

CUBIERTA CON POLIPROPILENO Y FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN FERTIRRIEGO: IMPLICACIONES EN CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y NUTRICIÓN DEL JITOMATE

Polypropylene Row Cover and Potassium Fertilization with Fertigation: Implications in Growth, Yield and Nutrition of Tomato

Felipe de Jesús Osuna-Canizalez^{1†}, Manuel Sandoval-Villa², Carlos Trejo-López², Gabriel Alcántar-González², Víctor Volke-Haller² y Daniel L. Ochoa-Martínez²

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la cubierta con polipropileno (agribón) y del fertirriego con potasio en jitomate en una zona de Morelos, donde, desde 1986, el cultivo sufre devastaciones totales ocasionadas por una enfermedad conocida como “chino”, la cual se reporta asociada a virosis y al ambiente restrictivo por alta temperatura y baja humedad relativa. Se estudiaron dos modalidades de cubierta: tradicional, cubriendo con agribón en minitúnel durante un mes solamente, y modificada, que combinó el uso del minitúnel por un mes con la colocación posterior del agribón, a 1.7 m del suelo, para sombrear a las plantas el resto del ciclo. También se estudió el efecto de cuatro dosis de K₂O, aplicados en fertirriego: 0, 100, 200 y 300 kg ha⁻¹, más dos testigos cultivados a la intemperie. Las variables de respuesta fueron la dinámica de producción de biomasa aérea, el rendimiento de fruto y la dinámica de K en suelo y planta. La alternativa de cubierta todo el ciclo incrementó en 80% el rendimiento de fruto, respecto a la forma tradicional (71.2 vs. 39.6 t ha⁻¹). En condiciones de intemperie, el fertirriego con K no evitó que disminuyera su concentración en el tejido, ni la devastación final de la planta; sin embargo, al combinarlo con cubierta todo el ciclo, logró mantener concentraciones más altas de K en el follaje, así como la obtención de altos rendimientos (76.8 a 81.2 t ha⁻¹).

Palabras clave: *geminivirus*, “chino”, clima restrictivo.

SUMMARY

The effect of polypropylene floating row cover (agribón) and fertigation with potassium was evaluated in tomato in an area where, since 1986, this crop has been severely affected by a disease locally called “chino”. This disease is associated with a virus and limiting environmental conditions due to high temperature and low relative humidity. Two methods of cover were studied: that traditional method, in which the plant rows were covered with agribón for a month, and a modified method in which rows were covered for a month and thereafter the agribón was installed 1.7 m above soil level, for shading until final harvest. Also, four levels of K₂O were applied by fertigation: 0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹, plus two controls grown in the open. Biomass production, fruit yield and K dynamics in soil and plant were the response variables. Covering plants the whole growing cycle increased yield by 80% compared to one-month cover only (71.2 vs 39.6 t ha⁻¹). K fertigation did not prevent a significant drop in tissue K concentration or plant devastation at the end of the growing period, but combined with covering during the entire cycle it resulted in higher K tissue concentrations and higher yields (76.8 to 81.2 t ha⁻¹).

Index words: *geminivirus*, “chino”, restrictive climate.

INTRODUCCIÓN

En las zonas cálidas del estado de Morelos dejaron de cultivarse bajo riego alrededor de 2500 ha de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) debido a la aparición, en 1986, de una enfermedad denominada comúnmente como “chino” del jitomate. El nombre se deriva de los síntomas visuales de la misma, consistentes en enrollamiento de hojas hacia el haz, las cuales adquieren una consistencia coriácea e incrementan su grosor,

¹ Campo Experimental Zacatepec, INIFAP. Apdo. postal 12, 62780 Zacatepec, Morelos, México.

[†] Autor responsable (fosuna@colpos.mx)

² Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

enanismo, clorosis y necrosis de hojas (Díaz-Balderas *et al.*, 2001; Ramírez-Rojas *et al.*, 2001), lo cual puede derivar en pérdidas totales de la producción.

Como posible causa del “chino” del jitomate en Morelos se menciona a las condiciones ambientales climáticas restrictivas en las cuales crece la planta, en las que predominan alta temperatura y baja humedad relativa. Esto provoca déficit de presión de vapor mayor de 2.5 kPa (Bustamante-Orañegui *et al.*, 1999), lo que resulta en que se manifieste la condición enferma debido a alteraciones en la fisiología de la planta.

Una segunda teoría establece el origen del “chino” en la infección por geminivirus, particularmente del género Begomovirus, transmitidos por mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn.) (Takanami *et al.*, 1998; Ramírez-Rojas *et al.*, 2001).

Una alternativa que se ha propuesto para mitigar el problema del “chino”, derivada de diversos trabajos de investigación conducidos en Morelos, consiste en el empleo de cubiertas temporales con polipropileno (agribón), por un periodo de 30 a 45 días, a partir del trasplante (Díaz-Balderas *et al.*, 2001; Ramírez-Rojas *et al.*, 2001). Los reportes de rendimientos obtenidos con esta alternativa son de 6 a 40 t ha⁻¹ (Díaz-Balderas *et al.*, 2001). Una posible causa de los bajos rendimientos con esta alternativa es el corto tiempo que la planta se protege de los vectores de virus y de las condiciones ambientales climáticas extremas que predominan a cielo abierto.

