



RENDIMIENTO DE VARIEDADES DE PEPINO BAJO DIFERENTES CUBIERTAS DE ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN

YIELD OF CUCUMBER VARIETIES UNDER DIFFERENT COVERS OF PROTECTIVE STRUCTURES

Cirenio Escamiroso-Tinoco, Gabriela Bautista-Bautista, Gabino Alberto Martínez-Gutiérrez e Isidro Morales-García^{1*}

Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

*Autor de correspondencia (imoralesg@ipn.mx)

RESUMEN

En México, el pepino (*Cucumis sativus* L.) es la segunda hortaliza más producida en agricultura protegida. En el sur del país, los bajos precios del tomate (*Solanum lycopersicum*) durante dos a tres meses reducen su rentabilidad, abriendo una ventana de oportunidad para el cultivo de pepino. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes cubiertas de estructuras de protección sobre el comportamiento del microclima, crecimiento y rendimiento de dos variedades de pepino en dos ciclos de cultivo. Los factores evaluados fueron: A) estructuras de protección (invernadero convencional con cubierta plástica, macrotúnel con cubierta de plástico y macrotúnel con cubierta de malla), B) variedades de pepino (Braganza y Távira), y C) ciclos de cultivo (primavera-verano y otoño-invierno). Se evaluaron variables microclimáticas, altura de la planta, grosor del tallo y rendimiento. En los dos ciclos de cultivo, las mejores condiciones microclimáticas para el crecimiento de las plantas de pepino se presentaron en macrotúnel con cubierta de malla y en invernadero con cubierta plástica. El mayor rendimiento lo obtuvo la variedad Braganza con 17.06 kg m⁻² en el macrotúnel con cubierta de malla en primavera-verano, mientras que en otoño-invierno el mayor rendimiento (10.28 kg.m²) se obtuvo en el invernadero con cubierta plástica y el macrotúnel con cubierta de malla sin mostrar diferencias significativas entre variedades y estructuras de protección. Ambas variedades, Braganza y Távira, son viables para su cultivo bajo estructuras de protección, y la elección del tipo de cubierta dependerá del ciclo de cultivo.

Palabras clave: Agricultura protegida, crecimiento, microclima, pepino, producción.

SUMMARY

In Mexico, cucumber (*Cucumis sativus* L.) is the second most produced vegetable under protected agriculture. In Southern Mexico, low prices for two to three months reduce tomato (*Solanum lycopersicum*) profitability, creating an opportunity for cucumber cultivation. The aim of this study was to evaluate the effect of different covers of protective structures on the behavior of microclimate, as well as on growth and yield of two cucumber varieties in two growing cycles. The factors evaluated were: A) protective structures (conventional greenhouse with plastic cover, macro-tunnel with plastic cover and macro-tunnel with mesh cover), B) cucumber varieties (Braganza and Távira), and C) growing cycles (Spring-Summer and Autumn-Winter). Microclimatic variables, as well as plant height, stem thickness and yield were evaluated. In both growing cycles, the best microclimatic conditions for the

growth of cucumber plants were found in macro-tunnel with mesh cover and in conventional greenhouse with plastic cover. The highest yield was obtained by the Braganza variety with 17.06 kg m⁻² in the macro-tunnel with mesh cover during Spring-Summer, while in Autumn-Winter the highest yield (10.28 kg m⁻²) was obtained in the conventional greenhouse with plastic cover and the macro-tunnel with mesh cover with no significant differences between varieties and protective structures. Both varieties, Braganza and Távira, are viable for cultivation under protective structures, and the choice of cover will depend on the growing cycle.

Index words: Cucumber, growth, microclimate, production, protected agriculture.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 10 años, la superficie con agricultura protegida en México ha crecido de forma sostenida, pasando de 42,000 ha en 2015 a 78,000 en 2025. Las principales especies vegetales cultivadas bajo este sistema son: tomate, pepino, pimiento (*Capsicum annuum*), berries y flores (SIAP, 2025). La mayor parte de la producción de *C. sativus* en México se realiza en invernaderos de media y alta tecnología, concentrándose el 51 % en los estados de Sinaloa, Sonora y Michoacán; en los dos primeros estados los rendimientos son superiores a 90 t ha⁻¹; en contraste, en Oaxaca únicamente se obtienen en promedio 41.40 t ha⁻¹ (SIAP, 2025), lo cual es atribuible al limitado acceso de nuevas tecnologías.

