

Evaluación de tres tipos de cubierta para macrotúneles sobre el microclima y la productividad de chile pimiento (*Capsicum annuum*) en Escuintla y Sololá

Vilma Porres, Rolando Cifuentes & Edwin de León,

Centro de Estudios Agrícolas y Forestales, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

RESUMEN: Se evaluaron los materiales agrotexil, malla y plástico combinado con malla como cubierta para macrotúneles, y su efecto sobre el microclima y la productividad de chile pimiento en comparación con el control a campo abierto. La evaluación se llevo a cabo en sitios ubicados a 292, 1695 y 2343 msnm en dos ciclos de cultivo, en años consecutivos. En el año 2012 se evaluaron los híbridos Nathalie y Cacique. En 2013 se evaluaron los híbridos Natalie, Tecun y Cortes. Se determinó que el mejor material de cubierta para macrotúneles es el de plástico combinado con malla. Con este material de cubierta se obtuvo el mejor rendimiento promedio (42.3 t/ha) así como una temperatura y humedad relativa (32.2 °C y 52 %) apropiada para el cultivo. También se observó un aumento en la precocidad, y una reducción en las pérdidas causadas por enfermedades y quemaduras de sol. La cubierta de malla fue la segunda mejor en rendimiento (25.1 t/ha) generando un ambiente ligeramente más cálido que la de plástico combinado con malla y menor humedad relativa (32.7 °C y 49.5 %). Por último, con la cubierta de agrotexil se obtuvo un rendimiento promedio de 21.1 t/ha y una temperatura y humedad relativa de 32 °C y 50.5 % respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre el rendimiento de los distintos híbridos. El aumento en la productividad para cada material de cubierta en promedio fue de 4.4, 2.6 y 2.2 veces en las estructuras de plástico combinado con malla, malla y agrotexil respectivamente comparado con el control a campo abierto. Los resultados son los primeros que se generan en el país y se espera que sean de beneficio para aquellos productores y empresas que promueven este tipo de tecnología.

PALABRAS CLAVE: Agricultura protegida, macrotúneles, material de cubierta, chile pimiento.

of bell pepper was compared to open field conditions. The experiment was conducted during two cycles in consecutive years (2012-2013) in three sites at 292, 1695 and 2343 meters above sea level. In 2012 the bell pepper hybrids evaluated were Nathalie and Cacique. In 2013 the bell pepper hybrids evaluated were Natalie, Tecun and Cortes. It was determined that the best cover material was the combination of anti-insect net with a plastic roof. With this cover material the highest yield (42.3 t/ha) was obtained. Temperature and relative humidity (32.2 °C and 52 %) within that high tunnel was the most appropriate for the crop. It was also observed that plants bloomed earlier and the loss in productivity due to sun burn and fungal diseases was reduced. The second best cover material was the anti-insect net alone with an average yield of 25.1 t/ha. It generated slightly higher temperatures and lower relative humidity (32.7°C and 49.5 %). Non woven fabric had the lowest production (21.3 t/ha) among the high tunnels. With his cover material the temperature obtained was 32 °C and 50.5 % relative humidity. No differences in yield were observed between the pepper hybrids. On average, the productivity was increased 4.4, 2.6 and 2.2 times in the tunnels with covering combining plastic with anti-insect net, anti-insect net alone and non woven fabric when compared to the yield under open field conditions. These results are the first ones in Guatemala and are expected to be useful for producers and companies that promote this kind of technology.

KEY WORDS: protected agriculture, high-tunnels, cover materials, bell peppers.

Evaluation of three covering materials for high tunnels on the microclimate and productivity of bell pepper (*Capsicum annuum*) in Escuintla and Sololá

ABSTRACT: Several materials for high tunnels covering were evaluated. These were: plastic over anti-insect net, anti-insect net alone and non woven fabric. The effect of the covering materials on the microclimate inside the tunnel and productivity

Introducción

El chile pimiento es uno de los 5 cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial (Nuez et al. 2003). Los principales productores por volumen son China, México, Turquía e Indonesia (FAO 2013). Sin embargo los países que reportan los más altos rendimientos (256 t/ha) son los Países Bajos, Bélgica, Finlandia, Reino Unido y Kuwait (FAO 2013) los cuales producen en su mayoría bajo estructuras de protección.

En Guatemala el área dedicada a la producción es de 1,960 ha con un rendimiento promedio de aproximadamente 22 toneladas por hectárea (MAGA, 2011). Este cultivo se lleva a cabo mayormente a campo abierto en climas que van de templados a cálidos en la mayoría de los departamentos de Guatemala, incluyendo el Altiplano y la Costa Sur. Los departamentos que cuentan con la mayor área de producción son Jutiapa, Baja Verapaz, Chiquimula, Guatemala, Alta Verapaz y Sacatepéquez.

El cultivo requiere condiciones de temperatura cuyo óptimo va de 23 a 25 °C durante el día y entre 18-20 °C durante la noche, con un diferencial térmico día-noche entre 5-8 °C. Las altas temperaturas, especialmente asociadas a humedad relativa baja, conducen a la caída de flores y frutos recién cuajados. Esto sucede arriba de los 35°C, llegando a ser letal para la planta a los 45°C (Serrano, 2005). Las temperaturas inferiores a 15° C retrasan el desarrollo (Thompson y Kelly, 1957 En F. Nuez et al., 2003). El óptimo de humedad para la planta se encuentra entre el 50% y 60% (Castilla 2004).

En los últimos años las plagas, enfermedades y los eventos climáticos se han convertido en un factor limitante para la producción en Guatemala. Por tal razón ha surgido la tendencia de la puesta a punto de diversos sistemas de protección para la producción de hortalizas. Estos suelen ser instalaciones muy diversas entre sí; ya sea por las características y complejidad de sus estructuras o bien, por la mayor o menor capacidad de control del ambiente (Alpi y Tognoni, 2010).

Uno de los tipos de estructura de protección son los macrotúneles. Estos son estructuras de relativamente fácil instalación y manejo que tienen un costo menor que los invernaderos, por lo cual representan una opción viable para los agricultores que buscan un aumento en la productividad de sus cultivos. Los macrotúneles permiten controlar algunos factores siendo las plagas el de mayor importancia. Con estos es posible reducir las poblaciones de insectos vectores de virus (mosca blanca, trips, y áfidos) los cuales pueden causar daños severos a las plantaciones de tomate y chile pimiento, especialmente en las primeras etapas de desarrollo cuando las plantas son más susceptibles.

De acuerdo a Navas (2013) (comunicación personal), en el año 2001 la empresa Vista Volcanes introdujo a Guatemala los macrotúneles con agrotexil (conocido comercialmente como Agryl). Navas (2013) afirma que previamente no se conocía esta tecnología y que ante la problemática de las plagas, enfermedades y principalmente virus, el área de producción bajo macrotúneles ha ido en constante aumento desde el año 2004. Actualmente el país cuenta con aproximadamente 700 ha de macrotúneles para la producción de diversos cultivos, incluyendo tomate y chile pimiento. El agrotexil es el material de cubierta más comúnmente utilizado en macrotúneles con estructuras de tubos de PVC y hierro. Navas (2013) afirma que la principal ventaja de este material sobre otros es su costo ya que es accesible para la mayoría de pequeños productores.