En Morelos, hasta el momento, el efecto del manejo de la fertilización potásica sobre el problema de “chino” del jitomate no se ha investigado. El K es el catión más abundante en la mayoría de las plantas, es bastante móvil y puede acumularse en grandes concentraciones en compartimentos celulares; por ejemplo, durante la apertura de estomas, la concentración de K en el citoplasma puede incrementarse de 100 a 400 mM (Dietrich *et al.*, 2001).

Por lo anterior, el K es un elemento esencial estrechamente ligado a mecanismos de regulación del estado hídrico de la planta (Fischer y Hsiao, 1968; Marschner, 1995; Assman y Shimazaki, 1999; Netting, 2000; Dietrich *et al.*, 2001), lo que podría ser de importancia en condiciones de clima cálido-seco, característico de las zonas de Morelos en donde se cultivó jitomate de riego en el pasado.

En el presente estudio se evaluó una variante a la forma tradicional de cubierta temporal con agribón y la respuesta a diferentes cantidades de K aplicadas en

fertirriego, en términos del crecimiento y la producción de biomasa aérea de la planta, así como de la dinámica del K en suelo y planta, en una zona de Morelos donde las condiciones ambientales climáticas se consideran restrictivas para el cultivo de jitomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se condujo en el Campo Experimental Zacatepec (CEZACA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, (INIFAP) en Zacatepec, Morelos, ubicado a 917 m sobre el nivel del mar. El clima es cálido subhúmedo (A_w) (García, 1981) y, en los últimos 40 años, la precipitación media anual ha sido de 820 mm, concentrada durante los meses de junio a octubre, con temperatura media anual de 25.5 °C y temperatura media máxima mensual de 29 a 38 °C. En el periodo seco (noviembre a mayo), la humedad relativa diurna es menor de 30% en la mayoría de los días.

El suelo tiene propiedades vérticas y se clasifica como isohipertérmico vértico calciustoll, representativo de la zona cálida-baja del estado, con 51% de arcilla, 28% de limo y 21% de arena, además de las siguientes características relevantes (estrato 0-30 cm): pH de 7.5 (suelo:agua, 1:2), 1.95% de materia orgánica, 0.12% de N total, 33 mg kg⁻¹ P (Olsen), 371 mg kg⁻¹ de K intercambiable (acetato de amonio 1.0 N, pH 7.0), capacidad de intercambio catiónico de 44 cmol_c kg⁻¹, 39% de humedad a capacidad de campo (CC), 72% de humedad a saturación y densidad aparente de 0.8 g cm⁻³ a CC.

El agua para fertirriego por goteo se obtuvo del pozo profundo del CEZACA, la cual tiene pH de 7.1 y CE de 1.01 dS m⁻¹; además, la concentración media (me L⁻¹) de cationes y aniones es de 5.3 de Ca, 4.7 de Mg, 0.6 de Na, 0.1 de K, 2.7 de HCO₃, 5.9 de SO₄ y 1.1 de Cl.

Se obtuvieron plántulas de jitomate del híbrido “Yaqui” (Seminis) en charolas de poliestireno de 200 cavidades, en un invernadero con malla antiáfido. La siembra se llevó a cabo el 19 de octubre de 2004 y el trasplante se realizó el 8 de noviembre del mismo año, una vez que las plántulas alcanzaron una altura de 20 cm.

Los tratamientos consistieron de cuatro dosis de K₂O (kg ha⁻¹): T1 = 0, T2 = 100, T3 = 200 y T4 = 300, los cuales se aplicaron a través de un sistema de fertirriego por goteo con cintilla, con goteros integrados cada 0.45 m y con un gasto especificado de 1.4 L h⁻¹. Estos tratamientos se cubrieron con malla de polipropileno

(agribón, 17 g m⁻², 1.5 m de ancho), inmediatamente después del trasplante. Además, se tuvieron dos tratamientos testigo sin cubierta de agribón: T5 = 200 kg K₂O ha⁻¹ aplicados con fertirriego y T6 = riego por surcos y sin aplicación de K₂O. Para evitar problemas de sombreado, la separación entre los tratamientos testigo y el resto de tratamientos, así como entre repeticiones, fue de 2.0 m. Se utilizó un diseño experimental de franjas (Martínez-Garza, 1988), con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en tres hileras de 10 m de largo, con una separación de 1.05 m y plantas a 0.5 m.

Como soporte de la malla de agribón se utilizó alambre galvanizado (Calibre 10) curvo, formando túneles de 0.8 m de ancho y 0.4 m de altura. Algunos bordes del túnel se cubrieron con suelo y los extremos inicial y final se fijaron, amarrando el agribón a estacas de madera.

