilización	0.083	0.064	0.228	0.226	0.226	0.232	0.227
Acolchado*Fertilización	0.810	0.094	0.347	0.350	0.346	0.333	0.348

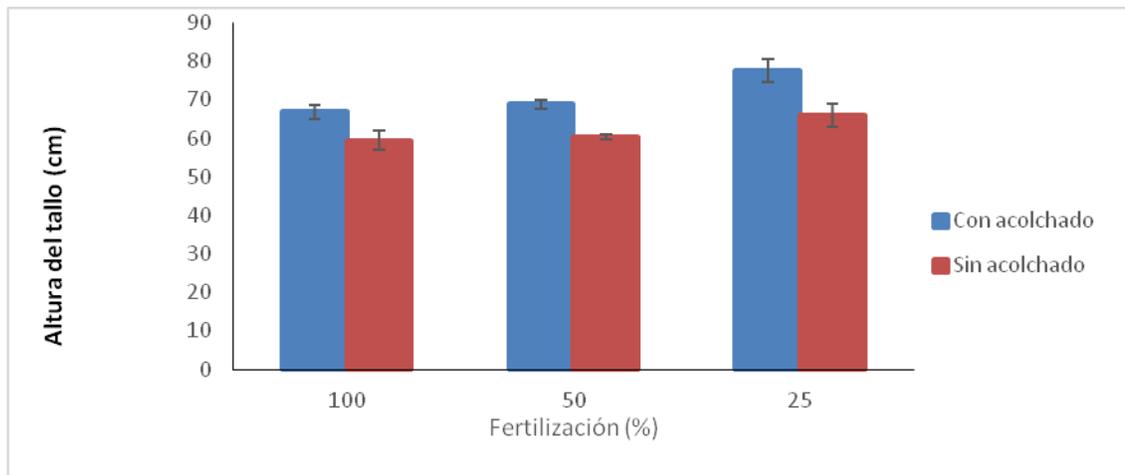


Figura 2. Efecto de la dosis de fertilización combinadas con la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en la altura de la planta de chile habanero bajo condiciones de acolchado y sin acolchado de suelo a los 60 días después del trasplante

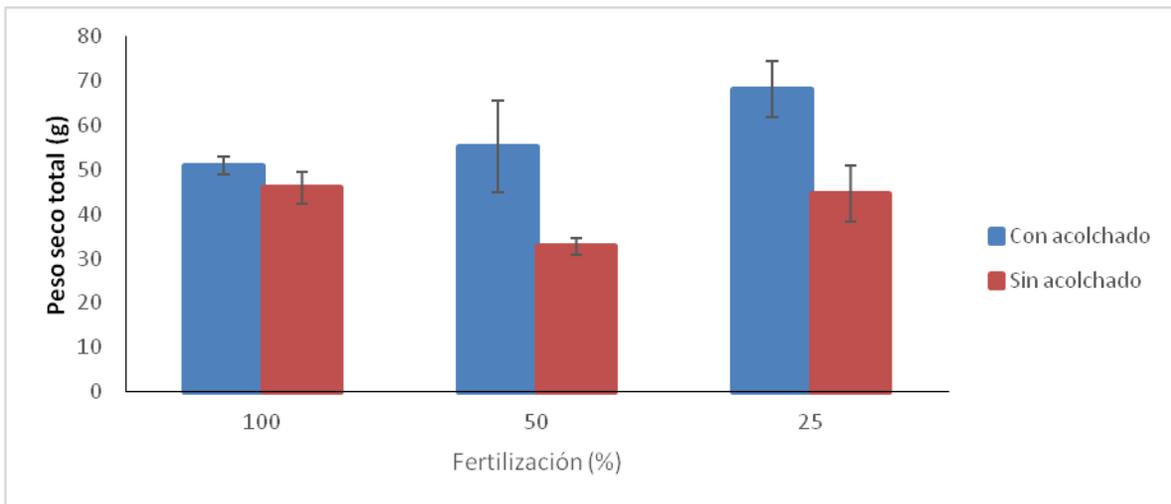


Figura 3. Efecto de la dosis de fertilización convencional y combinada con la coinoculación de los biofertilizantes *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en el peso seco total por plantas de chile habanero con y sin acolchado de suelo a los 60 días después del trasplante.

4.3 Tercer muestreo

En contraste con los primeros muestreos, en el tercer muestreo a los 90 DDT, no se detectó ninguna diferencia significativa respecto al acolchado en ninguna de las variables en estudio (Cuadro 9), mostrándose únicamente diferencia significativa en las diferentes dosis de fertilización (Cuadro 10). El peso seco total, peso seco del fruto, peso seco de flor y peso seco del tallo fueron las variables que no tuvieron respuesta significativa a la fertilización. En cuanto a la interacción entre los parámetros de acolchado y fertilización no se detectó diferencia significativa para ninguna de las variables con excepción de la altura de plantas (Cuadro 10).

Cuadro 9. Variables Analizadas en el cultivo de chile habanero bajo condiciones de casasmombra y acolchado de suelos, con diferentes dosis de fertilización convencional en combinación con biofertilizantes.