Bajo este panorama, el tomate se cultiva todo el año bajo estructuras de protección, presentando períodos cíclicos de precios bajos (Sánchez *et al.*, 2006) donde no es rentable su cultivo; por lo general estos periodos son cortos y oscilan entre tres y cuatro meses, tiempo en que los invernaderos están sin utilizar; por esta razón, la mayoría de los productores de tomate del sur de México optan por cultivar pepino como hortaliza de ciclo relativamente corto.

Por otra parte, la elección del tipo de cubierta (polietileno transparente, policarbonato, malla, etc.) depende de las condiciones ambientales de la región, ya que modifica la cantidad y calidad de la radiación fotosintéticamente activa que llega a las plantas y altera el microclima, lo cual influye directamente en la polinización, incidencia de enfermedades fúngicas, consumo hídrico, y por consiguiente, en el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Nair y Ngouajio, 2010; Shamshiri *et al.*, 2018).

Las bondades de producir hortalizas bajo diferentes cubiertas en estructuras de protección son diversas, Zermefio *et al.* (2019) cultivaron chile poblano bajo cubierta de policarbonato traslúcidos y de polietileno difuso de alta densidad. En las dos cubiertas, las plantas recibieron mayor radiación fotosintéticamente activa (RFA), produciendo mayor número de frutos por planta, frutos con mayor peso y rendimiento que el obtenido en las plantas con policarbonato rojo. También, Ramos-López *et al.* (2017), al utilizar una estructura de protección tipo macrotúnel con cubierta de polietileno transparente, aumentaron en 114 % la eficiencia en el uso del agua y en 158 % el rendimiento de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) cultivar Rendidora respecto al obtenido bajo la cubierta de polietileno blanco. En el mismo tenor, Escamirosa-Tinoco *et al.* (2021) reportaron en fruto de chile de agua mayor rendimiento en macrotúnel con cubierta de plástico transparente, superior en 66.4 y 55.3 % al obtenido en macrotúnel con cubierta de malla durante los ciclos O-I y P-V, respectivamente. Por su parte, Hashem *et al.* (2011) indicaron que al utilizar cubiertas de malla blanca y polietileno blanco se incrementó la temperatura del aire, la humedad relativa y la evapotranspiración de la planta de pepino, alcanzando mayor crecimiento, rendimiento y eficiencia en el uso del agua. En este sentido, las características de las cubiertas plásticas afectan el crecimiento y rendimiento de los cultivos; por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar diferentes cubiertas de estructuras de protección y su efecto en variables microclimáticas y agronómicas de dos variedades de pepino en dos ciclos de cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se realizó en el campo experimental del CIIDIR, Unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (17° 1' 31" LN, 96° 43' 11" LO, altitud 1530 msnm), del 16 de marzo al 10 de junio de 2023 (ciclo primavera-verano) y del 18 de octubre de 2023 al 18 de enero del 2024 (ciclo otoño-invierno). El cultivo se estableció en suelo, tanto al agua como al suelo se les realizaron análisis fisicoquímicos para verificar ajuste a la norma mexicana NOM-021-

RECENAT-200 (SEMARNAT, 2001) y los resultados se utilizaron para realizar el balance iónico de la solución nutritiva de acuerdo con Steiner (1961).

Tratamientos y diseño experimental

Las estructuras de protección fueron: 1) invernadero con cubierta plástica transparente (ICP) de 180 µm de espesor, 2) macrotúnel con cubierta de plástico blanco (MCP) de 180 µm de espesor y 20 % de sombreo, y 3) macrotúnel con cubierta de malla blanca (MCM) de 50 mesh y 35 % de sombreo, y dos variedades de pepino: Braganza (Enza Zaden®) y Tavira (Bejo®) en dos ciclos de cultivo; primavera-verano y otoño-invierno. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con arreglo factorial 3 × 2 × 2 y cuatro repeticiones, la unidad experimental fue un grupo de cinco plantas.

Manejo del cultivo

La germinación de las semillas se hizo en charolas plásticas de 24 cavidades de 50 cm³ en cada alveolo, utilizando como sustrato turba (Sunshine®) y perlita (Multiperl®) en proporción 70:30 v/v. Las plántulas se trasplantaron a los 25 días después de la siembra en camas cubiertas con acolchado plástico bicolor negro/plata, con el color plata hacia arriba, a una densidad de 2.4 plantas m⁻².