Treinta y dos días después del trasplante, se removió la cubierta de agribón en una de las cuatro repeticiones de los tratamientos cubiertos (T1 a T4), como se hace tradicionalmente (Orozco-Santos *et al.*, 1994; Ibarra-Jiménez *et al.*, 2004), exponiendo las plantas a las condiciones de intemperie. En las tres repeticiones restantes, el agribón se movió hasta una altura de 1.7 m sobre el nivel del suelo, lo cual generó una condición de menor incidencia de radiación solar, pero sin aislar a los posibles vectores de virus, ya que todo el perímetro permaneció descubierto. La malla se mantuvo en posición horizontal mediante una red formada con lazo de 2 mm de diámetro, sujeto a las estacas de madera usadas como tutores de las plantas, colocadas cada 2.5 m.

En los Tratamientos 1 a 5, se aplicaron dosis uniformes de 200 y 80 kg de N y P₂O₅ ha⁻¹, respectivamente; en estos tratamientos se realizó una aplicación basal de N, P₂O₅ y K₂O, correspondiente a 20, 30 y 30% respectivamente, de la dosis total de cada elemento, mediante una mezcla, en las proporciones requeridas de acuerdo con el tratamiento de K₂O, de sulfato de amonio, fosfato diamónico, nitrato de potasio y sulfato de potasio, aplicada en banda, a 5 cm de profundidad y de la hilera de plantas. El Tratamiento 6 se fertilizó con la dosis recomendada por el CEZACA de 150 y 40 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente, en dos oportunidades.

Las cantidades restantes para abastecer el total de las dosis, en los Tratamientos 1 a 5, se aplicaron en el sistema de riego mediante inyector tipo venturi, en intervalos semanales, de acuerdo con un calendario teórico de demanda nutrimental a través del ciclo de desarrollo. Las fuentes empleadas fueron nitrato de

potasio, sulfato de potasio, fosfonitrato de amonio, ácido fosfórico y ácido nítrico, en las proporciones requeridas para sólo variar la dosis de K₂O, de acuerdo con cada tratamiento. Las dosis de K₂O se manejaron mediante tiempos diferenciales de inyección de una solución de 300 mg L⁻¹ de K₂O, y con tiempos diferenciales de riego, para aplicar los mismos volúmenes de agua en todos los tratamientos.

El contenido de humedad en el suelo se monitoreó con tensiómetros (SUNX, DP80) colocados a una profundidad de 0.20 m. El momento de riego se estableció en 35-40 kPa de tensión de humedad, punto en el que se regaba o fertirrigaba, según el caso, para llevar la humedad en el suelo alrededor de 10 kPa de tensión.

En suelo, se monitoreó la concentración de K en extracto de pasta saturada, mediante muestras tomadas en tres fechas: inmediatamente antes del trasplante, a 58 días después del trasplante (DDT) y después del último corte. En todos los muestreos se consideraron dos estratos: 0-0.15 y 0.15-0.30 m; en el primer muestreo se formaron dos muestras compuestas de cada estrato, a partir de 10 submuestras tomadas al azar. En los dos siguientes muestreos se formaron muestras compuestas de dos submuestras por estrato, en cada unidad experimental. Las submuestras se tomaron con cilindros de nylacero (nylamid) de 5 cm de diámetro, se homogeneizaron para formar la muestra compuesta, se secaron al aire a la sombra, se trituraron en charolas de plástico con un mazo de caucho y se pasaron por un tamiz de 2 mm. La concentración de K en el extracto se determinó por espectrometría de flama (Alcántar-González y Sandoval-Villa, 1999).

De la planta, se tomaron muestras en seis etapas del desarrollo; al trasplante y a 27, 48, 62, 90 y 122 DDT. Al trasplante se tomaron 25 plántulas directamente de las charolas de almácigo; en el segundo muestreo se tomaron dos plantas por muestra, por repetición, y en los cuatro restantes una planta por muestra, por repetición.

En todos los muestreos se separó la raíz y se consideró sólo la parte aérea; el material vegetal se lavó con agua de pozo profundo y con agua destilada, después se colocó en bolsas de papel perforadas, se secó en estufas con circulación forzada de aire, a 70 °C hasta peso constante y se pesó. Posteriormente, el material seco se molió en un molino manual (Quaker City Mill, F No. 4), acondicionado con malla de plástico de 1 mm y se guardó en sobres de papel hasta su análisis químico.

En los Muestreos 5 y 6 se separó el fruto del follaje y se manejaron por separado. En este caso, se calculó

el promedio ponderado de la concentración y contenido nutrimental en la parte aérea (follaje más fruto) de la planta. En el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados—campus Montecillo se digitaron vía húmeda las muestras de follaje y fruto, y se determinó K mediante espectrometría de emisión (ICP, Varian. Liberty-Series II).