Las condiciones climáticas en el interior del macrotúnel dependen de la estructura, los materiales utilizados y la interacción con el ambiente, entre otros. En túneles fijos cubiertos con plástico la temperatura llega a ser muy alta y las condensaciones de humedad son realmente importantes, llegando a causar problemas en la polinización y desarrollo de enfermedades fúngicas (Alpi y Tognoni, 2010).

Actualmente en Guatemala existe una tendencia hacia la producción agrícola en invernaderos y macrotúneles. Sin embargo la información técnica generada en nuestro medio es muy limitada. En este estudio se buscó determinar el material de cubierta ideal para el incremento de la productividad de los híbridos comerciales de chile pimiento.

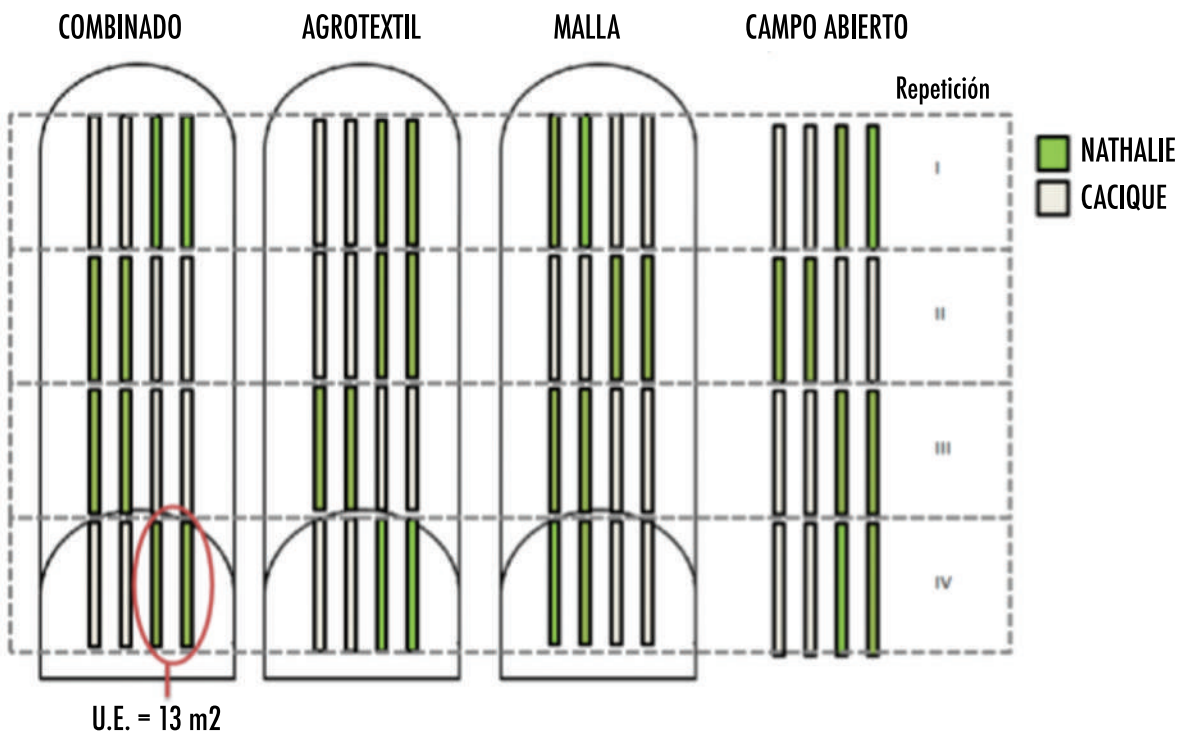
Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo durante dos ciclos productivos en los años 2012 y 2013. Se realizó en tres sitios ubicados a 292, 1695 y 2343 msnm. Dos de los sitios (292 y 2343 msnm) se ubicaron en los campus externos de la Universidad del Valle de Guatemala: Campus Sur (Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla) y Campus Altiplano (Aldea El Tablón, Sololá). El sitio de altitud intermedia se ubicó con un productor colaborador en San Lucas Tolimán, Sololá.

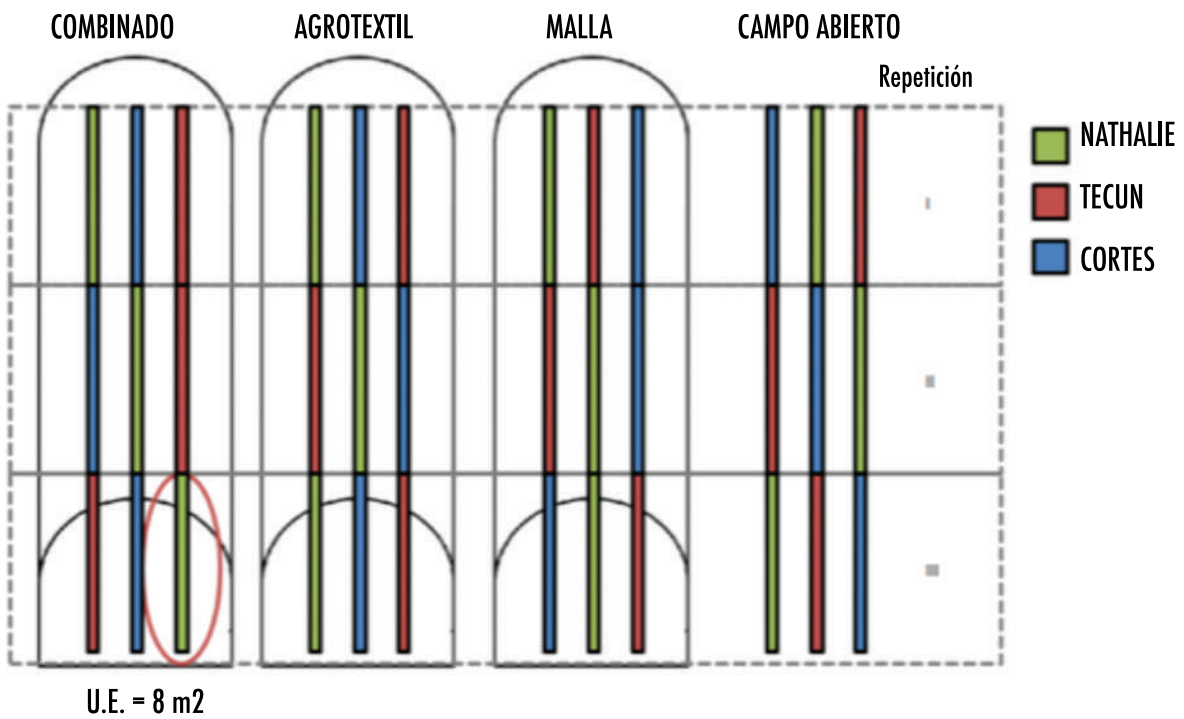
Cuadro 1. Materiales de cubierta utilizados en los macrotúneles

Material de Cubierta (Factor A)	Descripción	
Combinado plástico - malla	Polietileno de baja densidad (57 % superficie) sobre malla anti insectos 50 mesh (100% superficie)	
Malla	Malla anti insectos 50 mesh	
Agrotexil	Agryl (tela agrícola no tejida de polipropileno)	
Control	Sin material de cubierta	

Panorámica de los 3 tipos de cubierta utilizados en el estudio



Gráfica 1. Distribución de los tratamientos evaluados en el estudio en el ciclo 2012



Gráfica 2. Distribución de los tratamientos evaluados en el estudio en el ciclo 2013



Macrotunel plástico -malla



Macrotunel malla



Macrotunel agryl



Control a campo abierto

Gráfica 3. Apariencia de las plantas en cada una de las estructuras a 292 msnm

En el año 2012 el trasplante se realizó a mediados de agosto en el sitio a 292 msnm, y a principios y mediados de septiembre en los sitios a 1695 y 2343 msnm, respectivamente. En el año 2013 la siembra en los tres sitios se hizo a principios de julio.