Para la nutrición del cultivo se utilizó solución nutritiva de Steiner (1961) que contenía 9, 4, 7, 7, 12 y 1 meq L⁻¹ de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻ y H₂PO₄⁻, respectivamente, que fueron proporcionados con Ca(NO₃)₂ · 4H₂O, KNO₃, MgSO₄ · 7H₂O y KH₂PO₄. El fertirriego se aplicó mediante cintilla Ro Drip marca Toro® (México) y se realizó tres veces al día, a las 09:00, 12:00 y 17:00 horas para el ciclo primavera-verano y a las 09:00 y 14:00 horas para el ciclo otoño-invierno, con tiempo de riego de 20 min y caudal de gotero de 1.6 L h⁻¹, proporcionando un volumen estimado de 533 mL. La prevención y el control de plagas y enfermedades se hicieron con productos biológicos y el control de malezas de forma manual.

Registro del microclima en las estructuras de protección

Durante los dos ciclos del cultivo se registró cada 5 min la temperatura (°C) y la humedad relativa ambiental (%), utilizando sensores (Hobo® Pro V2 data logger, Onset Computer Corporation, Bourne, Massachusetts, EUA) instalados en la parte central del interior de cada estructura de protección a una altura de 0.70 m respecto al nivel del suelo. Con los datos de temperatura y humedad relativa media diurna se calculó el diferencial de presión de vapor

(DPV) mediante la ecuación de Rosenberg *et al.* (1983). La radiación fotosintéticamente activa (RFA) se midió en el interior de cada estructura de protección utilizando un sensor lineal cuántico (MQ-300, Apogee Instruments Inc., Logan, Utah, EUA), cada 2 horas, de las 07:00 a las 19:00 horas dos días por semana.

Variables respuesta del cultivo

A los 70 días después del trasplante, se midió la altura de la planta (cm) y el diámetro del tallo (mm) con una cinta métrica flexible y un vernier digital (Truper®, México), respectivamente. Los frutos fueron recolectados dos veces por semana durante seis semanas en cada ciclo de cultivo cuando presentaron madurez fisiológica y alcanzaron tamaños de 24 a 26 cm y de 32 a 36 cm de longitud para la variedad Távira y Braganza en el mismo orden. El peso del fruto (g) se obtuvo con una balanza analítica digital (Mettler Toledo®, Columbus, Ohio, EUA) y el rendimiento total, como la sumatoria de los cortes en cada ciclo de cultivo.

Análisis estadístico

Los datos climáticos se analizaron con el software Microsoft Excel® 2024 versión 2410. A las variables altura, diámetro de tallo, rendimiento y calidad de fruto se les verificó la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. Posteriormente, se realizó análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Los análisis se realizaron con el software SAS® 9.1 (SAS Institute, 2004)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura en el ciclo P-V fue superior a la del ciclo O-I (Figura 1A). El promedio de las temperaturas diurnas en el ciclo P-V fue de 35.18 y 33.18 °C dentro del ICP y MCP, superiores a la temperatura del MCM. Para el ciclo O-I, la mayor temperatura diurna fue en el ICP con 26.82 °C, superior a las registrados en los macrotúneles con cubierta de plástico y malla, donde se registraron 24.11 y 22.31 °C respectivamente (Figura 1B). Al respecto, Aparna *et al.* (2023) indicaron que el intervalo óptimo de temperatura para el crecimiento de pepino es de 25-30 °C durante el día; por lo tanto, para el ciclo P-V el MCM fue el que alcanzó este intervalo de valores, mientras que para el ciclo O-I se obtuvo en el interior del ICP.

La humedad relativa del ciclo P-V en el interior del ICP fue de 55 %, superior a lo obtenido en el MCP y al MCM, donde se registró en promedio 40.5 % (Figura 1C). Para el ciclo O-I, en el interior de las tres estructuras de protección, el valor promedio de humedad relativa fue de 52.90 % (Figura 1D) y el máximo valor se obtuvo de las 7:00 a las 10:00 horas con

80 %. Al respecto, Hernández *et al.* (2017) señalaron que el intervalo óptimo de humedad relativa para la producción de hortalizas bajo invernadero es diferente en cada especie y se encuentra entre 50 y 70 %, mientras que Valdez-Aguilar *et al.* (2024) indicaron que la humedad relativa para el cultivo de pepino bajo invernadero de baja tecnología es en promedio del 65 % y que este valor debe estar asociado con valores altos de conductividad eléctrica de la solución nutritiva. Por lo anterior, los niveles de humedad relativa obtenidos bajo las tres cubiertas de protección del presente estudio solo se cumplen durante las primeras horas de la mañana, de 7:00 a 9:00 horas para P-V y de 9:00 a 10:00 horas para O-I, por lo cual, probablemente el rendimiento de pepino no sea el óptimo deseado.