El rendimiento se determinó mediante la cosecha de la hilera central de cada tratamiento (10 m); antes de pesar, se separaron todos los frutos con algún tipo de daño, como “golpe de sol” o deformaciones, así como aquéllos con menos de 70% del peso promedio. Se realizaron cinco cortes en intervalo semanal: el primero, el 7 de febrero; el último, el 7 de marzo de 2005.

En los tratamientos con cubierta, todo el tiempo se utilizó un procedimiento de métodos numéricos en SAS, para calcular la dosis óptima económica de K_2O para esta condición en particular.

Se hizo un análisis de varianza a los datos de concentración de K en planta y en el extracto de pasta saturada, así como a los de producción de biomasa (seca). Se utilizó la prueba de Tukey para la separación de medias cuando se requirió. El efecto de la cubierta elevada se evaluó considerando la media de los cuatro tratamientos en cada una de las tres repeticiones bajo esta condición, y comparando con la media de la repetición que se descubrió después de 32 días de cubierta en minitúnel, mediante la prueba de separación de medias de Tukey, asumiendo un mismo error experimental.

Para el caso de la dinámica de crecimiento se especificaron modelos y se probaron mediante análisis de regresión, para obtener los modelos matemáticos finales mediante los procedimientos correspondientes en el programa SAS (Freund y Littell, 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de la Planta

El efecto de la cubierta sobre la producción de biomasa aérea total (seca) fue altamente significativa (Cuadro 1). La diferencia en producción de biomasa total entre tratamientos con cubierta todo el ciclo fue significativa sólo en el último muestreo, debido a la menor producción de fruto en el tratamiento que no recibió K (T1), respecto a los tratamientos fertirrigados con K. Al considerar sólo el follaje, no se presentaron diferencias significativas en producción de biomasa entre los tratamientos de este grupo.

Al comparar la producción de biomasa entre el grupo de tratamientos con cubierta todo el ciclo (CM-CE) contra el de cubierta en minitúnel por 32 días (CM-I), se obtuvieron diferencias significativas sólo en el último muestreo, debido a la mayor producción promedio de fruto en el grupo de tratamientos con CM-CE. Es decir, la producción de follaje no se afectó de manera significativa por la exposición de las plantas a las condiciones de intemperie a partir de 32 DDT, pero sí lo fue la producción de fruto.

La aplicación de K en fertirriego no contrarrestó el efecto negativo sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, asociado con la exposición a las condiciones de intemperie todo el ciclo. Esto se ilustra al comparar la dinámica de producción de biomasa aérea entre el Tratamiento 3 (T3) y el Tratamiento 5 (T5), ya que ambos recibieron $200 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$, pero el T3 se cubrió durante todo el ciclo y T5 fue un testigo cultivado a la intemperie (Figura 1).

La dinámica de acumulación de biomasa aérea total (seca) a lo largo del ciclo, en ambos tratamientos, se expresó en la función sigmoideal del modelo logístico. Los modelos matemáticos obtenidos mediante el análisis de regresión se muestran en la Figura 1 (T3: $r = 0.98$, $n = 61$; T5: $r = 0.98$, $n = 17$).

Bustamante-Orañegui *et al.* (1999) reportan reducciones de 89 a 97% en la acumulación de biomasa de jitomate, en respuesta al cultivo a la intemperie. En el presente ensayo se tuvo una pérdida total de la planta en los tratamientos testigo (T5 y T6), cultivados a la intemperie todo el ciclo, aun cuando T5 se fertirrigó con $200 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$.

Las plantas de los tratamientos testigo mostraron síntomas tempranos de “chino”, los cuales se agravaron hasta llegar a la muerte al final del ciclo. Los tratamientos que se cubrieron con agribón por un periodo de sólo 32 días, tuvieron menor incidencia de plantas “chinas” y severidad de daño, en comparación con los tratamientos testigo a la intemperie, pero mayores que en los tratamientos con cubierta todo el ciclo (datos no mostrados). Aparentemente, el problema de virosis fue el causante de las diferencias tan marcadas en producción de biomasa entre las diferentes condiciones, aunque algunos aspectos adicionales relacionados con el microclima se discuten en el apartado correspondiente a rendimiento de fruto.

Cuadro 1. Producción de biomasa aérea (seca) en jitomate (Yaqui), en función de la cubierta con agribón y del K aplicado en fertirriego, en seis etapas de desarrollo.

No.	Tratamiento		Días después del trasplante				
	K ₂ O kg ha ⁻¹	0	27	48	62	90	122
1 †	0	2.5	209 a	1808 a	2947 a	5928 a	4955 b
2 †	100	2.5	177 a	1363 ab	2267 a	5319 a	6007 a
3 †	200	2.5	218 a	1711 ab	2952 a	4981 a	5955 a
4 †	300	2.5	168 a	1304 ab	2536 a	6607 a	6237 a
5 ‡	200	2.5	138 a	738 b	941 b	1598 b	-
6 ‡	0	2.5	108 a	832 b	840 b	1048 b	-
Grupos							
CM-CE §		2.5	193 a	1547 a	2675 a	5709 a	5788 a
CM-I ¶		2.5	197 a	1472 a	2348 a	6139 a	4277 b

En cada columna, valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, P = 0.05).

