

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Producción de Brócoli en Tres Ambientes para Biofumigación de Suelos

Por:

EMMANUEL EDUARDO GOMEZ SANTIAGO

TESIS

Presentada como requisito parcial para poder obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Producción de Brócoli en Tres Ambientes para Biofumigación de Suelos

Por:

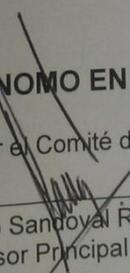
EMMANUEL EDUARDO GOMEZ SANTIAGO

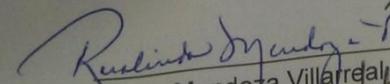
TESIS

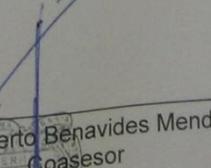
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

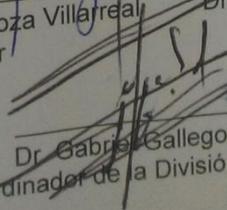
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor Principal


Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Coasesor


Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía
División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México.

20657

DEDICATORIA

Expreso mi más sincera voluntad de dirigir este apartado, dedicando mi trabajo a la persona que me vio nacer y que en todo momento me apoyo y fue una amiga incondicional para mis logros, siempre creyó en mí, en cualquier circunstancia, renuncio a su comodidad por asegurar la mía, y a pesar de todo aun sigue preocupándose por mí, por lo que hago y a donde voy, por eso prefiero ser egoísta en esta dedicatoria y ofrecérsela a ella, mi madre Alicia Santiago Olvera.

Y que este es un granito más de los frutos que ella sembró, solo pido a dios que nos dé más días de vida para poder disfrutarla y más alegrías como esta, para poder demostrarle que nunca se equivocó ser mi ejemplo de vida.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento, a aquellas personas que hicieron posible este trabajo, primeramente a Dios que me da la vida la salud, y sé que en cada paso que doy siempre ha tenido planes especiales para mí. A mi madre, Alicia Santiago Olvera que tomo el doble papel de padre y madre, que si no fuera por su esfuerzo dedicación y amor no hubiera logrado alcanzar esta meta. A mis hermanos, que siempre hemos convivido juntos y aun en la distancia sé que mi gran responsabilidad es estar unidos. A mi Alma Mater y los que la conforman, los cuales me enseñaron a moldear y desarrollar la habilidades necesarias para enfrentar los retos que hoy se me presentan, no puedo omitir a mis profesores que se volvieron padres aconsejando y aportando su conocimiento y experiencia, en especial al Doctor Alberto Sandoval, que me guió y oriento, en esta meta tan importante. A mis amigos que se volvieron hermanos, y que donde quiera que anden algún día nos volveremos a ver.

Y en lo personal a todas a aquellas personas que creyeron en mí que confiaron en mis ideas, en mi capacidad, se que cada día los llevo en mi recuerdos y que son herramienta para lograr mis propósitos

Por esto y por muchas cosas más, les agradezco y que dios los bendiga donde quiera que estén.

INDICE GENERAL

	Pág
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo.....	4
Hipótesis.....	4
MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
CONCLUSIONES.....	15
LITERATURA CITADA	16
APÉNDICES.....	19

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág
Cuadro 1. Media y desviación estándar de la calidad de la inflorescencia del brócoli producido en tres ambientes.	10
Cuadro 2. Media y desviación estándar del peso fresco de la planta de brócoli en tres ambientes.	11
Cuadro 3. Media y desviación estándar de la producción de biomasa en hojas de brócoli en tres ambientes.	13

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Calidad de la inflorescencia del Brócoli producida bajo tres ambientes en el sureste de Coahuila.	8
Figura 2. Comportamiento del peso promedio de la inflorescencia del brócoli, durante el periodo de cosecha.	10