Variables analizadas a los 90 días después del trasplante									
Acolchado	Fertilización (%)	Altura de planta (cm)	Área foliar de planta (cm ²)	Peso fresco de tallo (g)	Peso seco de hoja (g)	Peso seco de tallo (g)	Peso seco de fruto (g)	Peso seco de flor (g)	Peso seco total (g)
Con	100	126.8	20992	1379	67.9	106.4	34.8	2.9	211.8
Con	50 (Gi+Ab)	145.5	31373	2066	109.6	153.4	35.4	3.1	301.5
Con	25 (Gi+Ab)	131.5	22706	1549	85.4	118.1	40.5	1.8	245.8
	Promedio	135	25023	1664	87.6	126	36.9	2.6	253
Sin	100	129.5	19246	1179	61.2	97.6	15.4	3.3	177.5
Sin	50 (Gi+Ab)	135.5	30223	1652	92.4	135.4	26.2	3.7	257.6
SIn	25 (Gi+Ab)	140	22436	1450	79.3	118.5	24.4	2.4	177.5
	Promedio	135	23968	1427	77.6	117.2	22	3.1	219.9

Gi= Glomus intraradices y Ab= Azospirillum brasilense

Cuadro 10. Niveles de significancia (*P*) de los factores acolchado, dosis de fertilización y la interacción detectados en las variables respuesta evaluadas en chile habanero a los 90 días después del trasplante.

Variables analizadas a los 90 días después del trasplante								
	Altura de la planta	Área foliar de la planta	Peso fresco de tallo	Peso seco de hoja	Peso seco de tallo	Peso seco de fruto	Peso seco de flor	Peso seco total
Acolchado	0.883	0.672	0.148	0.316	0.558	0.094	0.352	0.254
Fertilización	0.007	0.006	0.024	0.023	0.087	0.759	0.151	0.073
Acolchado*Fertilización	0.041	0.970	0.71	0.872	0.879	0.882	0.989	0.948

En las Figuras 4 y 5 se puede apreciar que los valores promedio de la altura de plantas y el área foliar, muestran diferencia significativa en cuanto al efecto de fertilización, siendo en ambos casos la dosis del 50% mas biofertilizantes co-inoculados, la que indujo una respuesta más favorable en las plantas. Para la variable altura de la planta, aquellas fertilizadas convencionalmente con 50% de la dosis comercial muestran 3.4% mayor porte, en comparación con aquellas que recibieron la dosis de 25% de fertilización y un 9.3% más alto frente a las de la dosis de 100%. Respecto al área foliar la dosis de 50% se mantiene un 36% más alto frente a la dosis de 25% y un 53% más alto que la dosis de fertilización del 100%.

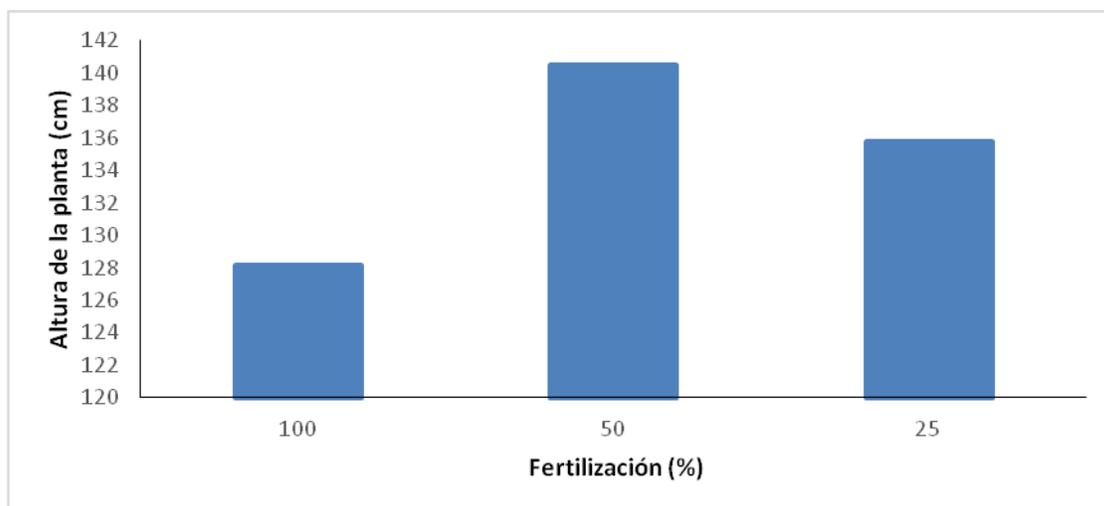


Figura 4. Efecto de la dosis de fertilización combinadas con la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en el promedio de la altura de planta de chile habanero a los 90 días después del trasplante.

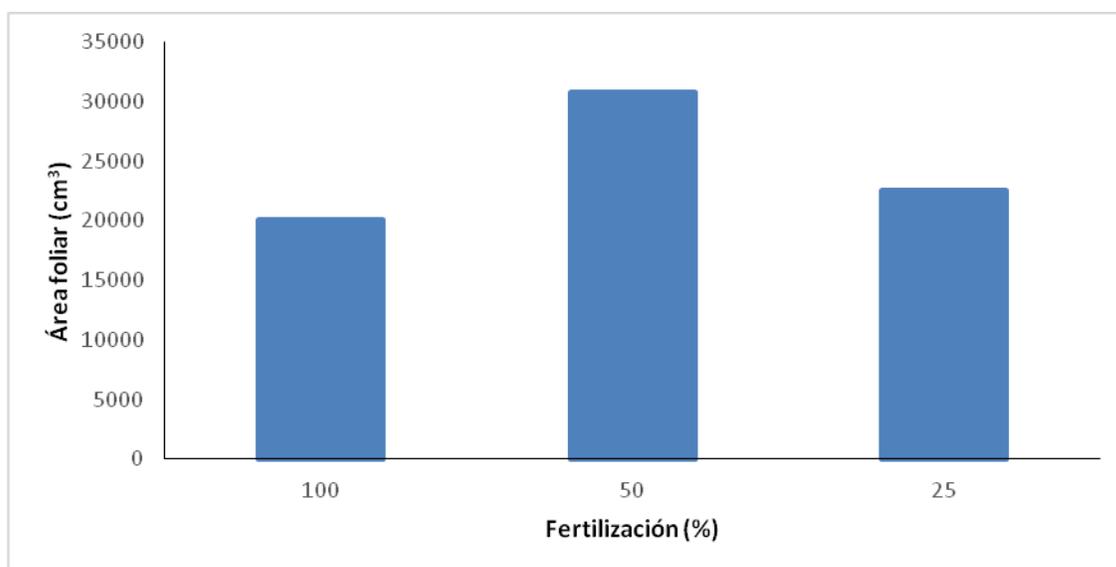


Figura 5. Efecto de la dosis de fertilización combinadas con la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en el promedio de el área foliar de la planta de chile habanero en condiciones de suelo con y sin acolchado a los 90 días después del trasplante.