El déficit de presión de vapor (DPV) en el ciclo P-V fue mayor en el ICP, mientras que los MCP y MCM se comportaron de forma similar. En el ICP, los máximos valores se registraron entre las 11:00 y 16:00 horas, cercanos a 8 y 6 kPa, (Figura 1E). Para el ciclo O-I, los valores de DPV fueron similares en todas las estructuras de protección de las 8:00 a las 11:00 horas y de las 14:00 a las 18:00 horas. El máximo valor medio diurno del DPV bajo las estructuras de protección se alcanzó entre las 12:00 y 16:00 horas, siendo mayor en el interior del ICP con 7.52 kPa para el ciclo P-V, seguido por el MCP con 6.25 kPa (Figura 1F). De acuerdo con Shamshiri *et al.* (2018), el intervalo óptimo para cultivos en invernadero es de 1.13 a 2.25 kPa, registrado en el presente estudio en las primeras horas de la mañana y en la tarde, mientras que a medio día posiblemente algunos procesos fisiológicos como la transpiración y fotosíntesis pueden verse afectados (Serrano-Pérez y Sandoval-Villa, 2023).

En P-V, el mayor flujo de RFA se registró a las 13:00 horas y fue en el MCM con $1772 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, superando al ICP en 100 % ($887 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 2A). En el ciclo O-I, como era de esperarse, la RFA transmitida fue menor que la obtenida en el ciclo P-V (Figura 2B). Al respecto, Ramos-López *et al.* (2017), al evaluar el rendimiento de tomate de cáscara en macrotúneles con cubiertas de plásticos transparente y verde obtuvieron valores promedio de RFA de $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, el cual es similar al obtenido en el presente estudio.

En el ciclo P-V, en todas las estructuras de protección la altura de la planta fue 7 % mayor que en O-I (Cuadro 1). En ambos ciclos las plantas alcanzaron mayor altura en ICP con la variedad Távira y Braganza (275.50 y 262.5 cm en P-V; 260.50 y 251.50 cm en O-I respectivamente); sin embargo, entre variedades no se encontraron diferencias significativas para esta misma variable. Lo anterior es evidencia que las plantas que crecen en condiciones de baja radiación, como en ICP, desarrollan mayor altura para captar mejor la luz (Khan *et al.*, 2025).

