



Caracterización y funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan Puebla, México

Characterization and functionality of greenhouses in Chignahuapan Puebla, Mexico

Ortega-Martínez, L.D.^{1*}, Ocampo-Mendoza, J.¹, Sandoval-Castro, E.¹, Martínez-Valenzuela, C.², Huerta-De La Peña, A.¹, Jaramillo-Villanueva, J.L.¹.

¹Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Km 125.5 Carr. Fed. México-Puebla (Blvd. Forjadores), Santiago Momoxpan, C.P. 72760. Municipio de San Pedro Cholula, Puebla, México. Tels. 01 (222) 285 0013, 285 1442.

²Instituto de Investigación en Ambiente y Salud, Universidad de Occidente, Boulevard Macario Gaxiola y Carretera Internacional. Los Mochis, Sinaloa. México.

RESUMEN

Se caracterizaron los invernaderos y se evaluó su funcionalidad en el municipio de Chignahuapan, Puebla; mediante un censo se entrevistó a 31 productores que representan el 100 % de invernaderos durante el ciclo agrícola 2011. Inicialmente se realizaron recorridos exploratorios y se aplicó un cuestionario a productores propietarios de invernaderos. A partir de la información obtenida se determinaron por análisis clúster, cinco clasificaciones de invernaderos, una corresponde a tipo multitúnel y las restantes son multitúnel con ventana cenital fija, diferenciados por su tecnología para la producción como acolchados plásticos, hidroponía, sistemas de calefacción y de riego. De acuerdo a su clasificación, se encontraron diferencias significativas en rendimiento de tomate. De la misma forma, los indicadores de funcionalidad: largo, ancho, altura, volumen de superficie y metros cuadrados de ventana del invernadero, mostraron una correlación significativa con el rendimiento. A partir de estos resultados se podrán desarrollar e implementar estrategias que conlleven a un mejor manejo de invernaderos, así como a la implementación de nuevas técnicas agrícolas para mejorar los rendimientos de los sistemas de cultivo.

PALABRAS CLAVE

Agricultura protegida, diseño estructural, sistemas de producción.

ABSTRACT

Greenhouses were characterized and evaluated for their functionality in the municipality of Chignahuapan, Puebla; in a census, 31 producers were interviewed representing 100 % of greenhouse during the 2011 season. Initially exploratory trips were made and a questionnaire was applied to producers and greenhouse owners. From the information obtained, five classifications of greenhouse were determined by cluster analysis, one corresponding to multitunnel type and the rest are multitunnel with fixed roof window, differentiated by their production technology as padded plastics, hydroponics, heating and irrigation. According to their classification, significant differences in tomato yield were found. Similarly, indicators of functionality: length, width, height, volume and surface square meters greenhouse window, showed a significant correlation with performance. From these results we can develop and implement strategies that lead to better management of greenhouses, as well as the implementation of new agricultural techniques to improve yields of crop systems.

KEY WORDS

Protected agriculture, structural design, production systems.

Información del artículo

Recibido: 2 de agosto de 2013.

Aceptado: 25 de septiembre 2013.

*Autor corresponsal:

Ortega Martínez, L.D., Colegio de Postgraduados Campus. Fed. México-Puebla (Boulevard Forjadores), Santiago Momoxpan, C.P. 72760. Municipio de San Pedro Cholula, Puebla, México. Tels.: 01(222) 285 0013; 285 1442. Correo electrónico: ldortega@colpos.mx.

Introducción

La agricultura protegida es el sistema de producción realizado bajo diversas estructuras y cubiertas, entre los que destacan los invernaderos, que tienen como característica básica la protección contra los riesgos inherentes a la producción de cultivos a libre exposición, su función principal es recrear las condiciones óptimas y apropiadas de radiación, temperatura, humedad y dióxido de carbono, para generar la reproducción, desarrollo y crecimiento de plantas, incrementando la producción en cantidad, calidad y oportunidad comercial (Castañeda *et al.*, 2007; Bastida, 2008; Moreno *et al.*, 2011).

El invernadero es el elemento cualitativamente más importante del sistema de producción en agricultura protegida, debido a que de él depende en gran medida la capacidad productiva (Fernández, 2012), su estructura está conformada por el conjunto de elementos verticales, horizontales y curvos, que son los que le otorgan la forma y resistencia de la carga. Los materiales más comunes que lo constituyen son: madera, fierro o acero, su función es soportar la carga y esfuerzos que ocasionan el montaje de la cubierta; además de los aparatos de climatización o de riego, las plantas y los frutos (Alpi y Tognonni, 1999).