4.4 Rendimiento

En los Cuadros 11 y 12 se muestran los resultados del rendimiento. Claramente se observa que no hubo diferencia significativa en cuanto a los tratamientos de acolchado y de fertilización, excepto en los cortes 1°, 2°, 5° y 8° los cuales reflejaron diferencia significativa bajo estos mismos parámetros. Se puede a su vez observar que en el 1°, 5° y 6° cortes las plantas del tratamiento sin acolchado mostraron un rendimiento ligeramente más alto que las plantas acolchadas; en contraste, el 2°, 3°, 4°, 7° y 8° cortes, mostraron rendimientos más altos en los tratamientos en los cuales se colocó acolchado (Cuadro 11). En cuanto al rendimiento total podemos observar que fue el tratamiento sin acolchado el cual obtuvo rendimientos más altos, pero esta diferencia no fue significativa, en comparación con el rendimiento de las plantas no acolchadas (Cuadro 11 y 12). El rendimiento total si presentó diferencia significativa en cuanto a la fertilización y la interacción de acolchado y fertilización, la cual se presenta en la Fig. 5, en la que se observa que la dosis de fertilización que mejores resultados mostró a lo largo del experimento, fue la de 25% y en el tratamiento sin acolchar. En cuanto a los tratamientos no se muestra diferencia significativa en las dosis de fertilización, con excepción de los cortes 5°, 6°, 8° y para el rendimiento total (Cuadro 12). Se observó que solo en el 5°, 7°, 8° cortes y para el rendimiento total se presenta significancia para la interacción entre acolchado y fertilización (Cuadro 12).

Cuadro 11. Rendimiento obtenido en el cultivo de chile habanero bajo condiciones de casa sombra, con diferentes dosis de fertilización e inoculados con *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*.

Acolchado	Fertilización	Cortes (gr /planta)								(gr/planta)
		1	2	3	4	5	6	7	8	Rendimiento total
Con	100	23	50	41.07	48.22	16.07	50	66.07	8.93	303.57
Con	50 (Gi+Ab)	21.43	35.72	35.72	58.93	19.64	60.72	39.29	25	300
Con	25 (Gi+Ab)	14.29	50	35.72	60.72	19.65	51.79	64.29	127.5	303.57
	Promedio	19.64b	44.64 a	39.29	57.14	19.64 b	53.57	57.14	12.5 a	303.57 a
Sin	100	23.22	41.07	25	41.07	25	39.29	26.79	159.47	230.36
Sin	50 (Gi+Ab)	32.14	26.79	17.86	53.57	53.57	67.86	82.14	12.5	362.5
Sin	25 (Gi+Ab)	28.57	30.36	39.29	71.43	64.29	53.57	80.36	8.93	376.79
	Promedio	28.57 a	32.14 b	33.93	55.36	48.22 a	53.57	62.5	8.93 b	323.22 a

Las letras respectivas para los promedios del acolchado indican diferencia significativa entre ambos tratamientos con y sin acolchado. *Gi= Glomus intraradices* y *Ab= Azospirillum brasilense*.

Cuadro 12. Niveles de significancia (*P*) de los factores acolchado, dosis de fertilización y la interacción detectados en las variables respuesta evaluadas en chile habanero a los 90 días después del trasplante.

	1	2	3	4	5	6	7	8	Rendimiento total
Acolchado	0.0291	0.035	0.1638	0.8376	0.001	0.8832	0.4938	0.0008	0.3424
Fertilización	0.3923	0.0794	0.4222	0.0708	0.001	0.0118	0.0868	0.001	0.0251
Acolchado*Fertilización	0.1791	0.7127	0.0938	0.5433	0.007	0.3293	0.0042	0.001	0.0184

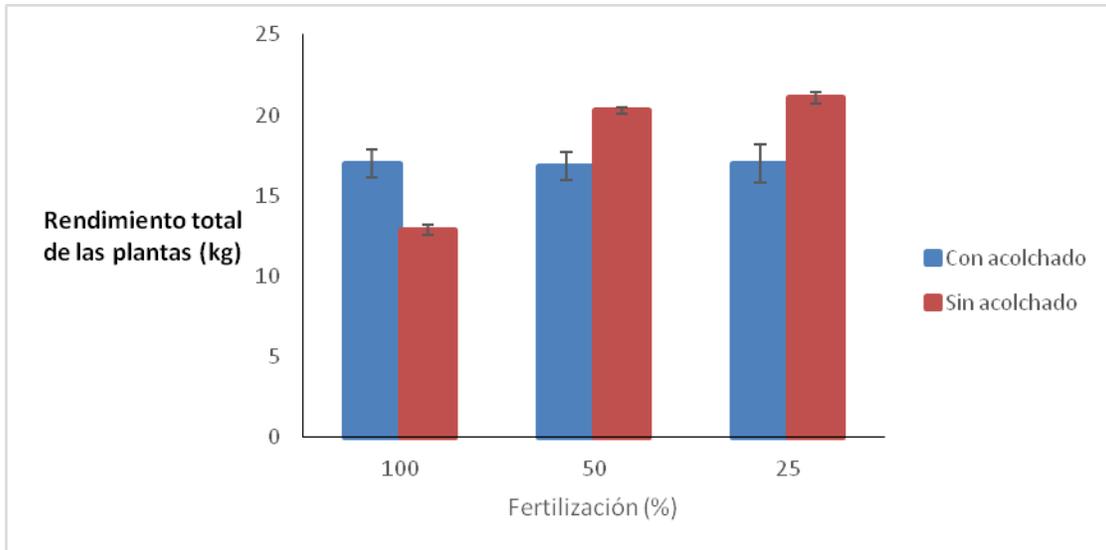


Figura 5. Efecto de la dosis de fertilización combinadas con la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en el rendimiento de planta de chile habanero bajo condiciones de acolchado y sin acolchado de suelo a los 90 después del trasplante.