RESUMEN

El uso de crucíferas se plantea como una estrategia para el control de patógenos en el suelo, conocido como Biofumigación y el cultivo de brócoli representa una alternativa viable para este propósito. El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la calidad de la inflorescencia y la producción de biomasa del brócoli cultivado bajo cubierta con el enfoque de Biofumigación de suelos. Se evaluaron tres ambientes: Campo abierto, cubierta de malla y cubierta de polietileno. Se utilizó brócoli, Avenger F1[®]. Se evaluó la calidad de la inflorescencia y la cantidad de biomasa para incorporar al suelo. Los resultados muestran que la mejor calidad de inflorescencia se obtuvo en la cubierta de malla. La cantidad de biomasa fresca incorporada al suelo para Biofumigación fue de 54.95 ton de las cuales el 72.25% fueron hojas y el resto tallos.

Palabras Clave: Biocontrol, *Fusarium*, Agricultura protegida.

Correo Electronico; Emmanuel Eduardo Gómez Santiago,
eeqs.agricultura@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Biofumigación se suelos se ha definido como la acción de las sustancias volátiles, producidas en la biodescomposición de la materia orgánica en el control de los patógenos de las plantas presentes en el suelo (Bello *et al.* 2000, Gómez *et al.* 2010). Los residuos considerados como desperdicios sin ningún valor y que son catalogados como fuente de contaminación pueden utilizarse como materiales biofumigantes y aportar mejoras a la fertilidad del suelo. Bajo esta perspectiva los desechos adquieren valor como un subproducto del sistema (Piedra –Buena, 2004; Figueredo *et al.*, 2011).

La biofumigación representa una técnica promisorio, que puede ser desarrollada e implementada en los programas de manejo integrado de enfermedades y plagas, contribuyendo a reducir el uso de fumigantes, fungicidas y plaguicidas sintéticos, minimizando el impacto ambiental (Gimsing & Kirkegaard, 2009).

Las crucíferas se encuentran entre las especies de estudio, por que los residuos de la cosecha, en particular las hojas contienen glucosinolatos que al entrar en contacto con la enzima mirosinasa, se hidrolizan y como resultado se generan: Nitritos, iones sulfato, oxazolidinotinas, tiocianatos e isotiocianatos entre otros (Suzuki *et al.*, 2006, Wade *et al.*, 2007). De los

anteriores compuestos los isotiocianatos y tiocianatos tienen mayor acción fumigante contra *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Verticillium* y nemátodos. El mecanismo biocida no está plenamente definido, pero parece estar relacionado a la interacción de los radicales sulfidrilos y puentes disulfuro de los tiocianatos con los grupos amino de las proteínas de los hongos (Manici *et al*, 1997, Tizano y Troncoso, 2006).

Esta tecnología se ha considerado como una alternativa no química al bromuro de metilo (BM) en países como China, Jordania, Marruecos, México, Guatemala y Uruguay. Adicionalmente se incluyó en los proyectos de alternativas al BM dentro del Protocolo de Montreal (Bello *et al*. 2001). También representa una alternativa al uso de matam sodio o metam potasio que son los productos más usados en la fumigación de suelos agrícolas en México (Sandoval, 2014).

Adicionalmente, una vez agotados los glucosinolatos, termina la síntesis de tiocianatos y por consecuencia la actividad fumigante. La materia orgánica residual sirve como alimento a los microorganismos saprofitos, que al incrementar sus poblaciones ocupan el espacio del suelo, lo que representa una competencia por espacio a los organismos fitopatógenos que hayan sobrevivido a la acción biofumigante de los tiocianatos. Las poblaciones de la microflora saprofita se puede incrementar al aplicar de manera exógena *Trichoderma harzianum*, *Gliocadium virens*, que son

organismos que además de representar competencia espacial, tienen mecanismos de antibiosis contra hongos fitopatógenos (Gimsing & Kirkegaard, 2009).