En cada uno de los sitios se instalaron 3 macrotúneles con 3 distintos materiales de cubierta y un control a campo abierto (Cuadro 1). Los macrotúneles fueron construidos de hierro galvanizado en forma de túnel semicircular fijo y totalmente cubierto con los materiales descritos en el Cuadro 1. Las medidas de cada túnel fueron 3.20 m de ancho, 2 metros de alto y 30 m de largo. Se hicieron 4 hileras sencillas con un distanciamiento de 65 cm entre ellas en el primer ciclo, y 3 hileras separadas a 80 cm entre hileras en el segundo ciclo.

En el primer ciclo productivo se evaluaron los híbridos Nathalie F1 (Syngenta) y Cacique (Vilmorin) (Factor B). En el 2013 se evaluaron, Nathalie F1 (Syngenta), Tecun F1 (Vilmorin) y Cortes F1 (Harris Morán). Estos fueron plantados a una distancia de 35 cm entre plantas.

En el ciclo 2012 cada unidad experimental consistió de dos hileras de chile de 6.5 m de largo (13 m²) (Gráfica 1). En 2012 el sitio a 1695 msnm únicamente se evaluó el híbrido Nathalie.

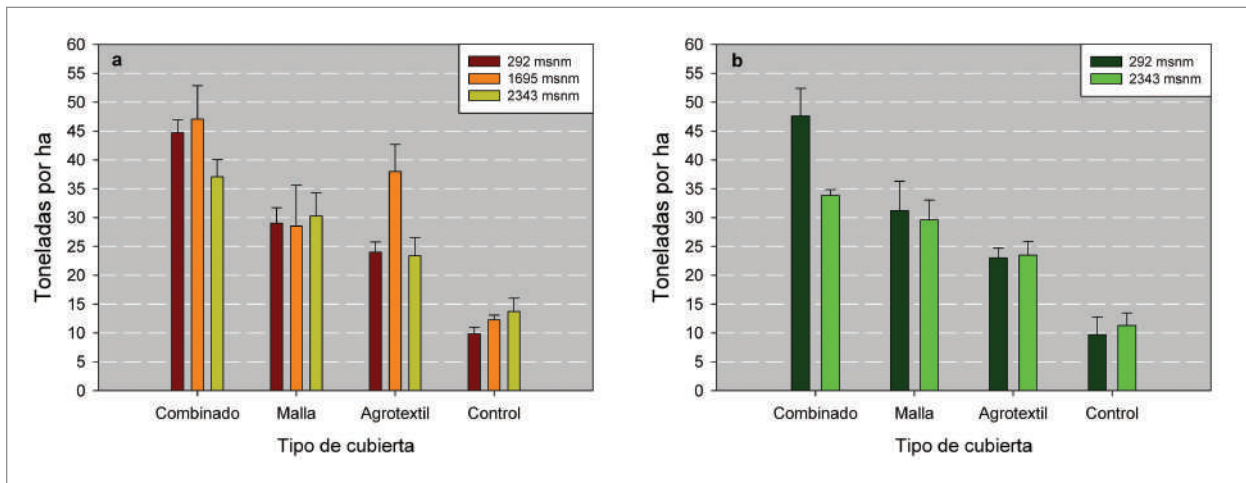
En el ciclo 2013 cada unidad experimental consistió de una hilera de 10 metros de largo (8 m²).

Para extraer el efecto de los factores (tipo de cubierta e híbrido de chile) los datos de cada sitio fueron analizados utilizando un diseño en parcelas divididas con distribución al azar con 4 repeticiones (Gráfica 1) en 2012 y 3 repeticiones en 2013 (Gráfica 2). La parcela grande fue el material de cubierta y la sub-parcela el híbrido de chile pimientito. Adicionalmente, se realizó un análisis combinado que incluyó los 3 sitios experimentales, el cual integró el efecto del ambiente. Se utilizó el programa MSTAT C (MSU 1988) como herramienta estadística.

Las variables de respuesta fueron rendimiento (ton/ha), días a floración, altura de la planta, fenología del cultivo así como temperatura y humedad relativa.

En cada unidad experimental se seleccionaron 5 plantas a las cuales se les dio seguimiento para la determinación de la altura de planta, días a floración y fenología del cultivo. En el sitio a 292 msnm también se clasificó el porcentaje de fruto dañado.

La temperatura y humedad relativa se registraron de 8:00 a 17:00 horas utilizando un *data logger* marca Lascar instalado en



Gráfica 4. Rendimiento del chile pimiento según el sitio experimental y el material de cubierta para los híbridos a) Nathalie y b) Cacique en el año 2012

el interior de cada macrotúnel a la altura de la planta. Se le colocó una pequeña pantalla pastica arriba del *data logger* para evitar que se mojara durante la época de lluvia.

La desinfección del suelo se realizó con el uso de Metam Sodio (*Mercenario*) 30 días antes del trasplante a una dosis de 1000 L/ha. El producto fue aplicado por medio del sistema de riego por goteo. Adicionalmente el cepellón de las plántulas fue sumergido durante unos segundos en una solución con los fungicidas Propamocarb (*Previcur*) y Carbendazim (*Derosal*) al momento del trasplante.

Se aportaron 245-112-350-93-45-36 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O-CaO-MgO-S, respectivamente en un programa de 20 semanas de fertirrigación. Las fuentes de los nutrientes fueron nitrato de potasio, nitrato de calcio, nitrato de amonio y sulfato de magnesio. La fertilización del fósforo se hizo al suelo utilizando la fórmula 11-52-0 (fosfato di amónico) a los 8 días después del trasplante. Los micronutrientes se aportaron por medio de la fertilización foliar (*Bayfolan*) con aplicaciones cada 21 días a partir de la floración.

Resultados

Productividad

Una panorámica de la apariencia de las plantas bajo los distintos materiales de cubierta en el sitio a 292 msnm se presenta en la Gráfica 3.

En el ciclo productivo del año 2012 se observaron diferencias significativas de rendimiento entre sitios ($p < 0.05$). El rendimiento promedio de cada sitio para el híbrido Nathalie fue de 26.9, 31.5 y 26.1 t/ha a 292, 1695 y 2343 msnm respectivamente, siendo este estadísticamente superior a la altitud intermedia (Gráfica 4a). A 292 msnm y 2343 msnm el rendimiento del híbrido Cacique fue de 27.2 y 24.5 t/ha (Gráfica 4b).

El análisis combinado muestra que no hubo diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) entre los dos híbridos evaluados. Sin embargo el análisis individual muestra una diferencia significativa ($p < 0.05$) en el rendimiento obtenido en el sitio a 2343 msnm, en donde el híbrido Nathalie (26.1 ton/ha) fue mejor que el híbrido Cacique (24.5 ton/ha).