La clasificación de invernaderos se realiza de acuerdo a la tipología, equipos y tecnología utilizada, que considera tres niveles: baja, media y alta (Pieter de Rijk, 2008), NMDCI (2008), los clasifica según al periodo de vida útil, así como a la tolerancia a los desplazamientos de la estructura de cubierta. Es decir, los de clase A: estructuras de invernaderos unitarios o en batería y, la clase B: estructuras tipo casa-sombra, macro y micro túneles, para estos últimos, no existe una línea divisoria bien definida, sin embargo, se ha optado por considerar como elemento de referencia el volumen de aire encerrado por metro cuadrado de piso cubierto (Moreno *et al.*, 2011).

La funcionalidad de los invernaderos se basa en sus características tipológicas y operación, material de cubierta, condiciones climáticas externas, tipo y manejo del cultivo, sistemas de producción y la ventilación, esta última, representa un aspecto fundamental en la funcionalidad de los invernaderos pues de ella depende más que de ningún otro factor. El control de la temperatura, humedad y concentración de CO₂ son variables climáticas que afectan el desarrollo de las plantas, reflejado en los resultados de producción en cantidad y calidad (Matallana y Montero, 2001;

Roy *et al.*, 2002; Pérez, 2002; Castilla, 2004; Castilla y Hernández, 2005; García *et al.*, 2010).

En México, la horticultura protegida en los últimos años está en constante crecimiento y desarrollo. Nieves *et al.*, (2011) mencionan que la información existente sobre agricultura protegida no está lo suficientemente actualizada, es incompleta y no siempre fidedigna. El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), en 2007 reportó 12,540 hectáreas; mientras que la Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en 2010 reportó 11,760 ha, cifra menor a lo reportado por el INEGI; por su parte, la Asociación Mexicana de Agricultura Protegida Asociación Civil (AMHPAC) censó 15,300 ha en el mismo año. En el año 2013 la SAGARPA menciona que en México existen 19,985 unidades de cultivo protegido; 66 % corresponden a invernaderos, 11 % a macro túneles, 10 % a casa sombra, 5 % a micro túneles, 5 % techo sombra y 3 % pabellón (SIAP, 2013).

Las discrepancias en la fuente de datos del número de hectáreas reportadas pueden ser causadas por el crecimiento acelerado de invernaderos, la falta de un sistema de registro nacional, y por la definición de agricultura u horticultura protegida, pues la agricultura protegida considera en sus datos a las estructuras con malla sombra, túneles de diferentes dimensiones e incluso las estructuras sin cobertura (Nieves *et al.*, 2011). De la misma forma el abandono y la no permanencia de los invernaderos genera contradicciones, ya que el INEGI en 2007 reportó 18,127 unidades de producción, de las cuales 10,270 unidades (56.6 %) no tienen ventas debido a que la producción es para autoconsumo. En otros casos, son invernaderos que fueron abandonados, como consecuencia de una mala conducción y desarrollo, pues no se generan métodos y técnicas para el productor y acordes con la región, así como la falta de técnicos con conocimientos y experiencia en la producción de cultivos en invernaderos, incertidumbre fitosanitaria, inversión económica alta y el mal diseño de invernaderos (Steta, 2003; Castañeda, 2007; INEGI, 2007; Steta, 2003; Moreno *et al.*, 2011).

Para la producción en invernaderos, la tecnología, investigaciones y formas de investigar han sufrido cambios en el mundo. Por lo que hay una gran necesidad de investigación local con relación a cultivos bajo condiciones de invernaderos, especialmente en países como

México, donde este tipo de tecnología de producción es relativamente nueva para los agricultores (Baeza *et al.*, 2006; Castañeda, 2007; Rico *et al.*, 2007; Vázquez *et al.*, 2007; Acuña *et al.*, 2009; Ramos *et al.*, 2010; López y Hernández, 2010; Briceño *et al.*, 2011).

Por las razones expuestas, es importante documentar y analizar la situación actual de los invernaderos, lo que ayudaría a referir información básica sobre la tipología dominante en la zona, así como aspectos de diseño, estructurales y funcionales que posibiliten mejorar su diseño, y sentar las bases para futuros estudios. Además, aportará información importante que puedan intensificar esfuerzos en la capacitación y la actualización permanente del personal técnico, jornaleros y agricultores, así como fortalecer acciones para mejorar la producción. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue analizar, documentar las características y la funcionalidad de los invernaderos en el municipio de Chignahuapan, Puebla.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el municipio de Chignahuapan, que se localiza en la región morfológica de la Sierra Norte de Puebla, formada por sierras individuales y similares entre los paralelos 19° 39' 42" y 19° 58' 48" latitud norte y 97° 57' 18" y 98° 18' 06" longitud oeste. El clima corresponde a C(w1), templado subhúmedo: con temperatura media anual entre 12 y 18°C; la temperatura mínima varía de -3 °C a 18 °C y la máxima de 22 °C. La precipitación total anual varía de 600 a 1000 mm; el porcentaje de lluvia invernal es menor a 5 %, y una altitud promedio de 2,260 m (SMRN, 2007).