Por otra parte, la agricultura protegida ocupa una superficie de 21,000 hectáreas, que son utilizadas para producir Tomate (70%), chile (16%), pepino (7%) y otros (4%), (SAGARPA, 2012), generalmente como monocultivos. Un 90% de la agricultura protegida utiliza el suelo como medio de cultivo y en este sistema *Fusarium sp* y nematodos representan los principales problemas fitosanitarios. La estrategia para contrarrestar estos problemas son por lo general el uso de fumigantes sintéticos, como bromuro de metilo, y metam sodio o potasio y en algunos casos apoyados con solarización y acolchado de suelos. Tanto el bromuro como el metam son biocidas y está ampliamente documentado su impacto sobre la biología del suelo y la degradación de los mismos, otra característica del uso de estos fumigantes es que las dosis generalmente van en aumento y también de manera colateral aumentan el uso de fungicidas para contrarrestar reinfestaciones de los suelos cuando el cultivo está establecido (Sandoval, 2014).

Se eligió el cultivo de brócoli, porque dentro de las crucíferas, presenta más posibilidades para comercializar grandes cantidades, dado que en México y en particular en el centro del país se encuentran empacadoras con

mercado nacional e internacional como Mar Bran, Gigante Verde Birds eyes. En los últimos 30 años la superficie sembrada se incrementó a un ritmo de 13.8%. Actualmente en la república mexicana se siembra una superficie de 28,919 hectáreas de brócoli (SIAP, 2013).

Por lo anterior el presente trabajo se realizó con el siguiente

Objetivo

Evaluar la calidad de la inflorescencia y la cantidad de biomasa incorporada como residuo de cosecha del brócoli producido bajo cubierta de malla y polietileno.

Hipótesis

El cultivo de brócoli producido bajo cubiertas de malla y polietileno, tendrá mejor calidad de inflorescencia y producirá una mayor cantidad de biomasa que incorporado al suelo permitirá el biocontrol de enfermedades del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Experimento

El trabajo se realizó durante el periodo de octubre 2012 a abril 2013, en la parcela 17, ejido el Pilar antes la Gloria Municipio de General Cepeda, Coahuila, México. A 25° 22' 30.47" latitud Norte y 101° 28' 26.39" longitud oeste, a una altitud de 1474 msnm. (Goggle Earth, 2014).

Descripción del Área de Estudio

Se utilizaron dos estructuras semicirculares de 9.0 X 27.0, una con cubierta de malla antiáfidos blanca y la otra con cubierta de polietileno transparente.

Material Vegetal

Se utilizaron plantas de brócoli (*Brassica oleracea* ver. Botritys) F1 Avenger®.

Tratamientos y Diseño Experimental

Se evaluaron tres ambientes:

- 1).- Campo abierto.
- 2).- Cubierta con Mallas antiáfidos
- 3).- Cubierta con polietileno transparente.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones, cada repetición o bloque consistió en un surco de 25 m de largo y 1.20

entre surcos, plantados a doble hilera a 0.30 m entre plantas y 0.25 m entre hileras.

Actividades para el Establecimiento del Experimento

Producción de Planta

La planta se adquirió en la empresa Mar Bran en Villagran, Gto.

Preparación de Terreno y Trasplante

El cultivo se produjo en suelo desnudo. Se plantó el día 20 de noviembre del 2012, a doble hilera a una distancia de 30 cm entre plantas y 25 cm entre hileras, en surcos de 25 m de largo y 1.25 entre surcos.

Para el riego y fertilización se utilizó la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984).

Variables Evaluadas

Calidad de la Inflorescencia. Se seleccionaron 5 inflorescencias en cada corte y se midió el diámetro y se peso.

Uniformidad de la flor o “grano”. Se revisaron las inflorescencias para detectar flores abiertas o con desarrollo diferente.

Producción de Biomasa Fresca Aérea. Al momento de la cosecha, se tomaron 5 plantas de cada repetición al azar, y se separo la inflorescencia, las hojas y el tallo y se pesaron por separado.