V.-DISCUSIÓN

5.1 Efecto del acolchado

De acuerdo a los resultados obtenidos los primeros dos muestreos realizados en el cultivo de chile habanero, podemos mencionar que el acolchado mostró un efecto determinante bajo condiciones de casa sombra, ya que las variables evaluadas tuvieron un efecto estadísticamente significativo. Las plantas con un 50% de fertilización con acolchado, lograron ser las mejores en cuanto a peso seco total. Esto puede deberse a que el acolchado en casa sombra causó un aumento de la temperatura del suelo, que permitió la correcta inoculación y no interrumpió el ciclo de vida de los microorganismos empleados como biofertilizantes, lo cual le permitió trabajar en los tratamientos acolchados, pero que no funcionó con la misma eficacia en aquellos que no presentaban esta película plástica. Además el acolchado mostró un aspecto positivo, este es la precocidad de cosecha (Figura 5 y Cuadros 11 y 12) ya que los tratamientos acolchados fructificaron más rápido que los no acolchados. Similares resultados en el cultivo de chile jalapeño han sido reportados por Román-López *et al.* (2007), quienes encontraron que el ciclo de este cultivo se vio reducido en comparación con el tratamiento testigo sin acolchado plástico.

Laria (2003) menciona que las condiciones ambientales (clima, tipo de suelo, temperatura y humedad del mismo), influyen en los procesos interactivos que determinan la estructura de la comunidad microbiana, así como también en la asociación *Azospirillum sp*-planta, la fijación del nitrógeno y su contribución a la

nutrición vegetal. Muchas especies de *Azospirillum sp.*, requieren una temperatura óptima de crecimiento cercana a los 30 °C, excepto para *Azospirillum largimobile* que presenta una temperatura de 28 °C y *Azospirillum halopraeferens* 41° C. La modificación de la temperatura, tiene un efecto notable sobre un proceso. Si el valor utilizado no es adecuado puede disminuir o aún impedir la formación de un metabolito determinado. Además, la temperatura puede modificar los requerimientos nutritivos de algunos microorganismos, lo que significa que al modificarse el valor de un factor puede cambiar los requerimientos de otro.

Silva *et al.* (2010) afirma que un factor importante para asegurar el crecimiento y desarrollo de los hongos es la provisión de un medio ambiente adecuado para su crecimiento, tanto vegetativo como reproductivo. Los hongos son fácilmente afectados por las condiciones de crecimiento, por lo tanto, puede que los factores ambientales que afectan el cultivo incluyen la temperatura, humedad, pH, luminosidad, oxígeno y ventilación. Los hongos son organismos mesófilos (10 a 40 °C). Torres (2011) menciona en su estudio realizado, que las películas plásticas pueden incrementar 2° C a la temperatura del suelo en colores opacos y hasta 6° C en colores claros de películas plásticas. Esto significa que el efecto del acolchado sobre la temperatura del suelo, afecta la tasa de los procesos bioquímicos. La temperatura de la zona radicular influye en los procesos fisiológicos en las raíces como la absorción de agua y nutrientes minerales. (Cooper, 1973; Dodd *et al.*, 2000; Tindall *et al.*, 1990).

5.2 Efecto de la biofertilización

En cuestiones de la fertilización, en el tercer muestreo se detectó un efecto tanto para la fertilización como por el acolchado y la interacción entre ambos. En plantas sin acolchado no presentaron una diferencia notoria en cuanto a rendimiento y crecimiento vegetativo aún y teniendo dosis de fertilización de 100%, 50% y 25%. Por lo que al final el mejor resultado es correspondiente al de 25% sin acolchado, esto se puede explicar por los biofertilizantes utilizados ya que estos trabajan mejor en condiciones de deficiencia de nutrientes, por lo tanto *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* funcionaron mejor en las dosis inferiores al 100%. Coincidiendo con Barrer (2009), ya que desde el punto de vista nutricional, el crecimiento de la planta, debido al aumento en la absorción de P es el principal beneficio que obtiene del hongo micorrizico arbuscular, por la baja disponibilidad de este elemento, característico en los suelos tropicales. Sin embargo, si el P no es un elemento limitante en el suelo, la simbiosis puede llegar a ser reducida o hasta inhibida si se encuentran altos niveles en el suelo. Y en cuanto a las bacterias y su fijación biológica de N concuerda con la afirmación de Ibarra (2012). Quien en su estudio dice, que la mayoría de los organismos diazotrofos presentan la nitrogenasa dependiente de molibdeno, sin embargo se ha encontrado que en condiciones de baja disponibilidad de estos elementos (N y P) se induce la síntesis de la nitrogenasa alternativa dependiente de vanadio (Va) y hierro (Fe) como cofactor codificadas en los genes *vnf* y *anf*.