†Cubierta con agribón durante todo el ciclo. ‡Tratamientos testigo a la intemperie todo el ciclo. §CM = cubierta con minitúnel durante 32 DDT, CE = cubierta elevada, desde 32 DDT hasta la cosecha. ¶CM igual al grupo anterior, I = intemperie. Los valores de CM-CE son la media de cuatro tratamientos (T1-T4) y tres repeticiones, mientras que los del grupo CM-I corresponden a la media de los mismos tratamientos (T1-T4) y una repetición.

Potasio en el Tejido Vegetal

A partir del Muestreo 3 (48 DDT) se presentó una reducción significativa en la concentración de K en los tratamientos testigo, cultivados a la intemperie todo el ciclo (Cuadro 2). Bajo cubierta todo el ciclo, en el último muestreo (122 DDT), los tratamientos con la dosis más baja de K₂O (0 y 100 kg ha⁻¹) tuvieron una concentración en follaje significativamente más baja que los tratamientos con las dosis más altas (200 y 300 kg K₂O ha⁻¹). En el fruto, la tendencia en concentración de K entre tratamientos fue similar a la observada en el follaje, pero las diferencias no fueron significativas

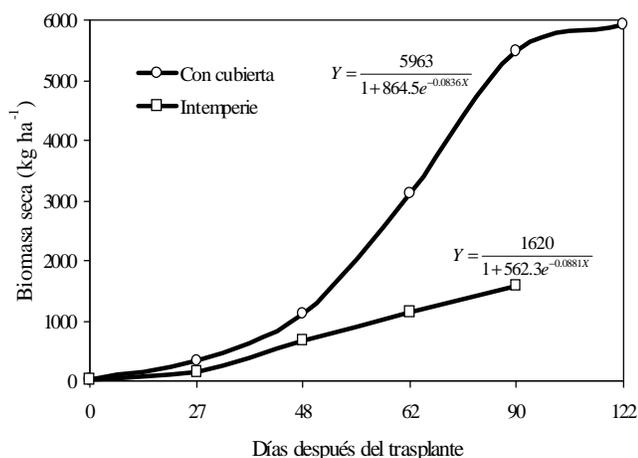


Figura 1. Dinámica de la producción de biomasa aérea (seca) de jitomate (Yaqui) ejemplificada con los tratamientos que recibieron 200 kg de K₂O ha⁻¹ en fertirriego.

(Cuadro 2). La concentración de K en el fruto fue casi el doble de aquella en el follaje.

La concentración de K en el follaje en el Tratamiento 1 disminuyó a menos de 2%, valor señalado como óptimo para jitomate (Leigh y Jones, 1984), en el último muestreo, lo que provocó una reducción significativa en el rendimiento de fruto. Por lo regular, la concentración de K en el follaje se reduce paulatinamente a lo largo del ciclo (Smith y Loneragan, 1997); en el presente ensayo, la reducción en la concentración de K en los dos últimos muestreos fue más marcada en los Tratamientos 1 y 2 (0 y 100 kg K₂O ha⁻¹), lo cual indica que más K se translocó del follaje al fruto, debido probablemente a la menor cantidad de K disponible en la solución del suelo en estos tratamientos (Cuadro 3). Al respecto, Bar-Yosef (1999) señala que es necesario abastecer K de manera continua, incluso hasta el final del ciclo, debido al incremento en su demanda por parte del fruto y a la lenta velocidad de reabastecimiento de K de la fracción intercambiable a la solución del suelo.

El abastecimiento de K en fertirriego no fue suficiente para evitar una reducción drástica en la concentración de K en el follaje en los tratamientos a la intemperie (Cuadro 2), ni la devastación de la planta. Al comparar la concentración promedio de K en follaje y fruto entre los grupos de tratamientos cubiertos por 32 días y durante todo el ciclo, se observó una tendencia hacia concentraciones mayores en el grupo de tratamientos cubiertos todo el ciclo, aunque las diferencias no fueron significativas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración de K en la biomasa aérea de jitomate (Yaqui) en función de la cubierta con agribón y del K aplicado en fertirriego, en seis etapas de desarrollo.

No.	Tratamiento [†] K ₂ O kg ha ⁻¹	Días después del trasplante									
		0	27	48	62	90	122				
		K %						follaje	fruto	follaje	fruto
1	0	3.68	4.44 a	3.63 b	3.02 ab	2.85 a	4.10 a	1.75 b	4.25 a		
2	100	3.68	4.63 a	3.72 b	3.31 a	2.95 a	4.33 a	2.01 b	4.64 a		
3	200	3.68	4.61 a	4.30 a	3.29 a	3.13 a	3.95 a	2.82 a	4.68 a		
4	300	3.68	4.66 a	4.02 ab	3.54 a	2.99 a	4.77 a	3.12 a	4.99 a		
5	200	3.68	4.08 a	2.72 c	2.27 bc	1.63 b	2.06 b	-	-		
6	0	3.68	3.98 a	2.54 c	2.08 c	1.68 b	2.13 b	-	-		
Grupos											
CM-CE§)		3.68	4.59 a	3.92 a	3.29 a	2.98 a	4.21 a	2.43 a	4.64 a		
CM-I)		3.68	4.82 a	3.78 a	3.27 a	2.50 a	3.97 a	2.27 a	4.51 a		

En cada columna, valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, P = 0.05).