La obtención de información, para desarrollar el presente estudio consistió en realizar recorridos de campo, empleando entrevistas a productores con invernadero, mediante un cuestionario semi-estructurado. El mismo se aplicó de manera individual, realizando preguntas cerradas y abiertas, lo que facilitó al productor expresar su opinión. El instrumento consistió de 56 preguntas elaboradas y divididas en 5 secciones: 1) datos generales del productor; 2) producción; 3) comercialización; 4) financiamiento del invernadero; y 5) certificaciones. La caracterización de los invernaderos, se realizó a partir de indicadores de nivel tecnológico: a) tipología de invernadero; b) material de estructura; c) tipo de cubierta; d) control de factores climáticos; e) sistema de riego y;

f) sistemas de producción. También permitió, determinar la extensión y área del mismo; simultáneamente las mediciones de ventanas se realizó mediante un distanciómetro *Blue-ca 740 Precaster*®. Para la evaluación de la funcionalidad con respecto al rendimiento por metro cuadrado, se utilizaron indicadores propuestos por Bouzo *et al.*, (2009), que relacionan las características de los invernaderos con la superficie de suelo.

El criterio para seleccionar a los productores entrevistados, se basó en el inventario de invernaderos del estado de Puebla (SAGARPA, 2008). Los entrevistados representan una superficie sembrada en invernadero de 57,732 m² al ser un número pequeño de productores se consideró realizar un censo, que reconociera analizar el 100 % del área total sembrada.

Para la aplicación de las entrevistas, se utilizó el método no probabilístico de bola de nieve, que consiste en localizar a informantes clave que conduzcan hacia los otros participantes. Este método facilita establecer una relación de confianza con los nuevos participantes, también permite acceder a personas difíciles de identificar y proporciona especificar las características de los encuestados (Crespo y Salamanca, 2007).

Dada la variabilidad climática estacional, manejo de cultivo y de plagas de cada año, se optó por las preguntas del ciclo de cultivo anterior, para facilitar la respuesta y su veracidad; la encuesta fue aplicada de octubre a diciembre de 2011. El procesamiento estadístico de la información contempló las variables categóricas y frecuencias, un ANOVA, prueba de Tukey, correlaciones y análisis de componentes principales con el programa estadístico SPSS.

Resultados y Discusión

Se entrevistó a 29 productores que representan el 86.6 % de la superficie total cubierta por invernaderos, el restante esta fuera de servicio o no accedieron a responder la entrevista.

De los encuestados 38 % fueron del sexo femenino y 62 % masculino con edad promedio de 37.4 años y 6 años de escolaridad. El 100 % sabe leer y escribir, y manifestaron que el invernadero y la tecnología que adoptaron se basaron en sus posibilidades económicas

y de gestión, y no a las necesidades del cultivo o características agroclimáticas de la zona. En general estos resultados coinciden con lo mencionado por Fernández *et al.*, (2006). El invernadero lo obtuvieron con apoyos estatales o federales e inversión propia, el promedio de tiempo que llevan laborando en el invernadero es de 2.6 años. Aunque 78 % realizaron actividades económicas distintas al invernadero, principalmente en el sector primario. Una mayoría de ellos (75 %), afirman que reciben asesoría técnica para la producción, mientras que el 100 % no tiene vinculación con algún centro de investigación o universidad, resultados similares a los mostrados por Padilla *et al.*, (2012).

El total de los productores (100 %) refirió cultivar tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), con un promedio de superficie por productor de 1,690 m², que significó un rendimiento promedio de 194 t ha⁻¹. El 86 % vende su producción en presentación a granel de manera local y el restante fuera del estado. El 100 % indicaron no realizar un esquema de agricultura por contrato; además, no cuentan con alguna certificación de inocuidad, calidad o buenas prácticas agrícolas. Por otra parte, se encontró que la principal fuente de abastecimiento de agua para la producción, proviene de ríos y manantiales, aunque, el 27.5 % mencionó utilizar agua potable.

Por otra parte, el 100 % utiliza y manipula plaguicidas, pues mencionan que sin su uso los rendimientos disminuyen drásticamente, de tal forma que 93.1 % indican que su cultivo tuvo enfermedades causados por hongos, principalmente tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y pudrición blanca (*Botrytis cinerea*). En cuanto a la presencia de bacterias como cáncer bacteriano (*Clavibacter michiganensis*), el 37.9 % las señaló como un problema importante. Las virosis estuvieron presentes en el cultivo, el 41.4 % lo expresaron. El 69 % manifestó la presencia de plagas, principalmente por vectores como la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y áfidos, estas enfermedades también son mencionadas por Borboa *et al.*, (2009), Rodríguez *et al.*, (2011) y Ruiz *et al.*, (2011).