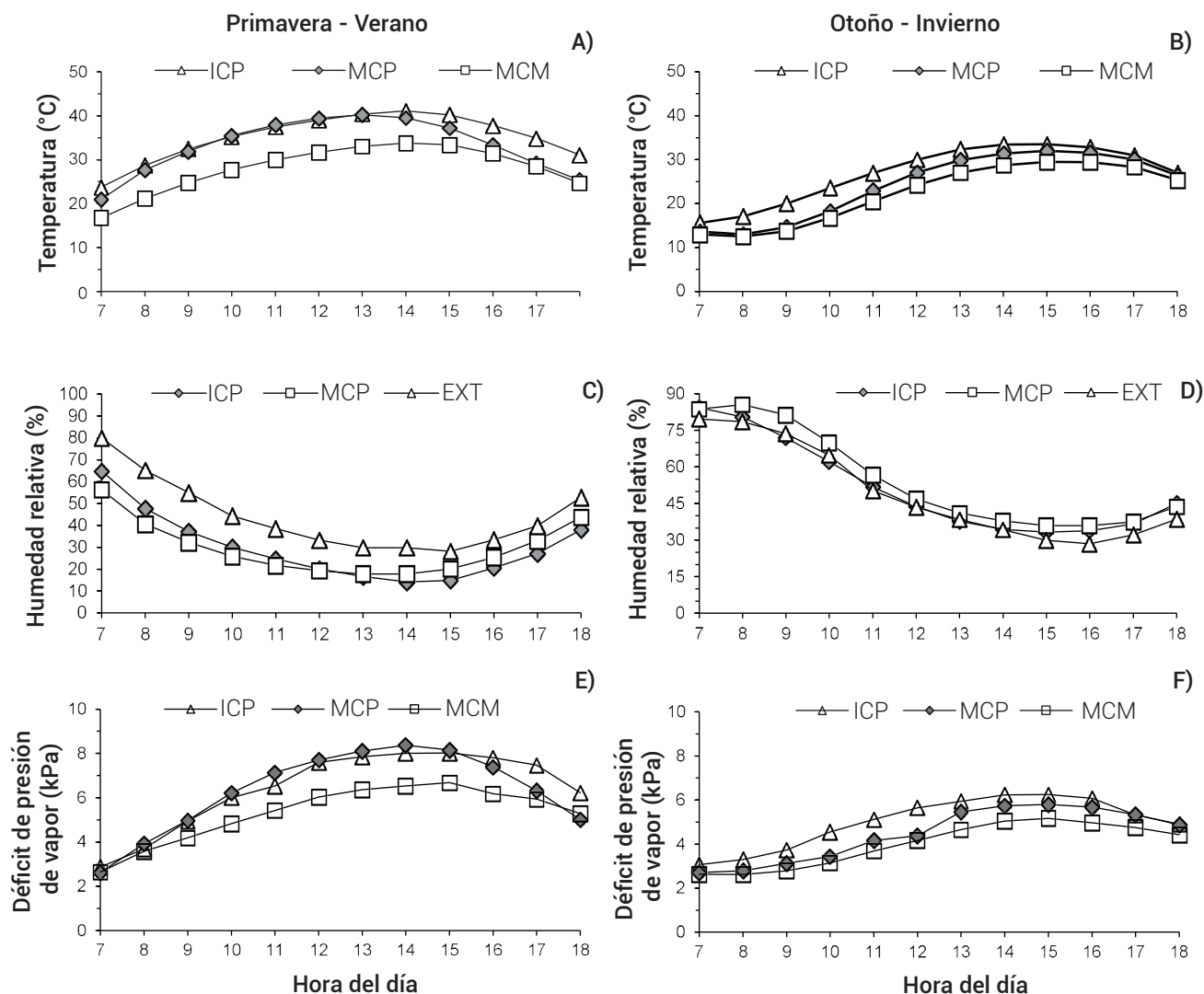


Figura 1. Comportamiento de la temperatura (A y B), humedad relativa (C y D) y déficit de presión de vapor (E y F) en el interior de las estructuras de protección. ICP : invernadero con cubierta plástica, MCP : macrotúnel con cubierta plástica, MCM: macrotúnel con cubierta de malla.

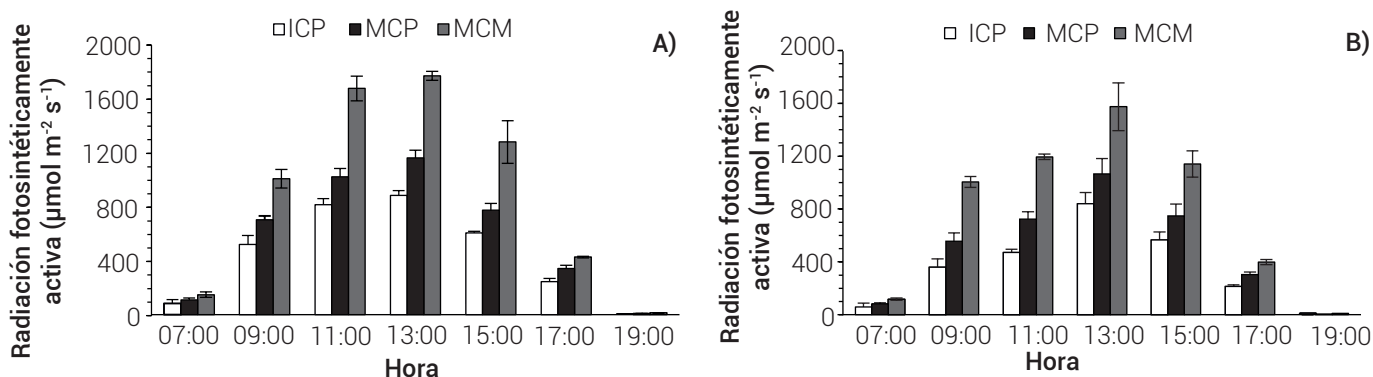


Figura 2. Radiación fotosintéticamente activa en el interior de las estructuras de protección en A) ciclo primavera-verano y B) ciclo otoño-invierno. Promedio de cinco mediciones $\pm$ error estándar por cada 2 h del día. ICP : invernadero con cubierta plástica, MCP : macrotúnel con cubierta plástica, MCM: macrotúnel con cubierta de malla.