5.3 Influencia de la casa sombra

La casa sombra en este cultivo mostró un efecto positivo, ya que se le atribuyen los buenos resultados que presentaron los tratamientos sin acolchar en el experimento, ya que lograron igualar e incluso superar en cuanto a rendimiento total a los que no presentaban acolchado, esto se puede explicar si mencionamos que la casa sombra crea un ambiente que logra acercarse más al óptimo del cultivo, manteniendo una temperatura y humedad más altas, ideales para este cultivo, lo cual le restó importancia al acolchado, que intenta manipular estos efectos de igual manera, sin conseguirlos tan eficientemente como la casa sombra en este caso. Esto coincide con el experimento realizado en tomate por Ayala-Tafoya *et al.* (2011) en el cual demostraron que bajo la malla perla con 30% de sombra se presentaron tallos más grueso, menos largos, menor área foliar específica, uno de los mayores contenidos de clorofila foliar, el mayor rendimiento y la mejor calidad de tomate. Otro aspecto interesante es el presentado por Gutiérrez *et al.* (2002), quienes nos muestran que obtuvo en casa sombra, que la temperatura del suelo fue significativamente afectada por el régimen de sombra, lo que resultó en mayores temperaturas absolutas y mayores fluctuaciones diurnas en el suelo expuesto a 40% de intercepción de luz comparado con el de 80% de sombreado, lo que puede respaldar el hecho de que la temperatura del suelo en casa sombra se mantuviera óptima, sin necesidad de un acolchado bajo estas condiciones para chile habanero.

5.4 Rendimiento del cultivo

En muestreos iniciales el rendimiento resultó ser ligeramente mayor en los cultivos que presentaban acolchado, sin embargo no arrojó valores significativos. En las cosechas finales el rendimiento entre plantas acolchadas y no acolchadas fue en términos generales similar. Este efecto se podría explicar ya que en los cortes avanzados el dosel vegetal cubrió la película plástica con follaje, disminuyendo de esta manera el efecto de la cubierta, y aminorando el efecto de esta sobre la temperatura del suelo. Esto podríamos respaldarlo con lo mencionado por (Valenzuela y Gutiérrez, 2003) quienes afirman que en cuanto a la fertilidad del suelo, el aumento de la temperatura y humedad del suelo provocado por el uso de algunos tipos de acolchado favorece la mineralización, lo que lleva a una mayor disponibilidad de nitrógeno para las plantas. Por otro lado, el acolchado reduce la lixiviación y evita las pérdidas de este elemento. En el caso de este experimento, al no elevarse la temperatura no se pudo presentar en su totalidad el argumento anterior, ya que en las plantas no acolchadas que presentaban un menor crecimiento del follaje si le permitieron al suelo presentar la temperatura óptima para favorecer la fertilización tanto como la actividad de los biofertilizantes en la cama en la que se encontraban establecidas y con esto lograr igualar a las acolchadas que se esperaba que presentaran efectos como altura, rendimiento y peso seco total, superiores a las plantas no acolchadas.

La dosis de fertilización que obtuvo mejores resultados fue la dosis de 25% sin acolchado basándonos en resultados de rendimiento total en la cual este tratamiento presenta los valores más altos. Esto podemos compararlo con los

resultados obtenidos por Khosro y Yousef (2012) que soporta nuestros resultados mencionando que la solubilización de P por bacterias se lleva a cabo, solubilizando y fijando el P del suelo, y el fosfato aplicado resulta en mayores rendimientos, en el mismo experimento, el menciona que del 50% del requerimiento de N y de P pueden ser reemplazados por biofertilizantes y fertilizantes orgánicos, debido a que estos mejoran la eficiencia de la dosis recomendada de los fertilizantes fosfatados y nitrogenados y reducen el costo de los fertilizantes químicos, y también previene la contaminación del medio ambiente por el uso excesivo de fertilizantes químicos.

La solubilización de fósforo por bacterias en conjunto con únicamente el súper fosfato y la roca fosfórica reduce la dosis hasta por 25% y 50% respectivamente en cultivos en los cuales se aplicó biofertilizantes por (Sundara *et al.* 2002), en nuestro cultivo sucedió algo similar con la aplicación de los biofertilizantes, siendo los microorganismos capaces de compensar las dosis bajas de fertilización con la fijación y solubilización de nutrientes en el suelo. Otro estudio realizado en maíz nos demuestra que la diferencia de eficiencia de los biofertilizantes fue mayor cuando las dosis de P fueron más bajas, en general no se determinó interacción Inoculantes x dosis de P sobre los rendimientos en un trabajo realizado por Ferreris y Couretot (2006) la estimulación en la que los exudados sobre la elongación hifal es mayor en plantas deficientes en fósforo (P).

En el presente experimento se obtuvieron resultados positivos para las plantas de los tratamientos sin acolchado, en cuanto a rendimiento total, contrastando con el trabajo realizado por Tucuch (2013) en el cual los resultados para la producción de chile habanero en condiciones de campo abierto bajo

biofertilización con y sin acolchado, resultó en rendimiento total en el cual las plantas con acolchado tuvieron mejor rendimiento que las plantas sin acolchado.

VI. CONCLUSIONES

En los muestreos realizados, observamos que las variables evaluadas no se detectó efecto significativo al disminuir la dosis de fertilización química. Esto implica que los biofertilizantes aplicados permitieron compensar la disminución de la fertilización. Este hecho puede ser de importancia económica ya que permitiría un ahorro en fertilización química para los productores.