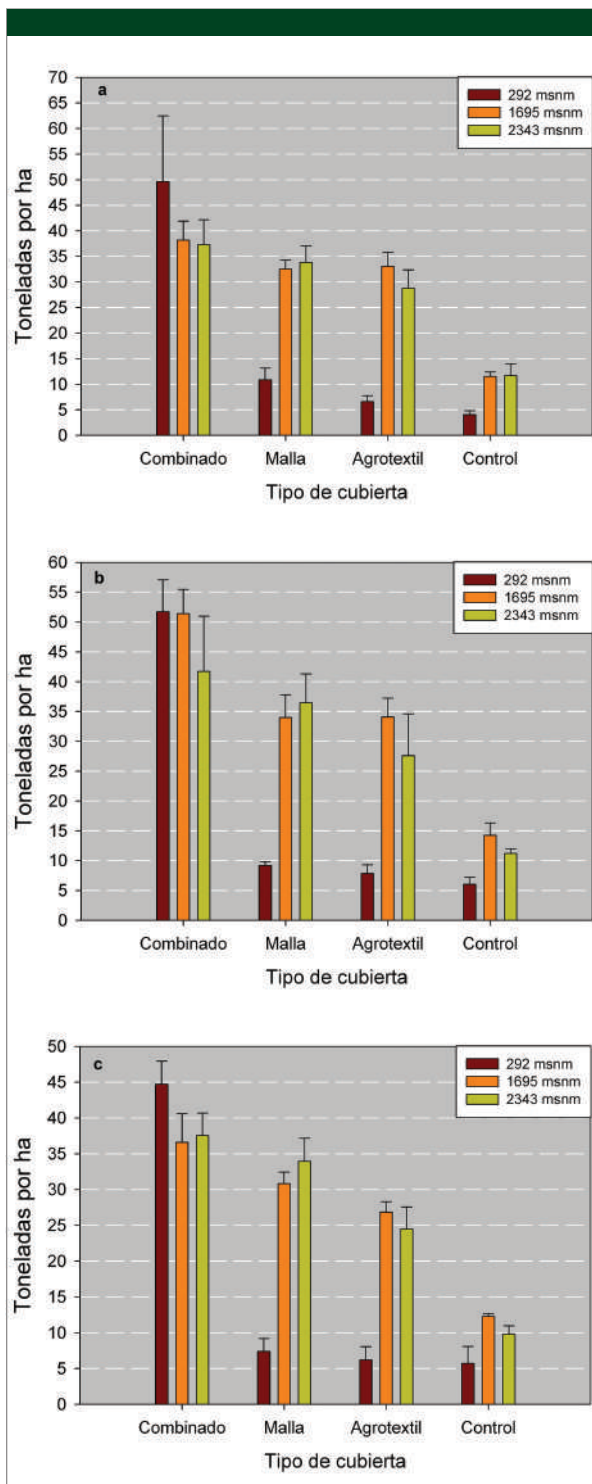
En cuanto al tipo de estructura hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) tanto en los sitios en los análisis individuales así como en el análisis combinado. Los rendimientos más altos fueron alcanzados consistentemente en el túnel que combina el uso de malla y plástico, seguido por el de malla que fue similar al de agrotexil y por último el testigo al aire libre, con 42.5, 29.5, 28.3 y 11.5 t/ha, respectivamente. La interacción híbrido de pimiento y tipo de cubierta no fue significativa ($p > 0.05$).

En el ciclo 2013 también se encontraron diferencias significativas entre sitios ($p < 0.05$) y entre los híbridos evaluados. El rendimiento promedio del chile Nathalie (Gráfica 5a) fue de 17.8, 28.8, 27.9 ton/ha en los sitios a 294, 1695, 2343 msnm respectivamente. Con la variedad Tecun (Gráfica 5b) se obtuvieron rendimientos de 18.7, 33.4, 29.2 ton/ha en los sitios a 292, 1695, 2343 msnm respectivamente. El rendimiento con el chile Cortes (Gráfica 5c) fue de 16, 26.6 y 26.4 ton/ha en los sitios a 294, 1695, 2343 msnm respectivamente.

El análisis combinado muestra que si existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tres híbridos y entre los materiales de cubierta evaluados. En promedio el rendimiento con el macrotúnel combinado de plástico con malla el rendimiento fue de 43.2 ton/ha, 25.0 ton/ha para el de malla, 21.7 ton/ha para el de agrotexil, 9.6 ton/ha para el testigo a campo abierto.

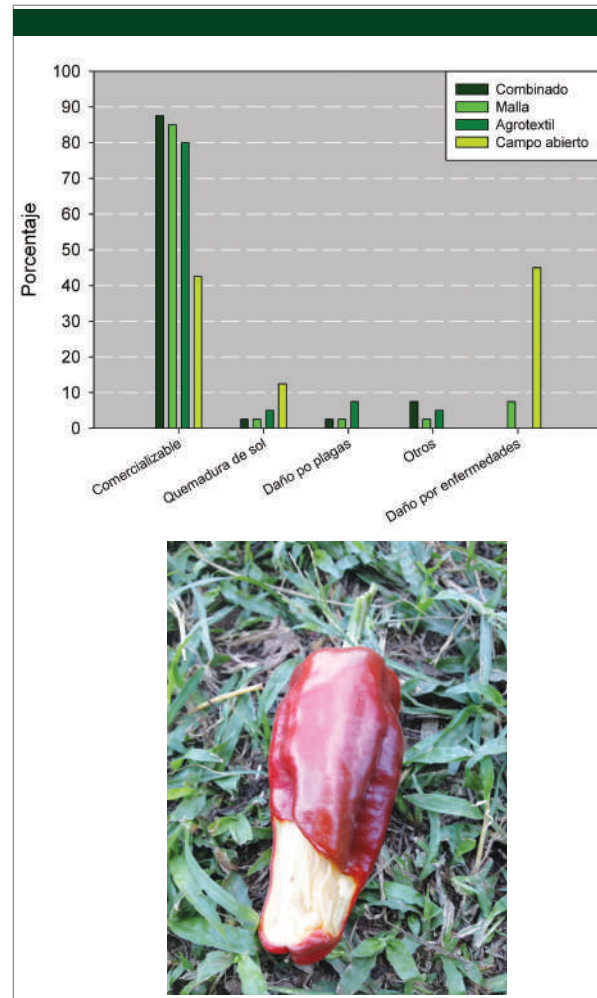
Calidad del fruto

En el sitio a 292 msnm, durante el ciclo 2012, se observó un aumento significativo ($p < 0.05$) en la cantidad de fruto



Gráfica 5. Rendimiento del chile pimiento según el sitio experimental y el material de cubierta para los híbridos a) Nathalie, b) Tecun y c) Cortes en el año 2013

comercializable con el uso de macrotúneles (Gráfica 6a). Los tres tipos de cubierta presentaron resultados similares ($p > 0.05$). El mayor nivel de daño se presentó a campo abierto, principalmente por la quemadura de sol (Gráfica 6b) y enfermedades.



Gráfica 6. a) Frutos comercializables y daños causados al fruto y b) quemadura de sol en chile pimiento

En el sitio a 292 msnm, 2013, se clasificaron los frutos según tamaño en primera, segunda y tercera calidad (Gráfica 7). En el macrotúnel con cubierta de plástico combinado con malla se obtuvo un 44% de primera calidad, 37% de segunda y 18% de tercera. En macrotúnel de malla se obtuvo un 33, 34 y 33% de primera, segunda y tercera calidad respectivamente. En el macrotúnel de agrotexil se obtuvo un 7% de primera calidad, 35% de segunda calidad y 59% de tercera calidad. En campo abierto el porcentaje obtenido de primera calidad fue de 8%, 66% de segunda y 26% de tercera calidad.