Análisis de datos

Los datos se analizaron en el modelo de bloques completos al azar, con número de repeticiones de acuerdo a la variable de estudio (Zar, 1996).

Los datos fueron analizados usando el paquete estadístico Statistica (versión 7.0). Se realizó prueba de medias Tukey a las variables estadísticamente diferentes.

RESULTADOS Y DISCUSION

Calidad y Productividad del Brócoli

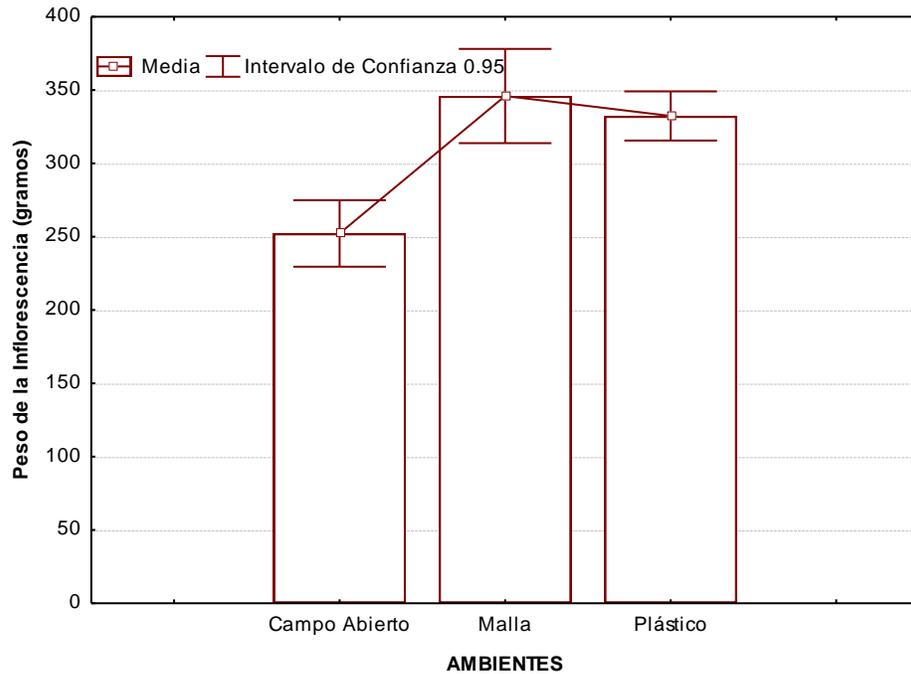


Figura 1. Calidad de la inflorescencia del Brócoli producida bajo tres ambientes en el sureste de Coahuila.

La productividad y la calidad del brócoli fueron afectadas por el ambiente (Cuadro 1, Figura 1). Se observó que en las cubiertas se obtuvieron las inflorescencias con mayor calidad, medidas como peso promedio y diámetro. A sí mismo, el rendimiento también fue mayor en las cubiertas, el rendimiento se obtuvo multiplicando el peso promedio de la inflorescencia por 54,600 plantas, que corresponde a la densidad de población en una hectárea, y de acuerdo al marco de plantación utilizando en este estudio. En las cubiertas se produjo un 34.36% más que en campo abierto, y no hubo diferencia estadística ($P \geq 0.05$) entre las cubiertas.

El tamaño, el peso y la compactación de las inflorescencias, además de la uniformidad y tamaño del botón floral denominado comúnmente grano, son las principales características de calidad del brócoli (SPFI, 1983., México Calidad Suprema, 2005).