El tratamiento que presenta el 25% de fertilización y sin acolchado resultó el mejor ya que sus resultados en cuanto a rendimiento y variables de importancia como área foliar y peso seco total, no presentaron diferencia significativa. Lo anterior implica que bajo las condiciones sobre las cuales se realizó el presente estudio no se requiere de acolchado de suelos con películas plásticas para que los biofertilizantes ejerzan su efecto benéfico.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los microorganismos benéficos usados, tanto la bacteria *A. brasilense* como el hongo *G. intraradices*, pudieran ser una buena opción para ser empleados como biofertilizantes, ya que con su coinoculación se logró reducir la cantidad de fertilizante sintético sin afectar significativamente el rendimiento de chile habanero; además de que se logró mejorar la sustentabilidad del paquete tecnológico empleado para la producción de este hortaliza. Sin embargo, se requiere más investigación para afinar detalles relativos a la coinoculación de ambos microorganismos a las semillas, así como a sus aplicaciones posteriores en plántulas en desarrollo.

VII LITERATURA CITADA

- Acuña, O. (2003). El uso de biofertilizantes en la agricultura. Taller de abonos orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, 67-75 pp.
- Aguirre Medina, J. F. (2009). Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. Folleto técnico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 78 pp.
- Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, R. (2000). Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. Agr. Téc. Méx. 26: 191-203.
- Alejo, J. C., Meléndez, E. Z., Tun-Suárez, J. M., Moreno, L. L., y Sánchez, E. R. (2006). Control químico y epidemiología de la mancha foliar del chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) en Yucatán, México. Fitosanidad, 10: 217-220.
- Almanza, P., Serrano, P., y Castro, O. (2011). Respuesta Fisiológica del lulo (*Solanun quitoense Lam.*) a la fertilización orgánica en Tinjacá, Boyacá. Cultura Científica 6: 82-86.
- Andrews, J. (1995). Peppers. The domesticated Capsicums. 2nd ed. University of Texas Press, Austin, TX. 274 pp.
- Ayala-Tafoya, F., Zatarain-López, D. M., Valenzuela-López, M., Partida-Ruvalcaba, L., Velázquez-Alcaraz, T. J., Díaz-Valdés, T. y Osuna-Sánchez, J. A. (2011). Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra. Terra Latinoamericana, Octubre-Diciembre, 403-410 pp.
- Barrer, S. E. (2009). El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. RevBio Agro.7: 123-133.
- Bonilla, L. (1992). Cultivo de tomate de masa. Fundación del desarrollo agropecuario Inc. Serie Cultivos. Boletín Técnico N° 16. Santo Domingo Republica Dominicana. 28 pp.
- Borge, M. (2012). Agricultura orgánica: solución de sostenibilidad. CEGESTI. Núm. 196.
- Bressan, W., Siqueira, J. O., Vasconcellos, C. A. and Purcino. A. A. (2001). Mycorrhizal fungi and phosphorus on growth, yield and nutrition of intercropped grain sorghum and soybean. Pesquisa Agrop. Brasileira. 36: 315-323
- Caballero-Mellado, J. (2000). El género *Azospirillum*: Universidad Nacional Autónoma de México. *Programa de Ecología Molecular y Microbiana, Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno, UNAM, Ap. P. 565-589.*
- Canto-Martín, J.C., Medina-Peralta, S., y Avelino, D. M. (2004). Efecto de la inoculación con *Azospirillum sp.* En plantas de chile habanero (*Capsicum chinense Jacquin*). Rev. Mex. Cienc. Agríc. 3:21-27
- Carballo-Bautista, M., Centurión-Yah, A., Tamayo-Canul, E., Sauri-Duch, E., y Lugo-Jiménez, N. (2010). Efecto del sistema de cultivo sobre la calidad microbiológica del chile habanero (*capsicum chinense jacq.*)

- después de su cosecha. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 11:171-179.
- CENAMAR.1985. Memorias. El uso de plásticos en agricultura. Gómez Palacio Dgo.
- Cepeda Guzmán, A. (2010). Respuestas fisiológicas y producción del tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L. C.V *Camelia*) producido orgánicamente en condiciones de casa sombra. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 1-67 pp.
- Chung. P. (2005). Hongos micorrícicos comestibles. Opción productiva aplicada a las plantaciones forestales. Aspectos generales. INFOR. 55 pp.
- Contreras, A., Acevedo, P., Pastor, L., y Eyzaguirre, C. (1992). Variaciones térmicas de suelo cubierto por acolchado (mulch) de polietileno. *Agricultura Técnica (Chile)*. 52: 456-461
- Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (2012). Monografía del chile. Gobierno de Veracruz. 31 pp.
- Cooper A.J. (1973). Root temperatura and plant growyh-A review. Commonwealth agriculture bureau, Slough, England.
- Cuéllar Valdés, Pablo M., Geografía del estado de Coahuila. Saltillo, Coahuila, biblioteca de la Universidad Autónoma de Coahuila, v.7 1981.
- De La Cruz-Lázaro, E., Estrada-Botello, M. A., Robledo-Torres, V., Osorio-Osorio, R., Márquez-Hernández, C., y Sánchez-Hernández, R. (2009). Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia*. 25: 59-67
- Dodd I. C. J. He, Turnbull, C. G. N., Lee, S. K. and Critchely, C. (2000). The influence of supraoptimal root-zone temperatures on growth and stomatal conductance in *Capsim annum* L. *Journal Exp. Boot*. 51: 239-248
- Durón, J. A., González, A. L., y Reséndez, A. M. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 15: 763-774 pp.
- Edwards C. A, Burrows I., Fletcher K. E. and Jones B. A. (1984). The use of earthworms for composting farm wasted. En: Gasser JKR (ed). *Composting of agricultural and other wastes*. Els. App. Sci. Publ. London. 241 pp.
- Espinosa-Victoria, D., González-Mendoza D., Placencia-de la Parra J. y García-Espinosa, R. (2004). Reducción de la incidencia de *Phytophthora capsici* Leo en el sistema radical de plántulas de chile pre-micorrizadas con *Glomus intraradices*. *Terra Latinoamericana*. 22: 317-326
- FAO. (2003 a). Memoria del taller agricultura orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza. Ed. Multiprint. 1° edición. 1-111 pp.
- FAO. (2003 b). Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria. Capítulo 10 Conceptos y temas generales de la agricultura orgánica. Colección FAO: Ambientes y recursos naturales. Editado por Nadia El-Hage Scialabba y Caroline Hattam. 280 pp.