Fenología del ciclo de producción

El efecto del sitio no solo fue notable en el rendimiento ($p < 0.05$) sino también en la fenología del cultivo. En promedio para ambos híbridos, a menor altitud el tiempo para el inicio a cosecha se redujo (Cuadro 3 y 4). Se obtuvo una reducción en tiempo a cosecha de 61.5 días en promedio al comparar los datos del sitio a 292 msnm con los del sitio a 2343 msnm.

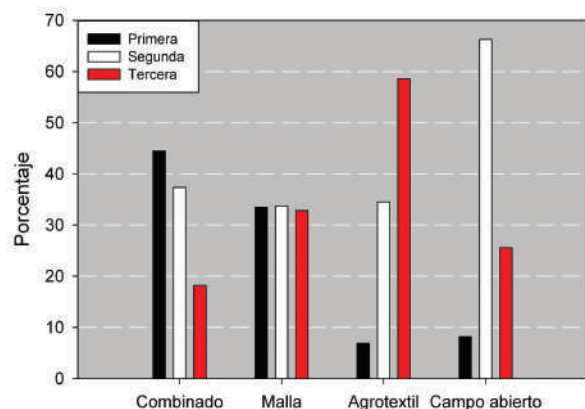


Gráfico 7. Porcentaje de frutos de primera, segunda y tercera calidad según tipo de estructura en el sitio a 292 msnm, ciclo 2013.

Altura de planta

La tendencia fue hacia un aumento en el tamaño de planta a medida que disminuyó la altitud. Las plantas de chile pimiento híbrido tuvieron una altura promedio de 96, 73 y 43 cm en los sitios a 292, 1695 y 2343 msnm, respectivamente en el ciclo 2012.

En el ciclo 2012 según el tipo de material de cubierta los híbridos alcanzaron una altura de 91 cm en la cubierta de plástico combinado con malla (Gráfica 8a), 77.6 cm en la cubierta de agrotexil (Gráfica 8c), 66.3 cm en la de malla (Gráfica 8b) y 52.8 cm en el testigo a campo abierto (Gráfica 8d).

En el ciclo 2013 las plantas de chile pimiento híbrido alcanzaron una altura promedio de 100, 90 y 69 cm en los sitios a 292, 1695 y 2343 msnm, respectivamente. La altura de planta por tipo de material de cubierta fue de 117 cm en el macrotúnel con cubierta de plástico y malla (Gráfica 9a), 83 cm en el macrotúnel con cubierta de malla (Gráfica 9b), 79 cm en el macrotúnel de agrotexil (Gráfica 9c) y 67 cm a campo abierto como se observa en la Gráfica 9d.

Temperatura y humedad relativa

La temperatura diurna promedio aumentó con el uso de los macrotúneles respecto a campo abierto. El incremento fue de 8.1, 7.1 y 3.3 °C para los sitios a 292, 1695 y 2343 msnm respectivamente (Gráfica 10a).

La humedad relativa diurna en general disminuyó con el uso de los macrotúneles respecto a campo abierto. La disminución fue de 15, 17 y 7 puntos porcentuales en los sitios a 292, 1695 y 2343 msnm respectivamente (Gráfica 10b).

En los ciclos 2012 y 2013 en la costa sur a 292 msnm se obtuvo una temperatura diurna promedio de 36.2, 36.5, 38.5 y 29 °C en los macrotúneles de plástico combinado con malla, malla, agrotexil y a campo abierto respectivamente. La humedad relativa diurna promedio fue de 58.2, 55.7, 49.6, y 69.3 % en los macrotúneles de plástico combinado con malla, malla, agrotexil y a campo abierto respectivamente (Gráfica 11).

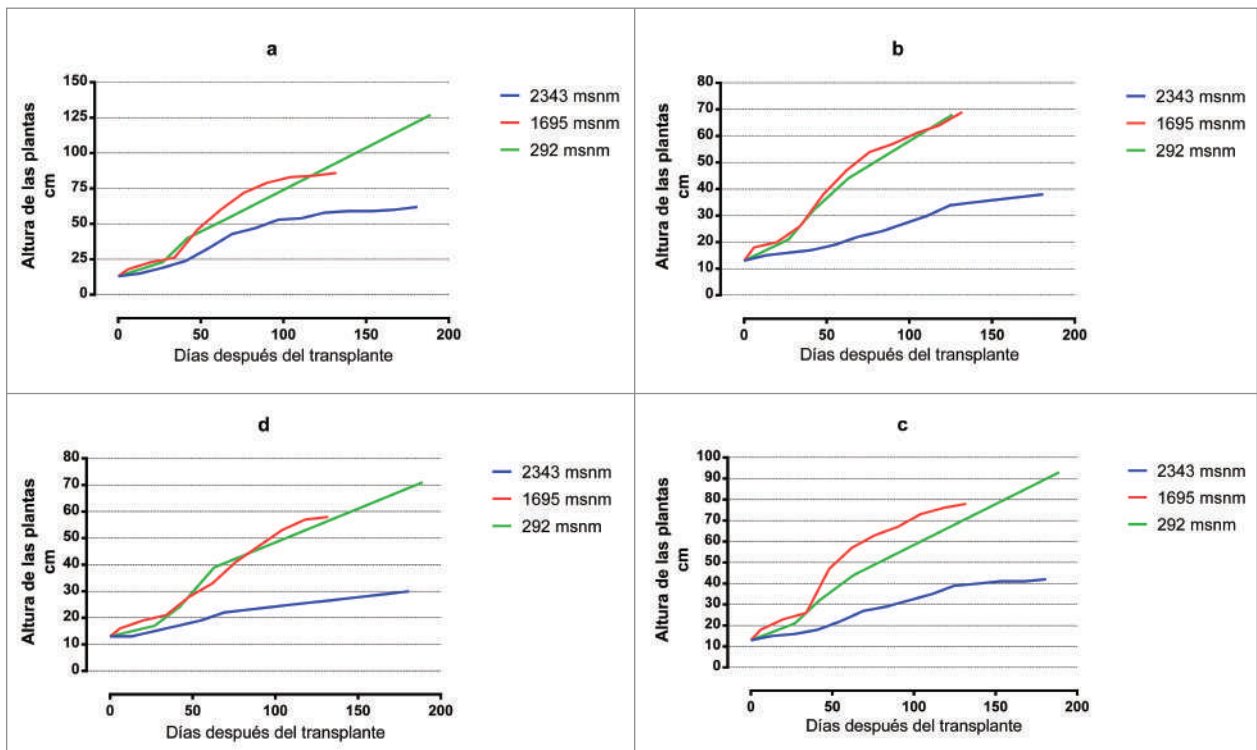
En los ciclos 2012 y 2013 en el sitio a 1695 msnm se obtuvo una temperatura diurna promedio de 33.5, 35.9, 31.6, y 26.6 °C en los macrotúneles de plástico combinado con malla, malla, agrotexil y a campo abierto respectivamente. La humedad relativa diurna promedio fue de 46.7, 40.4, 50.3 y 62.8 % en