Caracterización de los invernaderos

Los invernaderos de los productores encuestados en este municipio, están situados y dispersos en una zona con bajas temperaturas e inversión térmica (helada), principalmente en los meses de invierno (SMRN, 2007), por lo que el 100 % de los productores

no realiza ninguna actividad productiva durante este periodo. Resultados similares fueron mencionados por Moreno *et al.*, (2011), quienes señalan que los invernaderos en México se han ubicado donde decidió el inversionista, y no necesariamente donde se tienen las mejores condiciones climáticas para producir a menor costo. Sin embargo, estos resultados son distintos a los mostrados por Briassoulis *et al.*, (1997), Von *et al.*, (2000), García *et al.*, (2010), quienes señalaron que la concentración de invernaderos, se observa en regiones con condiciones climáticas favorables, para el cultivo durante todo el año.

El 100 % emplea el polietileno como material de cubierta que es un plástico flexible resultados que concuerdan con los reportados por Díaz (2001). El 20.6 % de los invernaderos están orientados de norte a sur, por lo que su iluminación interna es más uniforme y más constante, debido a los ángulos de incidencia de los rayos solares para la transmisión porcentual de luz en diferentes periodos del año (Matallana y Montero, 2001). El resto de los invernaderos están orientados en distintos ángulos, en donde se observó un exceso de polvo en la cobertura plástica; además, la baja radiación en la zona de estudio minimizan la penetración de la luz y maximiza el sombreado de las plantas a lo largo del día, lo que limita la tasa fotosintética (Wang y Boulard, 2000; Bouchet, 2003), y el rendimiento, asumiendo que éste es proporcional a la integral lumínica (Bailey y Richardson, 1990). Por lo tanto, algunos aspectos que inciden en la transmisión de la radiación como el ángulo de techo, el tipo de invernadero y la transmisión hacia el interior son mencionados por varios autores (Bouzo y Pilatti, 1999; Geola *et al.*, 2000; Castilla, 2001; Iglesias y Muñoz, 2007), o el aumento en el número de invernaderos adosados lateralmente (Bouzo *et al.*, 2009), son importantes debiendo considerarse para mejorar la transmisión de la radiación solar principalmente durante los meses invernales.

El 93 % de los invernaderos cuenta con cámara sanitaria con doble puerta para acceso al interior, este es un cuarto hermético frecuentemente con temperaturas mayores a los 40 °C, une los puntos de comunicación entre el interior y el exterior del mismo y su función es evitar la entrada de patógenos y vectores; sin embargo, es utilizada como almacén de plaguicidas, fertilizantes, alimentos, ropa, maquinaria agrícola, entre otros materiales. Dentro de la cámara sanitaria el 100 % cuentan con tapete fitosanitario con el fin de desinfectar el calzado

Tabla 1.
Clasificación de invernaderos por tipología y componentes en Chignahuapan, Puebla.

Clasificación	Tipo de invernadero	Material de construcción y cubierta	Sistema de Producción	Control climático	Kg/m ²	%
A	Macro túnel	Madera y plástico	Suelo y acolchado	Nulos	9	6.8
B	Para clima templado con ventana cenital	Acero y plástico	Suelo y acolchado	Nulos	18	31.0
C	Para clima templado con ventana cenital	Acero y plástico	Suelo y acolchado	Calefacción	18	13.7
D	Para clima templado con ventana cenital	Acero y plástico	Sustrato y tezontle	Nulos	19	31
E	Para clima templado con ventana cenital	Acero y plástico	Sustrato y tezontle	Calefacción programador de riego	21	17.2

de las personas, o las ruedas del equipo que tienen acceso a las instalaciones, pero no lo utilizan.

El 100 % de invernaderos son de baja tecnología según la clasificación de Pieter de Rijk (2008) y de García *et al.*, (2010), quienes indican que genera vulnerabilidad en el sistema, estos resultados son similares a lo mencionado por Moreno *et al.*, (2011). También se encontró que el 100 % cuentan con tecnología de riego por goteo, y solo 17.2 % calefacción. Con estos resultados, el análisis de clúster mediante la tipología de los invernaderos, materiales de construcción y cubierta, así como de sus elementos tecnológicos, permitió establecer 5 niveles de clasificación (Tabla 1).