- FAO. (2012). ¿Es la certificación algo para mí?. ¿Qué es la agricultura orgánica?. Depósitos de documentos de la FAO. 1-32 pp.
- FAO. (2013). Descubrir el potencial del agua para la agricultura. Capítulo 5 Alivio del impacto ambiental causado por el desarrollo de los recursos hídricos para la agricultura. Depósito de documentos de la FAO. 1.
- FAO-SAGARPA. (2007). Producción de hortalizas a cielo abierto y bajo condiciones protegidas. México. 33 pp.
- Fernández, M. T. y Rodríguez, H. (2005). El papel de la solubilización de fósforo en los biofertilizantes microbianos. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XXXIX, Septiembre-Diciembre, 27-34 pp.
- Ferreris, G. N. y Couretot, L. A. (2006). Inoculación con promotores de crecimiento y uso de diferentes dosis de fertilizante fosforado en maíz en ambientes con baja disponibilidad de fósforo en el suelo. Área de Desarrollo Rural INTA, EA. Pergamino, Buenos Aires.
- Foley, J. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*. 478: 337–342
- Fundación Produce Sinaloa A. C. (2012). Paquete para producir papaya orgánica en casa sombra. *Centro de Validación y Transferencia de Tecnología de Sinaloa, A.C., (CVTTS)*. 1 pp.
- Funes, F., García L. y Bourque, M. (2001). El movimiento cubano de agricultura orgánica. 15-38 pp.
- García-Olivares, J. G., Moreno-Medina V. R., Rodríguez-Luna I. C., Mendoza-Herrera A. y Mayek-Pérez N. (2007). Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz”, *Rev. Fitotec. México*. 30: 3.
- Godfray, H. C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*. 327: 812–818
- González, Ch., Gutiérrez M. y Wright, S. (2004). Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad, *Terra Latinoamericana*. 22: 507-514
- Gómez Cruz, M., Schwentesius Rindermann, R., Ortigoza Rufino, J. y Gómez Tovar, L. (2010). Situación y desafíos del sector orgánico de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Octubre-Diciembre. 593-608 pp.
- Guantes Ruiz, J. (2006), El Mercado de los Invernaderos en México. T. P Agro. Agro-eco eficiencia. Folletos técnicos de seminarios.
- Gutiérrez, M. V., Jiménez, K., Soto, D., Alpízar, M., y Chinchilla, C. (2002). El microclima en una casa de sombra: Palmas y Zamia como indicadores de aclimatación a la luz. *Rev. Agr. Trop.* 32: 47-60
- Ibarra-Sánchez, C.L. (2012). Diversidad de bacterias fijadoras de nitrógeno aisladas de suelo de chinampa y su efecto en plantas de interés agrícola (doctoral dissertation). Instituto Politécnico Nacional. 1-85 pp.
- INIFAT (2012). Enfocando una agricultura orgánica sostenible frente al desafío de la mega-urbanización en América Latina y el Caribe. 22 pp.
- INIFAP. (2012). Sabor de México con el chile habanero de Yucatán. Folleto informaivo. 8 pp.

- Khalil, S., Loynachan, T. E. and Tabatabai, M. A. (1994). Mycorrhizal dependency and nutrient-uptake by improved and unimproved corn and soybean cultivars. *Agron. Journal*. 86: 949-958.
- Khosro M. and Yousef S. (2012). Bacterial biofertilizers for sustainable crop production: a review. *Arpn Journal of Agricultural and Biological Science*. Vol. 7: 11
- Laborde, C. y Pozo, Q. (1982). Presente y pasado del chile en México. SARH-INIA. México, D.F. 79 pp.
- Laria, G. (2003). Fijador de Nitrógeno. *Azospirillum sp.* San Salvador. 31: 19-26
- López, P. J., Montoya, R. B., Brindis, R. C., Sánchez-Monteón, M. A. L., Cruz-Crespo, E. y Morales, R. B. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente Año*. 3: 8
- Márquez Rojas, J. L., Figueroa Viramontes, U., Cueto Wong, J.A. y Palomo Gil, A. (2006). Eficiencia de recuperación de nitrógeno de estiércol bovino y fertilizante en una rotación sorgo - trigo para forraje *Agrofaz*, 6: 145-152.
- Morales Maza, A. y Payán Ochoa, S. (2010). Agricultura protegida. Mallas Plásticas. Folleto técnico INIFAP. 1-3 pp.
- Monroy, M. (2008). Productos orgánicos. *Rev. Consumidor, México*. 58-63 pp.
- Naj A. (1992). Peppers. A story of hot pursuits. Alfred A. Knopf, New York. 245 pp.
- Nieto-Garibay, A., Murillo, B., Troyo-Diéguez, E., Larrinaga, J. y García-Hernández, J.L. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum L.*) en zonas áridas. *Interciencia*. 27: 417-421
- Osonubi, O. (1994). Comparative effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization on growth and phosphorus uptake of maize and sorghum plants under drought-stressed conditions. *Biol. Fertil. Soils*. 18: 55-59.
- Pretty, J.N. (1999). Regenerating Agriculture: Policies and practices for sustainability and self-reliance. Earthscan Pub. Ltd., London.
- Rivera, M. R. D. (2007). La tecnología de invernadero en el Valle del Yaqui: Una Alternativa para el Desarrollo Regional. 1-19 pp.
- Rodríguez D. N., Cano R. P., Figueroa V. U., Palomo G. A., Favela Che., Álvarez R.V.P., Márquez H. C. y Moreno R. A. (2008). Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Méx.* Vol. 31, núm. 3. 265-272 pp.
- Román-López A., E.A. Catalán-Valencia. I. Sánchez-Cohen. M.M. Villa-Castorena. M.A. Inzunza-Ibarra. S.F. Mendoza-Moreno. (2007). Productividad del chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30: 429-436.
- Romero L., María del R., Trinidad S. A., García E. R. y Ferrara C. R. (2000). Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia*. 34: 261-269