Cuadro 3. Fenología del cultivo a distintas altitudes ciclo 2012

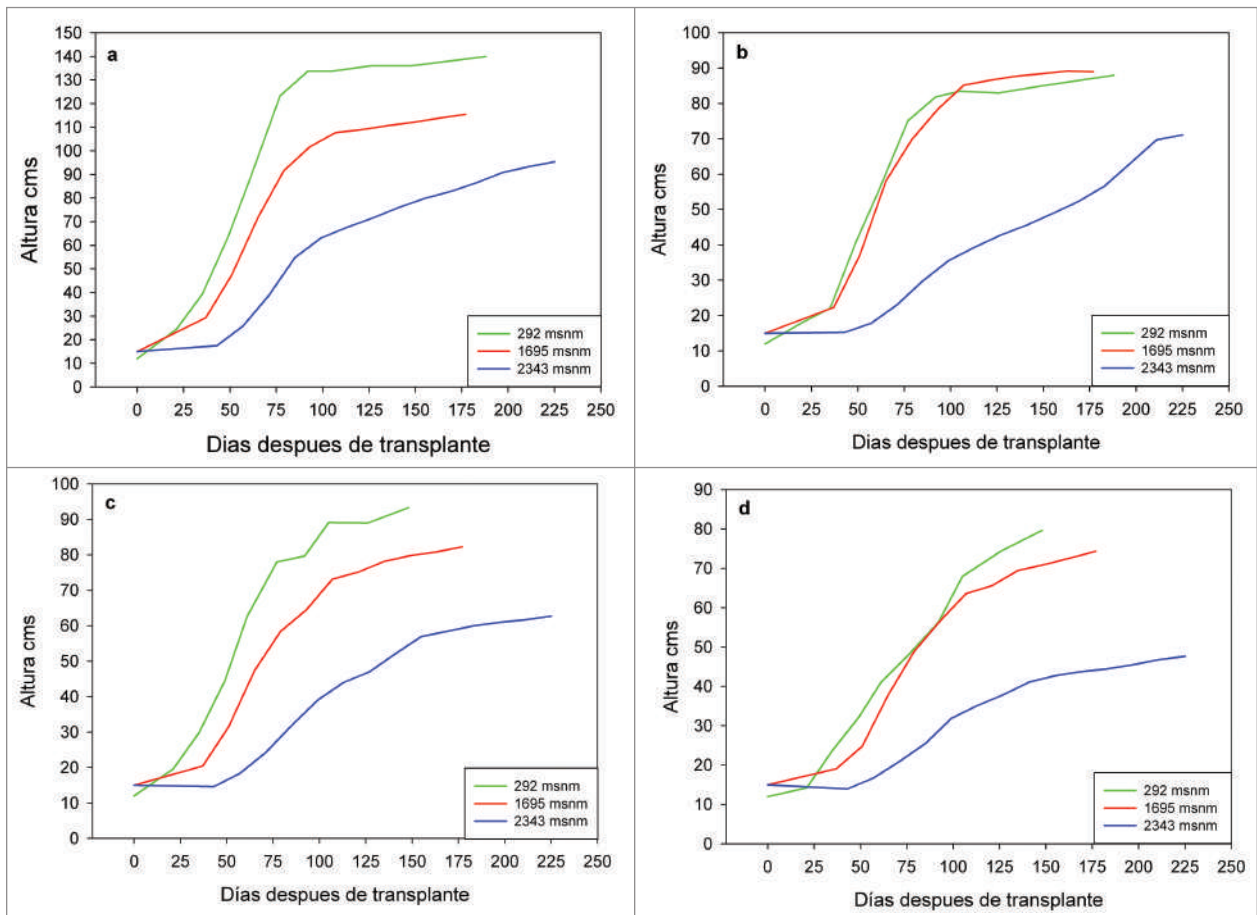
Altitud (msnm)	Días a floración	Diferencia de días a floración respecto a 292 msnm	Días a cosecha	Diferencia de días a cosecha respecto a 292 msnm	Días a fin de ciclo
292	42	-	93	-	202
1695	61	19	129	36	190
2343	67	25	153	60	216

Cuadro 4. Fenología del cultivo a distintas altitudes ciclo 2013

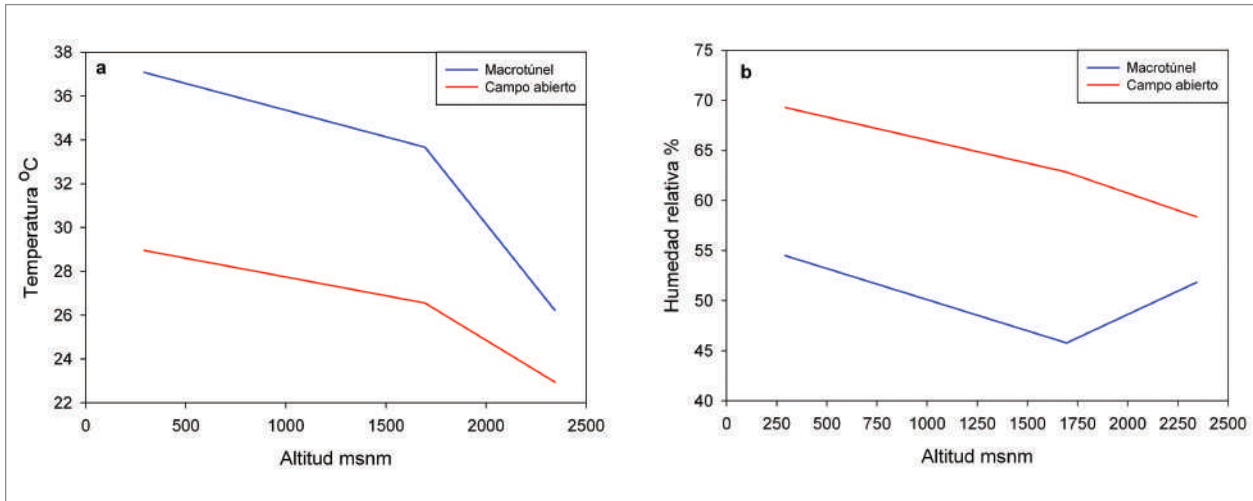
Altitud (msnm)	Días a floración	Diferencia de días a floración respecto a 292 msnm	Días a cosecha	Diferencia de días a cosecha respecto a 292 msnm	Días a fin de ciclo
292	38	-	77	-	188
1695	49	11	105	28	185
2343	64	26	140	63	229



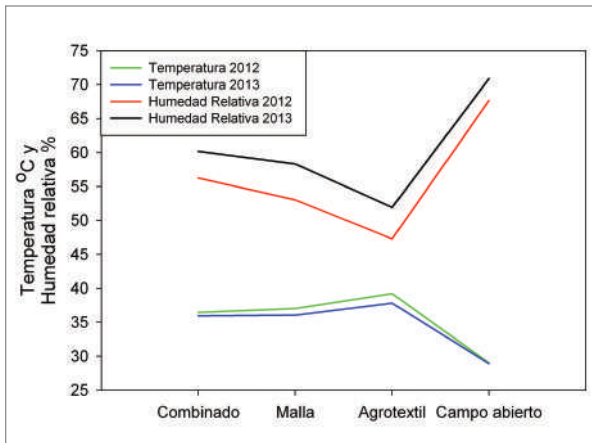
Gráfica 8. Altura promedio de las plantas de los híbridos Nathalie y Cacique en el ciclo 2012 según tipo de estructura. a) combinado, b) malla, c) agrotexil y d) campo abierto.