En las cubiertas, además de obtener mayor tamaño y peso, las inflorescencias tuvieron un color verde más brillante, en comparación a las de campo abierto de un color verde opaco. Sin embargo, en la cubierta de polietileno, aun y cuando las inflorescencias fueron de mayor diámetro no tuvieron mayor peso, además visualmente se vieron menos compactas y con el botón floral más abierto, estas dos últimas características reducen la calidad. Este efecto pudo estar relacionado a la mayor temperatura registrada en la cubierta de polietileno, dado que la temperatura alta, estimula la apertura de las flores de brócoli, lo cual aumenta el diámetro de las inflorescencias y disminuye la compactación (Lazcano *et al*, 2006).

Cuadro 1. Media y desviación estándar de la calidad de la inflorescencia del brócoli producido en tres ambientes.

AMBIENTES	INFLORESCENCIA DEL BROCOLI
------------------	-----------------------------------

	PESO PROMEDIO	DIÁMETRO	RENDIMIENTO*(Ton/ha)
Campo Abierto	252.23±18.24 b	9.80±0.54 b	13.78
Cubierta de Malla	345.95±25.00 a	10.50±0.94 ab	18.86
Cubierta de Poliétileno	332.30±13.50 a	12.06±0.80 a	18.17
P≥0.05	32.44.001	10.82-0.002	

*Extrapolación utilizando una densidad de población 54,660 plantas por ha.

Se realizaron cinco cortes en campo abierto y en la cubierta de polietileno y seis en la cubierta de malla. Se observó que en las cubiertas, la calidad se mantuvo durante los cortes, mientras que en campo abierto la calidad disminuyó conforme se avanzó en la cosecha. (Figura 2).

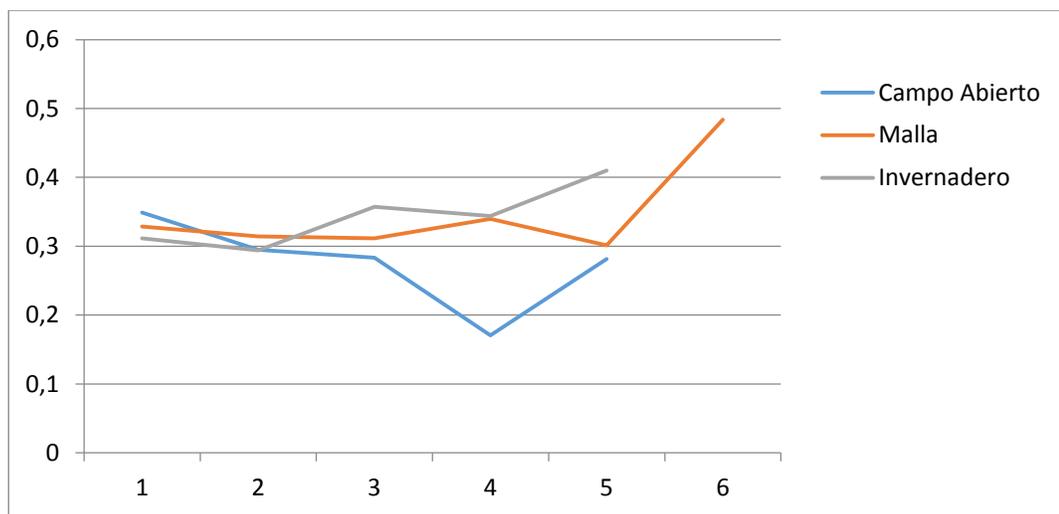


Figura 2. Comportamiento del peso promedio de la inflorescencia del brócoli, durante el periodo de cosecha.

Producción de Biomasa Total

La biomasa de la parte aérea del Brócoli medida como peso fresco, también fue diferente. Las plantas con mayor peso fresco fueron aquellas

que se produjeron bajo cubierta (Cuadro 1). La planta de Brócoli Avenger F1 sin raíz, pesa en promedio 1.23 kg del cual 23% corresponde a la inflorescencia 21% al tallo y 55% a las hojas. Las hojas y los tallos del Brócoli son un residuo o esquilmo de la cosecha y representan un 76% de la planta. Estos residuos si son incorporados al suelo, durante su proceso de descomposición producen isotiocianatos estos compuestos actúan como fumigantes aparentemente no selectivos, por lo tanto disminuyen la masa microbiología del suelo.