Cuadro 1. Variables morfológicas y rendimiento de variedades de pepino (*C. sativus*).

Estructura de protección	Variedad	Altura de planta (cm)		Diámetro de tallo (mm)		Rendimiento (kg m ⁻²)	
		P-V	O-I	P-V	O-I	P-V	O-I
Invernadero con cubierta plástica	Braganza	262.5 ab A	251.50 a B	18.25 ab A	15.95 a A	13.88 b A	8.34 b B
	Tavira	275.50 a A	260.50 a A	17.01 b A	15.35 ab B	14.01 b A	10.33 a B
Macrotúnel con cubierta plástica	Braganza	238.75 bc A	184.01 bc B	17.9 ab A	12.55 cd B	12.34 b A	9.81 a B
	Tavira	232.54 cd A	197.51 bc B	18.85 a A	11.51 d B	13.35 b A	10.38 a B
Macrotúnel con cubierta de malla	Braganza	217.00 cd A	170.75 c B	18.85 a A	13.67 bc B	17.06 a A	8.96 ab B
	Tavira	208.51 d A	204.54 b A	17.75 ab A	12.81 cd B	16.04 a A	8.43 b B
CV (%)		12.48	14.01	8.63	10.22	15.12	11.23

P-V: primavera-Verano, O-I: otoño-invierno, CV: coeficiente de variación. Letras minúsculas comparan de forma vertical; letras mayúsculas comparan de forma horizontal. Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

En el ciclo P-V el mayor diámetro del tallo se obtuvo en el MCP y MCM, ambos con 18.85 mm y fueron significativamente diferentes del ICP con 17.01mm, siendo este el valor más bajo. Por el contrario, en el ciclo en O-I, el mayor diámetro del tallo se alcanzó bajo el ICP con 15.95 mm, mientras que el menor valor de 11.51 mm se registró en el MCM, existiendo diferencias significativas entre ambas. Al comparar los ciclos de cultivo, el diámetro del tallo fue superior en P-V (18.85 mm) en relación con el máximo alcanzado en O-I (15.95 mm), este mayor diámetro del tallo en MCP y MCM durante P-V podría atribuirse a las mejores condiciones climáticas registradas en ese periodo (Figura 2), las cuales favorecieron la tasa fotosintética y el crecimiento del tallo. De acuerdo con Zuñiga-Sánchez *et al.* (2017), un tallo grueso es un sistema vascular sólido que promueve y mejora una ruta eficiente para transportar nutrientes, agua y diversas moléculas, además de garantizar la comunicación entre los diferentes órganos de la planta y el soporte mecánico, lo cual repercutirá en mayor rendimiento.

No se encontraron diferencias significativas para el rendimiento entre variedades, con valores de 17.06 y 16.04 kg m⁻² para Braganza y Tavira, respectivamente (Figura 3A). El máximo rendimiento (17.06 kg·m⁻²) se obtuvo en el MCM en el ciclo P-V y el menor rendimiento de 8.25 kg m⁻² en la misma estructura de protección pero en el ciclo de cultivo de O-I (Figura 3B). En el ciclo de cultivo P-V se obtuvieron los mayores rendimientos en las dos variedades evaluadas con 14.44 kg m⁻², significativamente diferentes con respecto al ciclo O-I, donde se alcanzó un rendimiento de 9.3 kg m⁻². El análisis del rendimiento por

estructura de protección indicó que el macrotúnel con cubierta de malla y el invernadero con cubierta plástica tuvieron los mayores rendimientos (16.55 y 13.94 kg m⁻², respectivamente) durante el ciclo P-V. Al respecto, López-Elías *et al.* (2011) obtuvieron entre 15 y 16 kg m⁻² con pepino de tamaño mediano cultivados en invernadero con calefacción, mientras que Meneses-Fernández y Quesada Roldán (2018) con pepinos de frutos largos alcanzaron rendimientos de 16 a 17 kg m⁻², similares a los obtenidos en el presente estudio bajo el MCP y MCM en el ciclo P-V. Por su parte, Liu *et al.* (2022) obtuvieron rendimientos de 30 kg m⁻² en el ciclo P-V y de 18.5 kg m⁻² en O-I en invernaderos de alta tecnología, los cuales son superiores a los obtenidos en este estudio cultivados en estructuras de protección de baja tecnología.