[†]Cubierta con agribón durante todo el ciclo. [‡]Tratamientos testigo a la intemperie todo el ciclo. [§]CM = cubierta con minitúnel durante 32 DDT, CE = cubierta elevada, desde 32 DDT hasta la cosecha. [¶]CM igual al grupo anterior, I = intemperie; significa que las plantas estuvieron cubiertas con minitúnel durante 32 DDT después de lo cual estuvieron expuestas a las condiciones de intemperie. Los valores de CM-CE son la media de cuatro tratamientos (T1-T4) y tres repeticiones, mientras que los del grupo CM-I corresponden a la media de los mismos tratamientos (T1-T4) y una repetición.

Concentración de K en el Extracto de Pasta Saturada de Suelo

Sólo en el Muestreo 2, estrato 0-15 cm, se tuvieron diferencias significativas en la concentración de K en el suelo entre tratamientos (Cuadro 3); en dicho muestreo, el tratamiento con la dosis más alta de K aplicado presentó la concentración más alta, mientras que el tratamiento fertirrigado sin K tuvo la concentración más baja (Cuadro 3).

En los tratamientos que recibieron K, especialmente en las dosis más altas, se observó una tendencia hacia concentraciones más altas de K en el estrato superior, en comparación con el estrato subyacente; el tratamiento

fertirrigado sin K presentó una tendencia opuesta, lo cual puede interpretarse como una acumulación del K aplicado en fertirriego, dada su baja movilidad en el suelo (Bar-Yosef, 1999).

En general, las concentraciones de K en el suelo encontradas son superiores a las reportadas por Fassbender (1980) como predominantes en la solución del suelo en suelos de Centroamérica (0.205 a 0.409 me L⁻¹) y en el límite inferior del intervalo de concentraciones de K en la solución del suelo (0.300 a 4.00 me L⁻¹) en suelos de EE. UU., indicados por Parker y Norvell (1999). Estas concentraciones tan bajas de K en la solución del suelo contrastan con valores de K de hasta 400 me L⁻¹ presentes en ciertas condiciones en

Cuadro 3. Concentración de K en el extracto de pasta saturada de suelo en tres épocas de muestreo.

No.	Tratamiento [§] K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Muestreo 1 [†]		Muestreo 2 [‡]		Muestreo 3 [¶]	
		0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
		K (me L ⁻¹)					
1	0	0.56	0.32	0.340 b	0.397 a	0.313 a	0.357 a
2	100	0.56	0.32	0.367 ab	0.377 a	0.430 a	0.413 a
3	200	0.56	0.32	0.467 ab	0.437 a	0.530 a	0.460 a
4	300	0.56	0.32	0.660 a	0.503 a	0.520 a	0.513 a
5	200	0.56	0.32	0.583 ab	0.480 a	0.533 a	0.350 a
6	0	0.56	0.32	0.620 ab	0.483 a	nd	nd
Promedio				0.506	0.446	0.465	0.419

En cada columna, valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, P = 0.05).

[†]Muestreo 1 = Previo al trasplante, Muestreo 2 = 50 DDT, Muestreo 3 = 125 DDT [‡]Cubierta con agribón durante todo el ciclo. [§]Tratamientos testigo a la intemperie todo el ciclo. [¶]nd = no determinado.

algunos compartimentos celulares de las plantas (Dietrich *et al.*, 2001).

Las diferencias relativamente bajas en concentración de K en el extracto de pasta saturada entre los tratamientos bajo cubierta y los testigos a la intemperie todo el ciclo, no reflejan las grandes diferencias en rendimiento de fruto o producción total de biomasa entre ambas condiciones.

Rendimiento y Dosis Óptima Económica de K₂O

El rendimiento de fruto se afectó de manera significativa por el tiempo de cobertura, ya que el grupo de tratamientos con cubierta todo el ciclo (minitúnel más cubierta elevada), rindió, en promedio, 80% más que el grupo con cubierta por 32 días solamente (en minitúnel) y 28 veces más que los testigos a la intemperie todo el ciclo (Figura 2).

En el presente estudio el efecto positivo del aislamiento físico de vectores los primeros 32 días después del trasplante, debido a la cubierta en minitúnel, se reflejó en un incremento significativo en el rendimiento, en comparación con los testigos cultivados a la intemperie todo el ciclo (Figura 2). El uso de cubiertas temporales para aislar a las plantas de los vectores de virus, durante las etapas iniciales después del trasplante, se reporta como una alternativa para retardar el proceso de infección por virus y minimizar pérdidas en varios cultivos hortícolas (Natwick y Durazo, 1985; Perring *et al.*, 1989; Natwick y Laemmlen, 1993; Orozco-Santos *et al.*, 1995).