Cuadro 2. Media y desviación estándar del peso fresco de la planta de brócoli en tres ambientes.

AMBIENTES	PESO FRESCO (kg)			
	TOTAL	INFLORESCENCIA	HOJAS	TALLOS
Campo Abierto	1.17±0.06	0.252±0.018 b	0.70±0.07	0.218
Casa Sombra	1.40±0.10	0.345±0.025 a	0.72±0.08	0.325
Invernadero	1.42±0.20	0.332±0.013 a	0.78±0.11	0.308
P≥0.05		32.44-0.00*		

Es recomendable que la incorporación de dichos residuos sea con arado de discos para lograr una incorporación de los residuos más profunda, de tal manera que el efecto fumigante sea en un mayor perfil de suelo, además se reduce la pérdida de isotiocianatos en forma de gas.

Producción de Biomasa en Hojas

El número y peso de las hojas no fue afectado por las cubiertas, pero si el tamaño de ellas. En general bajo cubierta se tuvieron hojas de mayor tamaño pero no de mayor peso comparadas con el testigo, por lo cual aparentemente bajo cubierta se obtiene mayor biomasa. También se observó que las hojas de las plantas producidas en campo abierto fueron más gruesas y menos flexibles.

Este comportamiento del desarrollo de las plantas puede ser resultado de la modificación de las condiciones ambientales que ocurren al interior de las cubiertas, dado que se reduce la radiación, se aumenta la humedad relativa, se regula la temperatura, que sumado a la eliminación del viento, estas condiciones favorecen la expansión de las hojas en los cultivos, más no precisamente la producción de biomasa (Peil y Gálvez, 2005, Francescangeli, *et al*, 2007).

Cuadro 3. Media y desviación estándar de la producción de biomasa en hojas de brócoli en tres ambientes.

AMBIENTES	HOJAS
------------------	--------------

	Numero	Peso (kg)	Longitud (cm)	Ancho (cm)
Campo Abierto	18.0±1.22	0.70±0.07	47.00±2.54 b	21.40±1.51 b
Casa Sombra	17.6±1.51	0.72±0.08	57.00±2.34 a	25.60±1.94 a
Invernadero	18.2±1.09	0.78±0.11	53.80±2.38 a	24.00±2.34 a
P≥0.05	0.28-0.76	1.09 – 0.97	22.10-0.001*	5.81-0.017*

La incorporación de las hojas al suelo es importante por en las hojas existe la mayor concentración de glucosinolatos y por lo tanto el mayor efecto biofumigante, por lo cual el efecto fumigante en el suelo estará directamente relacionado a la cantidad de hojas que se incorporen a mismo (Tizano y Troncoso, 2006). También la cantidad de biomasa estará directamente relacionada al aumento de la microflora saprofita y por consiguiente la competencia por espacio a los microorganismos fitopatógenos, porque una vez que termina la síntesis de isotiocianatos, la biomasa restante sirve de alimento a la microflora saprofita que al multiplicarse ocupan el espacio, lo que representa una competencia espacial para organismos fitopatógenos como *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Verticillium*, *Sclerotium* entre otros. Para aumentar esta competencia, se puede incrementar de forma exógena la microflora saprofita o facultativa, mediante la aplicación de cepas como *Trichoderma*, *Gliocadium*.

CONCLUSIONES

La mejor calidad y rendimiento del brócoli se obtuvo en la cubierta de malla. Las cubiertas no tuvieron efecto en la producción de hojas. Con una densidad de población de 54600 plantas por ha, se adicionan 40.4 toneladas de hojas por ha, que se pueden utilizar en un programa de biofumigación de suelos.