El rendimiento de las plantas de pepino bajo las estructuras de protección mostró un aumento lineal en función del DPV (R^2 de 0.93 y 0.90 para P-V y O-I, respectivamente) y de la RFA (Figura 4). En los dos ciclos de cultivo, el DPV del MCM mostró el valor más bajo (Figura 4A); contrariamente, los valores de RFA fueron los más altos (Figura 4B), lo que sugiere que el microclima generado en esta EP tuvo impacto positivo en el desarrollo y rendimiento. Diversos autores han señalado que la temperatura y humedad relativa afectan la actividad enzimática de las plantas, lo que determina la eficiencia de procesos como la fotosíntesis y la respiración, que pueden tener un gran efecto en el desarrollo de las plantas, la floración y el crecimiento de los frutos, y consecuentemente, en el aumento del rendimiento (Calero *et al.*, 2023; Cázares-Flores *et al.*, 2023).

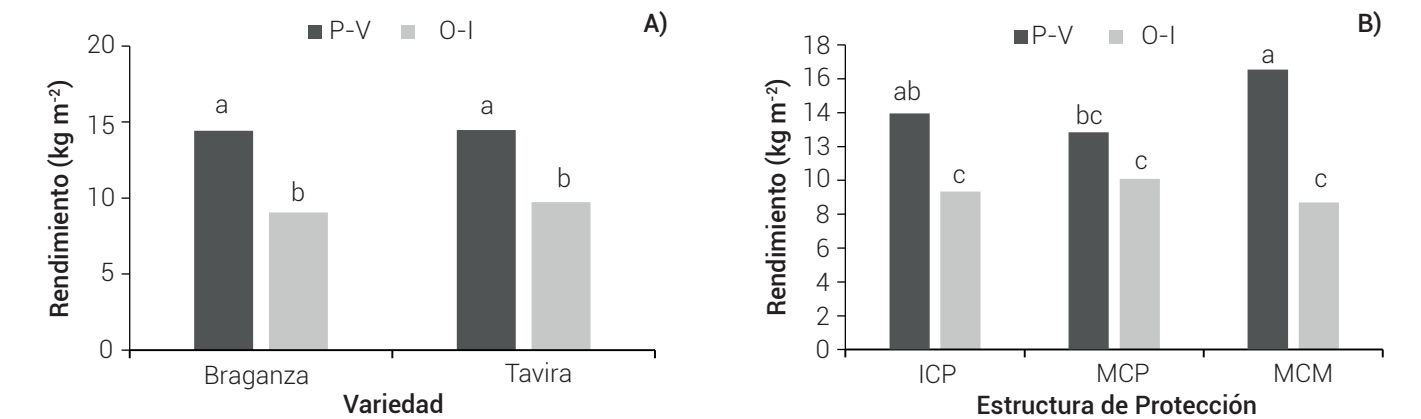


Figura 3. Rendimiento de pepino (*C. sativus*) en dos ciclos de cultivo. A) variedades, B) estructuras de protección. P-V: primavera-verano, O-I: Otoño-Invierno, ICP: invernadero con cubierta plástica, MCP: macrotúnel con cubierta plástica, MCM: macrotúnel con cubierta de malla. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