El incremento adicional en rendimiento que se logró con la cubierta elevada no puede explicarse por la exclusión física de vectores de virus, dado que el perímetro del área cubierta permaneció abierto. En este caso, el incremento en rendimiento parece estar asociado a dos factores: a) mejoramiento del microclima provocado por el sombreado, ya que la humedad relativa durante el día en esta condición fue siempre mayor que a la intemperie, y b) menores poblaciones de mosquita blanca respecto a la intemperie, como se reflejó en el menor número de individuos atrapados en esta condición, en trampas amarillas.

Algunos autores reportan efectos negativos en jitomate derivados de la cubierta temporal con agribón, al comparar con rendimientos a la intemperie (Perry y Sanders, 1986; Reiners *et al.*, 1997); otros reportan una baja respuesta en rendimiento a la cubierta con agribón, respecto al cultivo a la intemperie, en pepino

(Ibarra-Jiménez *et al.*, 2004) y melón (Orozco-Santos *et al.*, 1995).

La afectación drástica al rendimiento que se tuvo en el presente ensayo en el cultivo a la intemperie, podría explicarse por la combinación de mayores problemas de virosis y por las condiciones ambientales climáticas restrictivas en el periodo en que se desarrolló el estudio, caracterizado por una temperatura máxima media de 34.8 °C y humedad relativa mínima media de 25.2%.

La aplicación de K en fertirriego incrementó significativamente el rendimiento cuando se combinó con la cubierta de agribón durante todo el ciclo (Figura 2). No ocurrió así cuando se adicionó K en fertirriego y las plantas se mantuvieron siempre a la intemperie, como fue el caso del Tratamiento 5, el cual recibió 200 kg ha⁻¹ de K y no se cubrió con agribón (Figura 2). Esto indica que el fertirriego con K no logró contrarrestar los problemas asociados con el cultivo de jitomate a la intemperie.

La respuesta a la adición de K en la condición de cubierta todo el ciclo tuvo una forma cuadrática, y el modelo matemático (CME = 34.796, Prob. F < 0.0001, R² = 0.88), sin incluir las repeticiones, dado que en el análisis de varianza no se encontró diferencia significativa entre ellas, fue:

$$\text{Rend. (t ha}^{-1}\text{)} = 48.996 + 0.38277 \text{ K}_2\text{O} - 0.000981 (\text{K}_2\text{O})^2.$$

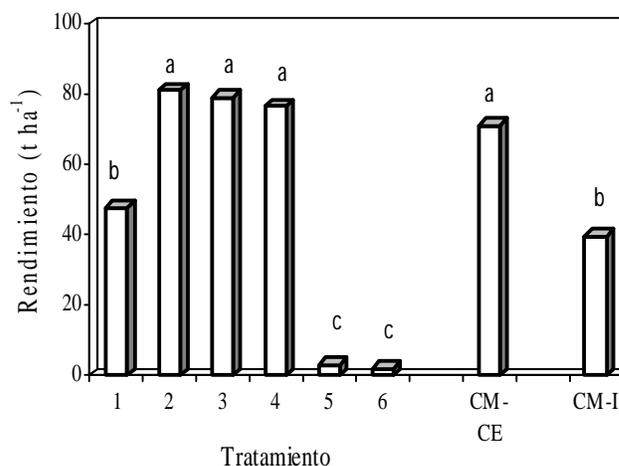


Figura 2. Efecto de la cubierta con agribón y de la dosis de K en fertirriego sobre el rendimiento de jitomate (Yaqui).

Entre tratamientos y entre grupos, barras con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, P = 0.05).

† 1 a 4 = 0, 100, 200 y 300 kg ha⁻¹ de K₂O, cubiertos con agribón; 5 = 200 kg ha⁻¹ de K₂O, aplicados con fertirriego; y 6 = sin K₂O y riego por surcos. CM = cubierta con minitúnel por 32 DDT, CE = cubierta elevada a partir de 32 DDT, I = intemperie.

Con este modelo se alimentó un programa de métodos numéricos en SAS, considerando un precio de venta del fruto de \$7.00 por kg y \$10.00 por kg de K₂O, lo cual arrojó una dosis óptima económica de 190 kg ha⁻¹ de K₂O.

CONCLUSIONES

La combinación de cubierta con agribón en minitúnel, por 32 días a partir del trasplante, y cubierta elevada hasta el final del ciclo, permitió incrementar significativamente el rendimiento con respecto a la cubierta tradicional sólo en minitúnel, debido, en apariencia, al mejoramiento en el microambiente provocado por el sombreado. El fertirriego con K ayudó a mantener concentraciones adecuadas de K en el follaje y en la solución del suelo, lo que se reflejó en una respuesta positiva significativa en los tratamientos cubiertos todo el ciclo; sin embargo, no evitó los efectos adversos asociados a la exposición de las plantas a condiciones de intemperie.