LITERATURA CITADA

Martínez M.A., Lacasa A., Guerrero M.M , Martínez M.C., Barcelo N., Oncina M., Ros C., Guirao P y Bello A. 2012. Soil disinfection through biofumigation with solarization in ecological pepper crops under greenhouse. [www. agris.fao.org](http://www.agris.fao.org).

México Calidad Suprema. 2005. PC-034-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema en brócoli. http://www.mexicocalidadsuprema.org/assets/galeria/PC_034_2005_Brocoli.pdf

Fraire Cordero M.L, D. Nieto Ángel, E. Cárdenas Soriano, G. Gutiérrez Alonso, R. Bujanos Muñiz y H Vaquera Huerta. 2010. Efecto de variedades y densidad de plantación en la calidad física del florete de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). Rev fitotecnex 33 (2).

Francescangeli N., M. A. Sangiacomo and H. R. Martí.2007. Vegetative and reproductive plasticity of broccoli at three levels of incident photosynthetically active radiation. Spanish Journal of Agricultural Research 5(3): 389-401.

Gómez Lucila, E. González, R. Enrique, M.A. Hernández, Mayra G. Rodríguez. 2010. Uso de la biofumigación para el manejo de *Meloidogyne* spp., en la producción protegida de hortalizas. Rev. Protección Veg. 25 (2):119-123.

Lara Viveros F. M., 2010. Incidencia de Enfermedades, Calidad postcosecha y contenido de glucosinolatos en Brócoli. Tesis Doctor en Ciencias en Recursos Fitogenéticos Fisiología Vegetal. Colegio de Posgraduados. Montecillo Texcoco estado de México.

Lazcano Ferrat I, R Carrillo González, J. L Vidal-Martínez, J Etchevers Barra, R Núñez Escobar. 2006. Nutrición potásica del brócoli (*Brassica Olearacea*) con manejo convencional y fertirrigación en un vertisol en invernadero. Agrocienza 40 (1):1-11.

Manici, L. M., Lazzeri, L., & Palmieri, S. (1997). In Vitro Fungitoxic Activity of Some Glucosinolates and Their Enzyme-Derived Products toward Plant Pathogenic Fungi. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(7), 2768-2773.

Peil R. M; Gálvez J. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero: Revisión bibliográfica. *R. Bras. Agrociencia*. 11 (1): 05-11.

SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), 2012. Importancia de la Agricultura Protegida. www.sagarpa.gob.mx.

Sandoval- Rangel A. Biofumigación de suelos Agrícolas. XII Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de N.L.

SIAP (Servicio de Información AgroAlimentaria y Pesquera) 2013. Producción agrícola 2013. Cierre de la producción por cultivo. www.siap.gob.mx

SPFI (Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial). 1983. Norma Oficial Mexicana NOM.FF-46-1982. Productos alimenticios no industrializados para uso humano hortalizas en estado fresco brócoli. *Diario Oficial de la Federación* DOF:14/01/1983.

Suzuki, C., Ohnishi-Kameyama, M., Sasaki, K., Murata, T., & Yoshida, M. 2006. Behavior of Glucosinolates in Pickling Cruciferous Vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(25), 9430-9436.

Wade, K. L., Garrard, I. J., & Fahey, J. W. 2007. Improved hydrophilic interaction chromatography method for the identification and quantification of glucosinolates. *Journal of Chromatography A*, 1154(1-2), 469-472.

APÉNDICES



Producción de Brócoli Avenger F1 en campo abierto en General Cepeda Coahuila. Marzo del 2013.



Producción de Brócoli Avenger F1 bajo cubierta de malla en General Cepeda Coahuila. Marzo del 2013.



Inflorescencia de brócoli Avenger F1, producido bajo cubierta en General Cepeda Coahuila. Abril del 2013.



Hojas de la Planta de Brocólí Avenger F1, producido en diferentes ambientes en General Cepeda Coahuila. Abril del 2013.