En la tipología de invernaderos, los clasificados como A son invernaderos tipo macro túnel de estructura de madera, dependientes del ambiente exterior con sistema

de riego por goteo, los clasificados como B, C, D y E son invernaderos para clima templado con ventana cenital, de estructura acero, y riego por goteo. La diferencia en estos invernaderos radica en el método de cultivo, ya sea suelo con acolchado plástico, sustrato tezontle y con control climático, que incluye a los calefactores, lo cual es similar a los resultados reportados por Grijalva *et al.*, (2011) y Luna (2011).

Para la producción, 51.7 % utiliza acolchado plástico sobre el suelo, con un promedio de 18 kg/m², el restante 41.3 % utiliza hidroponía con sustrato tezontle, y un promedio de 19.7 kg/m². Resultados similares a los 17.2 kg/m² que fueron reportados por Ortiz (2004), pero inferiores a los obtenidos por Bernabé y Solís, (1999). Mientras que 25.5 kg/m² fue el valor en los invernaderos tipo A, con promedio de 9 kg/m², menor a los mostrados por Ortega *et al.*, (2010); quienes mencionan 24.0 kg/m².

Tabla 2.
Rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)
según la clasificación de invernadero.

Clasificación de invernaderos	Rendimiento de tomate kg/m ²
Tipo A (túnel, suelo acolchado, sin calefacción)	10.5 ^a
Tipo B (con ventana cenital, suelo acolchado, sin calefacción)	18.5 ^b
Tipo C (con ventana cenital, suelo acolchado, con calefacción)	18.1 ^b
Tipo D (con ventana cenital, sustrato lezonite sin calefacción)	19.1 ^b
Tipo E (con ventana cenital, sustrato lezonite con calefacción)	19.3 ^b

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales; Tukey, $p < 0.05$.

La diferencia de rendimiento (Tabla 2) puede estar influenciada por el tipo de invernadero: en ventilación, temperatura, humedad y la concentración de dióxido de carbono, lo cual afecta el desarrollo y crecimiento de los cultivos tal como lo mencionan Coelho *et al.*, (2006), que compararon el comportamiento de los parámetros internos temperatura y humedad del aire con una gestión diferente de la ventilación natural y tipo de invernadero.

No obstante, Cook y Calvin (2005), mencionan que los nuevos productores en el negocio de los invernaderos no logran de inmediato los rendimientos potenciales esperados en la adopción de tecnologías que aplican.

No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de tomate entre los grupo B, C, D y E, a pesar de utilizar distintos sistemas de producción con sustratos y

Tabla 3.
Correlaciones entre rendimiento y distintas tecnologías aplicadas en invernadero.

	Tipo de invernadero	Control climático	Sistema de producción
Rendimiento	0.82 ^{**}	0.28	0.36
Tipo de invernadero	1	0.18	0.01
Control climático		1	0.10

^{**}La correlación es significativa al nivel 0.01.

suelo (Tabla 1). Estos resultados son similares a los reportados por Ojo de Agua *et al.*, (2008). De igual forma, no se encontró diferencia significativa en los invernaderos con control climático (E) en rendimiento, contrario a lo mencionado por Díaz *et al.*, (2001) y Castilla (2005), probablemente consecuencia de que la calefacción es utilizada únicamente cuando existe la posibilidad de inversión térmica (helada), y no para mantener una temperatura nocturna constante; de la misma forma, el productor no usa los calefactores justificando el alto costo de la fuente de energía (gas licuado del petróleo); no obstante, el tipo de invernaderos mostró diferencias significativas y una correlación significativa con respecto al rendimiento (Tabla 3).

Análisis de indicadores calculados

Los valores medios de los indicadores de funcionalidad de los invernaderos se presentan en el tabla 4. El rendimiento por metro cuadrado, mostró una correlación significativa con los siguientes indicadores: largo, altura y metros cuadrados de ventana, esto puede ser debido, a que la interacción de estos indicadores aumenta la superficie y volumen del invernadero. La influencia en las condiciones climáticas y de ventilación en el interior (Tabla 2), difieren en los resultados que obtuvieron Bouzo *et al.*, (2009), quienes mencionan que una mayor superficie de invernadero posibilita el incremento de los problemas de ventilación, y disminuye el

Tabla 4.
Valores medios de los indicadores de funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan, Puebla.

Invernadero	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Largo (m)	47	145	71.6	32.9
Ancho (m)	20	64	28.0	13.3
Altura al cenital (m)	4	7.8	7.1	0.8
Volumen (m ³)	4.1	71.8	15.8	18.2
Superficie (m ²)	960	9.2	2.1	2.4
Ventana (m ²)	204	808	350.3	178.4

Tabla 5.
Correlaciones entre el rendimiento m² con indicadores de funcionalidad de invernadero.