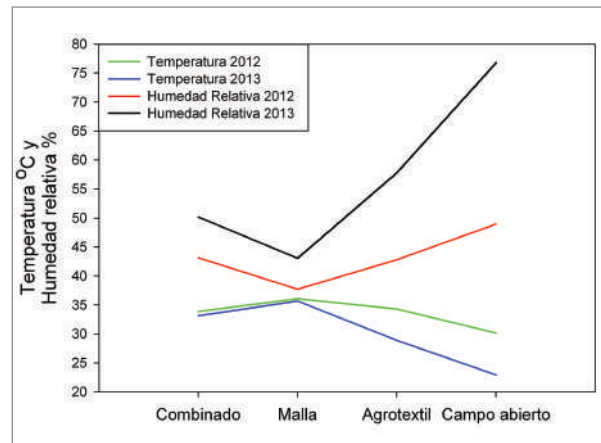
Gráfica 9. Altura promedio de las plantas de los híbridos Nathalie y Cacique en el ciclo 2013 según tipo de estructura. a) combinado, b) malla, c) agrotexil y d) campo abierto.



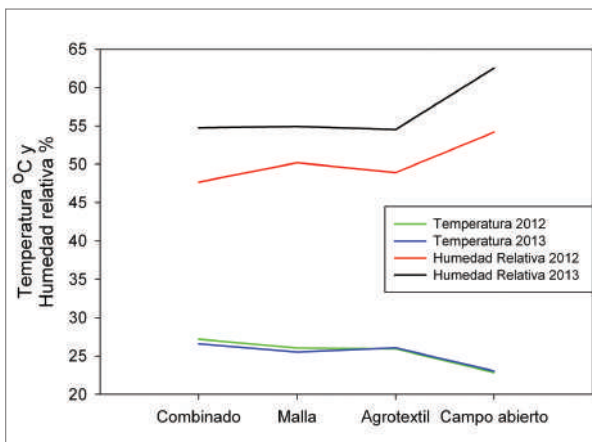
Gráfica 10. a) Temperatura en macrotúneles comparada con temperatura a campo abierto. b) Humedad relativa en macrotúneles comparado con campo abierto.



Gráfica 11. Temperatura y humedad relativa diaria promedio durante el ciclo 2012 y 2013 en el sitio a 292 msnm según tipo de material de cubierta.



Gráfica 12. Temperatura y humedad relativa diaria promedio en los ciclos 2012 y 2013 en el sitio a 1695 msnm.



Gráfica 13. Temperatura y humedad relativa diaria promedio en los ciclos 2012 y 2013 en el sitio a 2343 msnm.

los macrotúneles de plástico combinado con malla, malla, agrotexil y a campo abierto respectivamente (Gráfica 12).

En el sitio a 2434 msnm durante los ciclos 2012 y 2013 se obtuvo una temperatura diaria promedio de 26.9, 25.8, 26.8 y 26.6 °C en los macrotúneles de plástico combinado con malla, malla, agrotexil y a campo abierto respectivamente. La humedad relativa diaria promedio fue de 51.2, 52.6, 51.7 y 58.4 % en los macrotúneles de plástico combinado con malla, malla, agrotexil y a campo abierto respectivamente (Gráfica 13).

Discusión y conclusiones

Indistintamente del tipo de cubierta, en todos los macrotúneles se obtuvo un incremento en la productividad al compararlos con el control a campo abierto. Este estudio encontró que con el uso de macrotúneles se logró obtener un aumento de la

productividad entre el 330 y 410% respecto al control campo abierto en Escuintla y entre 246 a 308 % en Sololá. Comparado con los rendimientos históricos de cada departamento, el incremento a la productividad con el uso de macrotúneles es de 198 a 305% en Escuintla y entre 417 a 533% en Sololá.

Estos resultados eran de esperarse ya que varios autores como Gerber et al. (1988), Salame-Denoso et al. (2010), Singh et al. (2013), han reportado muchas ventajas con el uso de túneles en comparación al campo abierto.

Los resultados de rendimiento con los diferentes tipos de cubierta fueron consistentes entre sitios experimentales. Resulta interesante como el simple hecho de colocar una cubierta plástica sobre el techo llevo a beneficiar grandemente la producción. Con esto se logró un incremento del 121 % sobre el que solo tenía la malla y 131% sobre el de agrotexil en el ciclo de 2012.

En el ciclo del 2013 el incremento en la productividad entre el macrotúnel que tenía malla combinada con plástico respecto al de agrotexil fue de 288%. El aumento de productividad entre el macrotúnel que tenía cubierta de malla respecto al de agrotexil fue de 329%. El aumento en la productividad se acentuó más en el ciclo de cultivo del año 2013, posiblemente debido al efecto negativo de las lluvias en los macrotúneles con cubierta permeable y a campo abierto.

Existieron algunas diferencias de temperatura y humedad relativa entre los tres materiales de cubierta evaluados. Esto se debió probablemente a que el efecto invernadero varía según las condiciones concretas de transmisión y absorción de la cubierta a las radiaciones y según las condiciones de ventilación y estanqueidad (Castilla 2004) del macrotúnel.

Al observar las temperaturas promedio generadas por los distintos materiales de cubierta (Gráficas 11, 12 y 13) se nota que excepto por el sitio a 2343 msnm (Gráfica 13), en los dos sitios restantes, la temperatura superó el óptimo reportado por la literatura para la planta de pimiento (23 – 25 °C). Sin embargo en promedio estas temperaturas no llegaron a un nivel letal (mayor a 45 °C) Posiblemente pudo haber alguna reducción en el rendimiento por estar arriba del óptimo ya que Erickson y Markhart (2001) han demostrado que las altas temperaturas reducen su productividad.

En cuanto a la humedad relativa así como en la temperatura, se observó que esta fue mayor en el sitio a 292 msnm, seguido por el sitio a 1695 msnm y finalmente en el sitio ubicado a 2343 msnm (Gráfica 10a y 10b). En general en los tres sitios se mantuvo cercano al nivel óptimo de humedad relativa 50 – 60% (Castilla 2004) tanto en los macrotúneles como a campo abierto. Las humedades relativas más bajas se observaron en los macrotúneles en los que la cubierta aumento más la temperatura.

El material de cubierta con el que se obtuvo la temperatura y humedad relativa promedio más cercana al óptimo fue la cubierta que combina el uso de plástico de polietileno (57% de la superficie) sobre una cubierta de malla (en el 100% de la

superficie con un 43% expuesto sin plástico). Este tuvo la capacidad aumentar en menor medida la temperatura en el sitio más cálido y en mayor medida en el sitio más frío lo cual indica una mayor capacidad para regular la temperatura acercándola al óptimo para la planta. Con esta cubierta además, se obtuvieron los mejores rendimientos, la mayor precocidad, altura de planta y la menor incidencia de quemadura de sol en el fruto.