LITERATURA CITADA

- Alcántar-González, G. y M. Sandoval-Villa. 1999. Manual de análisis químico vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Assman, S. M. and K-i Shimazaki. 1999. The multisensory guard cell. Stomatal responses to blue light and abscisic acid. *Plant Physiol.* 119:809-815.
- Bar-Yosef, B. 1999. Advances in fertigation. *Adv. Agron.* 65: 1-77.
- Bustamante-Orañegui, J. de D., V. A. González-Hernández, M. Livera-Muñoz y E. Zavaleta-Mejía. 1999. Cambios fisiológicos y microclimáticos inducidos en jitomate por una cubierta flotante. *Agrociencia* 33: 31-39.
- Díaz-Balderas, V., S. Aspiroz-Rivero, C. Flores-Revilla y V. Montero-Tavera. 2001. Etiología de la enfermedad "chino del jitomate" (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y alternativas de control en el estado de Morelos. Libro Técnico No. 2. Campo Experimental Zacatepec. CIR-Centro. INIFAP. SAGARPAZacatepec, Morelos.
- Dietrich, P., D. Sanders, and R. Hedrich. 2001. The role of ion channels in light-dependent stomatal opening. *J. Exp. Bot.* 52:1959-1967.
- Fassbender, H. W. 1980. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. IICA. San José, Costa Rica.
- Fischer, R. A. and T. C. Hsiao. 1968. Stomatal opening in isolated epidermal strips of *Vicia faba*. II. Responses of KCl concentration and the role of potassium absorption. *Plant Physiol.* 43:1953-1958.
- Freund, J. R. and R. C. Littell. 1991. SAS system for regression. SAS Institute. 2nd ed. Cary, NC, USA.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 3a ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Ibarra-Jiménez, L., M. R. Quezada-Martín, and M. de la Rosa-Ibarra. 2004. The effect of plastic mulch and row covers on the growth and physiology of cucumber. *Aust. J. Exp. Agric.* 44:91-94.
- Leigh, A. R. and R. G. W. Jones. 1984. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytol.* 97:1-13.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. London, UK.
- Martínez-Garza, A. 1988. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Trillas. México, D.F.
- Natwick, E. T. and A. Durazo. 1985. Polyester covers protect vegetable from whiteflies and virus disease. *Calif. Agric.* 39: 21-22.
- Natwick, E. T. and F. F. Laemmlen, 1993. Protection from phytophagous insects and virus vectors in honeydew melons using row covers. *Fla. Entomol.* 76:120-126.
- Netting, A. G. 2000. pH, abscisic acid and the integration of metabolism in plants under stressed and non-stressed conditions: cellular responses to stress and their implication for plant water relations. *J. Exp. Bot.* 51:147-158.
- Orozco Santos, M., O. Pérez-Zamora, and O. López-Arriaga. 1995. Floating row cover and transparent mulch to reduce insect populations, virus diseases and increase yield in cantaloupe. *Fla. Entomol.* 78: 493-501.
- Orozco-Santos, M., O. López-Arriaga, O. Pérez-Zamora, and F. Delgadillo-Sánchez. 1994. Effect of transparent mulch, floating row covers and oil sprays on insect populations, virus diseases and yield of cantaloupe. *Biol. Agric. Hortic.* 10:229-234.
- Parker, D. R. and W. A. Norvell. 1999. Advances in solution culture methods. *Adv. Agron.* 65:151-213.
- Perry, K. B. and D. C. Sanders. 1986. Tomato yield as influenced by plant protection system. *HortScience* 21:238-239.
- Perring, T. M., R. N. Royalty and Ch. A. Farrar. 1989. Floating row covers for the exclusion of virus vectors and the effect on disease incidence and yield of cantaloupe. *J. Econ. Entomol.* 82:1709-1715.
- Ramírez-Rojas, S., A. Salazar-Pedroza y T. Nakagome. 2001. Manual de plagas y enfermedades del jitomate, tomate de cáscara y cebolla en el estado de Morelos. Campo Experimental Zacatepec. Publicación Especial No. 28. SAGARPA. INIFAP. JICA. Zacatepec, Mor.
- Reiners, S., P. J. Nitzsche, and W. H. Tietjen. 1997. Rowcover-removal timing affects yield of tomatoes planted on fall-prepared beds. *HortTechnology* 7: 426-429.
- Smith, F. W. and J. F. Loneragan. 1997. Interpretation of plant analysis. Concepts and principles. pp. 3-33. In: D. J. Reuter and J. B. Robinson (eds.). Plant analysis, an interpretation manual. 2nd ed. CSIRO Publishing. Collingwood, VIC, Australia.
- Takanami Y., S. Ramírez R., and M. Oniki. 1998. Detection of geminivirus from several plants in Morelos State, México. *Ann. Phytopath. Soc. Jpn.* 64: 589.