Invernadero	Largo	Ancho	Altura	Volumen	Superficie	m ² de ventana
Rendimiento m ²	0.444*	0.257	0.862**	0.355	0.311	0.443*
Largo	1	0.788**	0.226	0.880**	0.881**	0.963**
Ancho		1	0.151	0.977**	0.981**	0.901**
Altura			1	0.227	0.164	0.258
Volumen				1	0.995**	0.958**
Superficie					1	0.959**

*La correlación es significativa al nivel 0.05

**La correlación es significativa al nivel 0.01

rendimiento. No obstante, los invernaderos tipo A, mostraron una altura máxima al cenital de 4 m, de tal forma que el volumen de invernadero y los metros cuadrados de ventana se ven afectados, en cambio el rendimiento mostró diferencias significativas con respecto a los tipos B, C y D, lo que coincide con lo indicado por Bouchet *et al.*, (2007), quienes destacan que el incremento en la superficie de ventana es favorecida con invernaderos de mayor altura; además estos tienen un comportamiento sujeto a fluctuaciones menores de la temperatura en comparación a invernaderos de escaso volumen.

Para los indicadores sobre ventilación de invernadero, los resultados muestran una superficie media de 350.3 m² de ventanas, con una correlación significativa entre largo, ancho, volumen de superficie y el rendimiento por metro cuadrado (Tabla 4 y 5).

Estos resultados, pueden estar influenciados, como se mencionó anteriormente, por las características climáticas mismas que se generan, según Montero *et*

al., (2001) y Connellan (2002), los metros cuadrados de ventana con la superficie de suelo establecen una relación directamente proporcional con la tasa de ventilación del invernadero. También el 100 % de los invernaderos utilizan la ventilación natural para controlar altas temperaturas y promover la renovación del aire, resultados similares fueron reportados por Molina *et al.*, (2004) y López *et al.*, (2007).

Los invernaderos para clima templado con ventana cenital a diferencia del tipo multitúnel, evitan cambios bruscos que afecten el cultivo. Al ser estructuras altas, protegen el cultivo de temperaturas mayores. No obstante, el área total de ventilación fue de 23.6 %, este resultado es menor a lo propuesto por Hanan (1998), quien menciona que no debe ser menor del 30 % del área cubierta. Aunque estos resultados coinciden con lo indicado por la FAO (1990), Zabeltitz (1990), Montero *et al.*, (2001) y Connellan (2002). Se considera que para una eficiente ventilación natural pasiva, el valor debe ser al menos de 25 %.

Conclusiones

Los resultados mostraron dos tipos de invernaderos en la zona de estudio, el primero para clima templado con ventana cenital; el segundo macro túneles, ambos de baja tecnología, clasificados en cinco grupos diferenciados por su tipología, material de construcción y cubierta, sistemas de producción, control climático y por el rendimiento. A pesar de utilizar distintos

sistemas de producción, no se encontraron diferencias significativas en rendimiento, en cambio, los indicadores de funcionalidad mostraron una correlación entre las características del invernadero con el rendimiento. A partir de estos resultados se podrán desarrollar e implementar estrategias que conlleven a su mejor manejo, así como a la implementación de nuevas técnicas agrícolas para mejorar los rendimientos de los sistemas de cultivo.