- Rózycki, H., Dahm, E. H., Strzelczyk and Li, C.Y. (1999). Diazotrophic bacteria in root-free soil and in the root zone of pine (*Pinus sylvestris* L.) and oak (*Quercus robur* L.). *Appl. Soil Ecol.* 12: 239 – 250
- Ruiz-Lau, N., Lara, F. M., y Estévez, M. M. (2011). El chile habanero: su origen y usos. *Rev. Ciencia.* Julio-Septiembre. 70-77 pp.
- SAGARPA- ASERCA. (2008). Proyecciones de largo plazo del sector agropecuario internacional. Departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA).
- SAGARPA. (2009). Programa de Ejecución Directa de Agricultura Protegida. Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación. 1 pp.
- SAGARPA. (2012). Agricultura protegida 2012. Importancia de la agricultura protegida. Folleto técnico y programa de apoyos. 1 pp.
- Salas, E. y Ramírez, C. (2001). Bioensayo microbiano para estimar los nutrientes disponibles en los abonos orgánicos: calibración en el campo. *Agronomía Costarricense.* Julio-Diciembre. 11-23 pp.
- Salazar Sosa, E., Fortis Hernández, M., Vázquez Alarcón, A. y Vázquez Vázquez, E. (2003) Agricultura orgánica. México, Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, COCYTED. 271 pp.
- Sánchez de la Cruz, R., Díaz-Franco, A., Pecina-Quintero, V., Garza-Cano, I., y Loera-Gallardo, J. (2008). *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en trigo bajo dos regímenes de humedad en el suelo. *Universidad y Ciencia.* 24: 239-245.
- Santoyo Juárez J.A., Martínez Alvarado O.A. (2011). Tecnología de producción en casa sombra en el sur de Sinaloa. *Revista Fundación Produce.* 13 pp.
- Satalkar, B. (s.f.). Pros and Cons of Organic Farming. Traducción Propia. Retrieved from <http://www.buzzle.com/articles/prosand-cons-of-organic-farming.html>
- Schippers, B., Bakker, A.W. and Bakker, A. H. M. (1987). Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Ann. Rev. Phytopathol.* 25: 339-358
- SEMARNAT. (2013). Impacto ambiental y tipos. Dirección general de impacto y riesgo ambiental. 1 pp.
- Seufert, V., Ramankutty, N., and Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature.* 485: 229-232
- Silva, R., Fritz, C., Cubillos, J., y Díaz, M. (2010). Manual para la producción de hongos comestibles (*shiitake*). Gobierno de Chile, Santiago. 1-38 pp.
- Singh, M. y Tilak, K. (1992). Inoculation of sorghum (*Sorghum bicolor*) with *Glomus versiforme* under field conditions. *Trop. Agr.* 69: 323-326
- Sundara B., Natarajan V. and Hari K. 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane yields. *Field Crops Res.* 77: 43-49.
- Sylvia, D.M., Hammond, L. C., Bennett, J. M., Hass J. H. and Linda S.B. (1993). Field response of maize to VAM fungus and water management, *Agronomy journal.* 25: 193-198

- Teasdale J, (2003). Principles and practices of using cover crops in weed management systems.. ED. *FAO Plant Production and Protection Paper*. 169-178 pp.
- Tindall J. A., Mills H. A. and Radcliffe, D. E. (1990). The effect of root zone temperature on nutrient uptake of tomato. *Journal Plant Nutr.* 13: 939-956
- Tisserant, E., Kohler, A., Dozolme - Seddas, P., Balestrini, R., Benabdellah, K., Colard, A. and Martin, F. (2012). The transcriptome of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* (DAOM 197198) reveals functional tradeoffs in an obligate symbiont. *New Phytologist.* 193: 755-769
- Tortora, G. J., Funke, B. R., y Case, C. L. (2007). Introducción a la Microbiología. Ed. Médica Panamericana. 1-881 pp.
- Torres Olivar, V. (2011). Pepino (*Cucumis sativus L.*) sobre acolchado plástico de colores, en condiciones de campo abierto en comparación con casa sombra. Tesis de maestría en agroplasticultura. CIQA. 110 pp.
- Tucuch Pérez, M. A. (2013). Respuesta del chile habanero (*Capsicum chinense cv. Orange*) a la biofertilización y acolchado plástico en condiciones de campo abierto. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 81 pp.
- Tun Dzul, J. C. (2001). Chile habanero características y tecnología de producción. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Yucatán, México.
- Valenzuela, P. A., y Gutiérrez, H. C. (2003). Acolchado de suelo mediante filmes de polietileno. Documento preliminar a la publicación en la Revista el Agroeconómico de la fundación Chile al número correspondiente a Mayo de 1999. 1-8 pp.
- Walsh B. D., Salmis S., Buszard D. J. and MacKenzie A. F. (1996). Impact of soil management systems on organic dwarf apple orchards and soil aggregate stability, bulk density, temperature and water content. *Can. Journal Soil Sci.* 203-209 pp.
- Willer, H. and Yussefi, M. (2001). Organic Agriculture Worldwide. Statistics and Future Prospect. Stiftung Ökologie & Landbau (SÖL). 134 pp.
- Zribi, W., Faci, J. M. y Aragüés, R.. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *ITEA.* 107: 148-162.