Se observó que en los sitios ubicados a 292 y a 1695 msnm con la cubierta de plástico combinado con malla, se obtuvieron las temperaturas más bajas comparado con los otros materiales. La mayor reducción en la temperatura posiblemente se deba a que este recibía una menor cantidad de luz por el uso de los dos materiales sobrepuestos, los cuales, combinados causan un sombreado de 30 – 40% en este sitio con alta radiación solar (6 – 6.5 Kw/m²/d) (SWERA 2003). Sin embargo existen estudios (Reylsky y Spiegelman 1986) que determinaron que el sombreado óptimo para el cultivo de chile pimiento está entre 12 y 23%, más allá de esos valores el rendimiento se reduce por lo tanto no es conveniente excederse.

Por el contrario en el sitio ubicado a 2343 msnm esta misma cubierta de plástico combinado con malla fue la más cálida comparada con los otros materiales (malla y agrotexil). En este sitio donde la radiación solar es menor (5 - 5.5 Kw/m²/d) que en la costa sur (SWERA 2003), posiblemente no sea la forma más importante de transferencia de calor hacia el macrotúnel sino que lo sea la convección. Adicionalmente en este sitio existió una barrera rompe vientos lo que probablemente ocasionó una disminución en la ventilación de las estructuras.

El material de cubierta en el que se alcanzaron las segundas temperaturas y humedad relativa más apropiada para el cultivo de pimiento fue el de malla. En este también se obtuvo el segundo mejor rendimiento y precocidad, y tercer lugar en altura de planta. El material de cubierta causó un aumento de temperatura mayor que el que tenía el plástico colocado encima a pesar de que tenía una mayor capacidad de ventilación. Se cree que en los sitios donde se realizó la evaluación, la cantidad de luz que ingresa en el macrotúnel (aunque no fue medida) tiene una mayor influencia sobre la temperatura generada en el interior que la ventilación. Para este tipo de malla se reporta una transmisibilidad de luz de aproximadamente el 70-80 % y una reducción en la ventilación del 35% (Harmanto et al. 2006) en el 100% de su superficie.

En los macrotúneles con material de agrotexil, que es el material convencional de cubierta, se obtuvo el mayor incremento en la temperatura en promedio y la mayor disminución en la humedad relativa. Es el material que permite el mayor paso de luz entre los tres evaluados, entre el 80- 90% y una reducción en la ventilación del 5 – 25% (Nuez et al. 2003) En este se obtuvo la menor precocidad y bajos rendimientos comparados con los otros materiales de cubierta. Este último resultado podría estar relacionado con el mayor aumento de temperatura la cual se ha demostrado que tiene un efecto perjudicial especialmente en el cuajado de frutos (Erickson y Markhart 2001). El agrotexil



Gráfica 14. Daños en el agrotexil provocados por vientos

fue el material de cubierta que causó el mayor aumento de temperatura en el sitio más caliente y el menor aumento de temperatura en el sitio más frío indicando que de los materiales evaluados tiene la menor capacidad de modificar el ambiente a favor de las plantas. Este material tiene un tiempo de vida reducido (3 - 5 meses) comparado con la malla (5 años) y el plástico (2 años). El agrotexil presentó daños por viento antes de llegar al final del ciclo (Gráfica 14) por lo cual tuvo que ser reemplazado incrementando los costos de producción.

La capacidad que tiene una cubierta para reducir la transmisión de luz y la capacidad de ventilación quizás sean las dos características con mayor influencia sobre el microclima de un macrotúnel. También son de gran importancia la capacidad de restringir el ingreso de las plagas, su durabilidad y costo.

En cuanto al rendimiento de los dos híbridos evaluados en 2012, Nathalie y Cacique no existieron diferencias significativas. En el ciclo 2013 en el análisis combinado se encontraron diferencias significativas entre los híbridos Nathalie, Tecun y Cortes. Otros estudios a campo abierto (González 2008,) encontraron híbridos como Tecun, Margarita y Arbuá con rendimientos significativamente superiores a Nathalie. Sin embargo no encontramos estudios previos que compararan los otros híbridos evaluadas en este estudio.

Las principales conclusiones resultantes del estudio incluyen:

- El uso de macrotúneles demostró ser una opción técnicamente viable para el aumento de la productividad del cultivo de chile pimiento en las tres ubicaciones evaluadas en los departamentos de Escuintla y Sololá.
- Se demostró que a pesar de que la cubierta de agrotexil es la más comúnmente utilizada en Guatemala, la cubierta de plástico con malla brinda las mejores condiciones para la producción de chile pimiento en macrotúneles ya que tuvo el mejor resultado sobre el rendimiento, el microclima, la precocidad, altura de planta, y en la reducción de daños al fruto por quemadura de sol y enfermedades en el rango de altitud de 292 – 2343 msnm.
- Se puede utilizar cualquiera de los cuatro híbridos comerciales de chile pimiento (Nathalie, Cacique, Tecun y Cortes) en el rango de altitud de 292 a 2343 msnm.

Agradecimientos

Al Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) quien por medio del programa *Food for Progress 2010* (FFP10) financió la ejecución del presente estudio (Contrato OGSM: FCC-520-2010/026-00).

Bibliografía

- Alpi A, Tognoni F (2010) *Cultivo en Invernadero* 3ra Ed, Ediciones Mundiprensa, Madrid
- Castilla N (2004) *Invernaderos de Plástico, Tecnología y Manejo* Ediciones Mundiprensa, Madrid
- Erickson A, Markhart A (2001) *Flower production, fruit set and physiology of bell pepper during elevated temperature and vapour pressure deficit* J Am Soc Hort Sci **126**(6): 697 – 702
- FAO (2013) *FAOSTAT* en: [<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QC/S>] visitado el 09/09/2013
- Gerber J, Mohd-Khir I, Splittosesser W (1988) *Row tunnel effects on growth yield and fruit quality of bell pepper* Scientia Hort **36**(3-4): 191-197
- González V (2008) *Evaluación agronómica de cuatro materiales de chile (Capsicum frutescens) en campo abierto en una localidad en el municipio de Copan Ruinas, Honduras* Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala (Tesis)
- Tantau HH, Salokhe (2006) *Influence of insect screens with different mesh sizes on Ventilation rate and microclimate in greenhouses in the humid tropics* Ag Eng Internat the CIGR Journal Manuscript BC 05 017 Vol VIII
- INE (2003) *IV Censo Agropecuario Guatemala* en: [<http://www.ine.gob.gt/np/agropecuario/index.htm>] visitado el 16/09/2013.
- MAGA (2011) *El Agro en Cifras* Dirección de Planeamiento, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala
- Montaño-Mata N, Cerdeño E (2002) *Evaluación agronómica de siete cultivares de pimentón (Capsicum annum)* Revista UDO Agrícola (Venezuela) **2**(1): 95 -100
- Nuez F, Gil Ortega R, Costa J (2003) *El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes* Mundiprensa, Madrid
- Navas L (2013) Comunicación personal
- Salame-Denoso T, Santos B, Chandler C, Sargent S (2010) *Effect of high tunnels on the growth, yields and soluble solids of strawberry cultivars in Florida* Internat J Fruit Sci **10**(3): 249 -263
- Serrano Sermeño Z (2005) *Construcción de Invernaderos* 3a ed Ediciones Mundiprensa, España
- Singh K, Singh R, Khurana DS, Singh J (2013) *Effect of low poly tunnel on the growth, yield and harvesting span of sweet pepper* Hort Flora Res Spec **2**(1): 45 – 49
- SWERA (2003) *Central America Normal Radiation Map* en: [<http://en.openei.org/w/index.php?title=File:NREL-camdirann.pdf&page=1>] visitado 6/09/2013