Literatura citada

- Acuña, C. y John, F. 2009. Control climático en invernaderos. *Ingeniería e Investigación* 3: 149-150.
- Alpi, A. y Tognoni, F. 1999. Cultivo en invernadero. 3a Edición. Mundi-prensa Madrid, España. 347 pp.
- Baeza, E., Pérez, P., López, J. y Montero, J. 2006. CFD study of the natural ventilation performance of a Parral type greenhouse with different numbers of spans and roof vent configurations. *Acta Horticulturae* 719: 333-340.
- Bailey, B. y Richardson, G.A. 1990. Rational approach to greenhouse design. *Acta Horticulturae* 281: 111-118.
- Bastida, A. 2008. Los Invernaderos en México. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo. 123 pp.
- Bernabe, A. y Solís, V. 1999. Evaluación del rendimiento, calidad y precocidad y vida de anaquel de 21 genotipos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero en Chapingo (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Chapingo México.
- Borboa, F., Rueda, P., Acedo, F., Ponce, J., Onécimo, G. y García, O. 2009. Detección de *Clavibacter michiganensis* subespecie michiganensis en el tomate del estado de Sonora, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32(4): 319-326.
- Bouchet, E., Freyre, C., Bouzo, A. y Favaro, J. 2007. Efecto de las dimensiones de un invernadero sobre la temperatura interna en períodos cálidos. *Revista Científica Agropecuaria* 11(2): 111-119.
- Bouchet, E., Freyre, C. y Bouzo, C. 2003. Relación entre la transmitancia de la radiación fotosintéticamente activa de una cubierta plástica y el ángulo de incidencia solar, *Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias* 1(2): 7-14.
- Bouzo, C., Gariglio, N., Favaro, J. y Vera, C. 2009. Survey and technical analysis of the greenhouses in Cordoba and Santa Fe provinces. *Horticultura Argentina* 28(67): 24-36.
- Bouzo, C. y Pilatti, R. 1999. Evaluación de algunos factores que afectan la transmisión de la radiación solar en invernaderos. *Revista FAVE* 13(2): 13-19.
- Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Gratraud, J. y Von, E. 1997. Mechanical properties of covering materials for greenhouses, Part I: a general overview. *Journal of Agricultural Engineering Research* 67: 81-96.
- Briceño, M., Leyde, Y., Ávila, M., Manuel, V., Jaimez, A. y Ramón, E. 2010. Modelo de simulación del microclima de un invernadero. *Agrociencia* 2: 801-813.
- Castañeda, M., Rodrigo, V., Ramos, E., Peniche, V. y Rebeca del R. 2007. Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. *Agrociencia* 3: 317-335.
- Castilla, N. Invernaderos de plástico. 2005. Tecnología y manejo. 2a edición. Madrid: Editorial Mundiprensa, 462 pp.
- Castilla, N. 2001. La radiación solar en invernadero en la costa Mediterránea Española Incorporación de Tecnología al Invernadero mediterráneo. 1a edición Almería: Editorial Cajamar, 35 pp.
- Castilla, N. y Hernández, J. 2005. The plastic greenhouse industry of Spain. *Chronica Horticulturae* 45(3): 15-20.
- Coelho, M., Baptista, F., Fitas, C., García, J. 2006. Comparison of four natural ventilation strategies in a Mediterranean greenhouse. *Acta Horticulturae* 719: 157-164.
- Connellan, G. 2002. Selection of greenhouse design and technology options for high temperatura regions. *Acta Horticulturae* 578: 113-117.
- Cook, R. y Calvin, L. 2005. Greenhouse tomatoes change the dynamics of the North American fresh tomato industry. *Economic Research Report*, 2.
- Crespo, M. y Salamanca, C. 2007. El muestreo en la investigación cualitativa. *Revista Nure Investigación* 27: 1-4.

- Díaz, T., Espí, E., Fonseca, A., Jiménez, J.C. y Samerón, A. 2001. Los filmes plásticos en la producción agrícola. 1a. edición. Madrid: editorial Mundi-Prensa, 315 pp.
- F.A.O. 1990. Protected cultivation in the Mediterranean climate. FAO Plant Production and Protection Paper. 1a. edición. Roma: editorial assistance provided, 313 pp.
- Fernández, S.C. 2012. Análisis y Evaluación de riesgos de incidencias naturales en el sistema productivo agrario intensivo de Almería. (Tesis de doctorado) Universidad de Almería. España.
- Fernández, Z.M., Pérez, A. y Caballero, P. 2006. Análisis económico de la tecnología de los invernaderos mediterráneos: aplicación en la producción del pimiento. *ITEA*, 102(3): 260-277.
- García, M.C., Balasch, S.F., Alcon, M.A. y Fernandez, Z. 2010. Characterization of technological levels in Mediterranean horticultural greenhouses. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8(3): 509-525.
- Geoola, F., Kashti, Y. y Peiper, U.M. 2000. Solar radiation transmissivity of greenhouse cladding materials. *Acta Horticulturae* 534: 109-116.
- Grijalva, C., Macías, D. y Robles, C. 2011. Comportamiento de híbridos de tomate bola en invernadero bajo condiciones desérticas del noroeste de Sonora. *Trop subtrop agroecosyst* 14: 675-682.
- Hanan, J. Greenhouses. Advanced technology for protected horticulture. Boca Raton, CRC Press 1998; 684 pp.
- Iglesias, N. y Muñoz, A. 2007. Comparación de la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en invernaderos del norte de la Patagonia. *Horticultura Argentina* 26 (60): 10-16.
- INEGI. 2007. Instituto nacional de geografía e informática Censo Agropecuario. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal.
- López, C., Rojano, A., Ojeda, B. y Salazar, M. 2007. Modelos ARX para predecir la temperatura del aire de un invernadero: una metodología. *Agrociencia* 1: 181-192 .
- López, C. y Hernández, L. 2010. Modelos neuro-difusos para temperatura y humedad del aire en invernaderos tipo cenital y capilla en el centro de México. *Agrociencia* 44: 791-805.
- Luna, G. 2011. Producción de autoindicadores y biopelículas microbianas y su relación con la calidad y composición química de jitomate cultivado en la región de Aquixtla Puebla. (Tesis de doctorado) Colegio de postgraduados Campus Puebla.
- Matallana, G. y Montero C. Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación. 2ª Edición. Madrid: Mundi-prensa, 2001. 209.
- Molina, F., Valera, D. y Alvarez, A. 2004. Measurements and simulation of climate inside Almería-type greenhouses using computational fluid dynamics. *Agricultural and Forest Meteorology* 125: 33-51.
- Montero, J., Antón, A., Kamaruddin, R. y Bailey, B. 2001. Analysis of thermally driven ventilation in tunnel greenhouses using small scale models. *Journal of Agricultural Engineering Research* 79:213-222.
- Moreno, R., Aguilar, D. y Luévano, G. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 29; 763-774.
- Nieves, G., Van der Valk V. y Elings, A. 2011. Mexican protected horticulture. Production and market of Mexican protected horticulture described and analysed Wageningen UR Greenhouse Horticulture. Landbouw Economisch Instituut. The Hague. *Ministre of Economic Affairs*. Rapport GTB 1. 126.
- Ojo de agua, A., Castellanos, R., Muñoz, R., Alcántar, G., Chávez, V. y Enríquez, R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(4): 367-374.
- Ortega, M., Sánchez, O., Ocampo, M., Sandoval, C., Salcido, R. y Manzo, R. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) bajo condiciones de invernadero Ra Ximhai 2010; 6(3): 365-372.
- Ortiz, G. 2004. Comparación de la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) en hidroponía y suelo bajo invernadero en Miahuatlan, Puebla (Tesis licenciatura). Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- Padilla, B., Reyes, R. y Pérez, V. 2004. Evaluación de un cluster bajo agricultura protegida en México. *Contaduría y Administración* 2012: 57 (3): 219-237.
- Pérez, J., López, J. y Dolores, F. 2002. La agricultura del sureste: situación actual y tendencias de las estructuras de producción en la horticultura almeriense 2a. edición Madrid: Editorial Caja Rural Intermediterránea, Cajamar, 235.
- Pieter de Rijk. Evolución del sector de agricultura protegida en México [serie en internet] 2008. En: <http://www.amhpac.org/contenido/plan>, última consulta: 30 de enero de 2010.
- Ramos, F., López M. Lafont, F., Enea, G. y Duplaix, J. 2010. Una estructura neurodifusa para modelar la evapotranspiración

- instantánea en invernaderos". *Ingeniería. Investigación y Tecnología* 127-139.
- Rico, G., Castañeda, M., García, E., Lara, H.A. y Herrera, R. 2007. Accuracy comparison of a mechanistic method and computational fluid dynamics (cfd) for greenhouse inner temperature predictions. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 13(2): 207-212.
- Rodríguez, A., García, L. y Fernández, P. 2011. Enfermedades del jitomate (*Solanum lycopersicum*) cultivado en invernadero en la zona centro de Michoacán, México. *Revista Mexicana de fitopatología* 29: 50-60.
- Ruiz, N., Guzmán, G. y Pérez, L. 2011. Manejo y control de plagas del cultivo de tomate en Cintalapa, Chiapas, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 2: 129-137.
- Roy, J., Boulard, C., Kittas y Wang, S. Convective and ventilation transfers in greenhouses. *Biosystems Engineering* 2002. 83: 1-20.
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Inventario de invernaderos del estado de Puebla. [Serie en internet] 2008. En: <http://www.oedrus-puebla.gob.mx/RID.pdf>. Última consulta: 12 de mayo de 2012.
- SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Boletín semanal del SIAP de la SAGARPA, 2.
- SMRN. 2007. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diagnóstico Socioeconómico y de Manejo Forestal Unidad de Manejo Forestal Zacatlán. Asociación Regional de Silvicultores Chignahuapan-Zacatlán A. C., 281.
- Vázquez, R., Sánchez C. y Moreno, P. 2007. Producción de jitomate en doseles escaleriformes bajo invernadero". *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 13(1): 55-62.
- Von, E., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., Zabeltitz, Ch., Gratraud, J., et al. 2000. Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements. *Agricultural Engineering Research* 75: 1-16.
- Wang, S. y Boulard, T. 2000. Measurement and prediction of solar radiation distribution in full-scale greenhouse tunnels. *Agronomie* 20: 41-50.
- Zabeltitz, C. 1990. Greenhouse construction in function of better climate control. *Acta Horticulturae* 263: 357-374.

Como citar este artículo: Ortega-Martínez, L.D., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Martínez-Valenzuela, C., Huerta-De La Peña, A., Jaramillo-Villanueva, J.L. (2014). Caracterización y funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan, Puebla, México. *Revista Bio Ciencias* 2(4): 261-270.