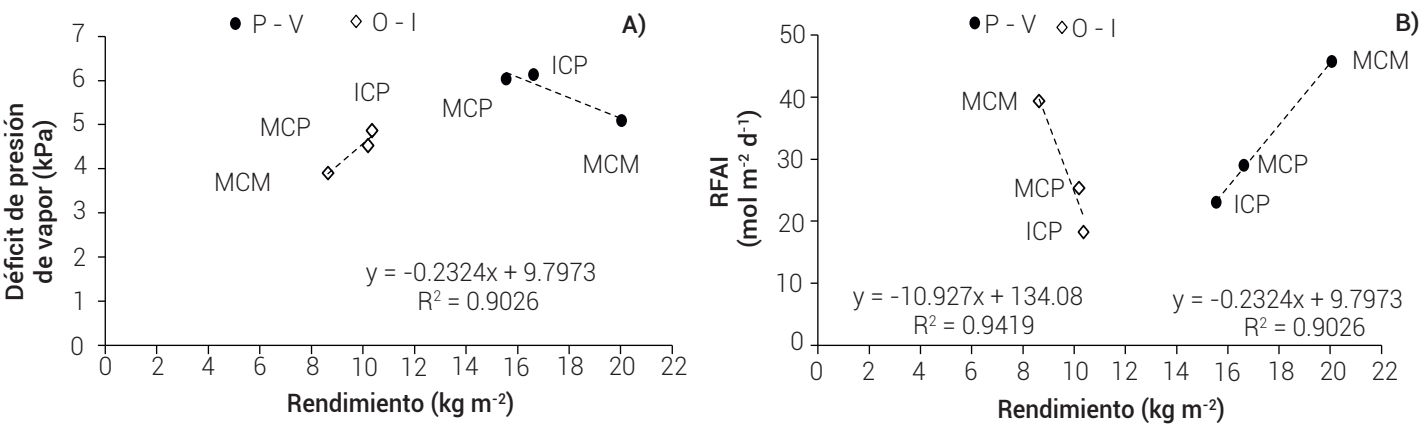


Figura 4. Relación entre el rendimiento de pepino y A) déficit de presión de vapor (DPV), B) radiación fotosintéticamente activa integrada (RFAI) en las estructuras de protección evaluadas en dos ciclos de cultivo. ICP: invernadero con cubierta plástica, MCP: macrotúnel con cubierta plástica, MCM: macrotúnel con cubierta de malla.

En el interior de las estructuras de protección, las condiciones ambientales variaron de acuerdo con el tipo de cubierta y ciclos de cultivo. En primavera-verano, bajo el macrotúnel con cubierta de malla, la temperatura promedio fue menor que en las otras dos cubiertas, pero la radiación fotosintéticamente activa fue mayor, al igual que la altura de la planta y el diámetro del tallo. En otoño-invierno, las condiciones ambientales bajo el invernadero con cubierta plástica fueron más favorables que en las otras dos cubiertas. Al interior de las tres cubiertas y en los dos ciclos de cultivo, los valores de la humedad relativa y del déficit de presión de vapor fueron inestables y estuvieron cercanos al nivel recomendado para el cultivo de pepino bajo invernadero. No se encontraron diferencias significativas para rendimiento entre las dos variedades

de pepino evaluadas en ambos ciclos de cultivo. El mayor rendimiento de pepino fue de 17.06 kg m⁻² y se obtuvo en el macrotúnel con cubierta de malla en primavera-verano, mientras que en otoño-invierno en el invernadero con cubierta plástica y macrotúnel con cubierta de malla el rendimiento fue de 10.28 kg m⁻². En los dos ciclos de cultivo el déficit de presión de vapor y la radiación fotosintéticamente activa mostraron correlación positiva con el rendimiento del pepino.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo económico otorgado al proyecto SIP 20240578 y al CONAHCYT, ahora SECIHTI, por la beca 1273988 otorgada

para estudio del programa de Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales en el CIIDIR-IPN-Oaxaca.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparna A. Skarzyńska, W. Pląder and M. Pawełkiewicz (2023) Impact of climate change on regulation of genes involved in sex determination and fruit production in cucumber. *Plants* 12:2651, <https://doi.org/10.3390/plants12142651>
- Calero H. A., Y. Pérez D., K. Peña C., D. Olivera V., J. Jiménez H. y A. Carabeo P. (2023) Coinoculación de biofertilizantes microbianos en pepino y habichuela y su efecto en el crecimiento y rendimiento. *Temas Agrarios* 28:220-232, <https://doi.org/10.21897/bz3pzk58>
- Cázares-Flores L. L., T. J. Velázquez-Alcaraz, L. Partida-Ruvalcaba, F. Ayala-Tafoya, N. D. Zazueta-Torres y M. G. Yáñez-Juárez (2023) Plántulas de pepino y tomate fortificadas con silicio y cloro. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14:123-128, <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i1.2994>
- Escamirosa-Tinoco C., G. A. Martínez-Gutiérrez, I. Morales, T. Aquino-Bolaños, C. I. Cortés-Martínez y O. R. Cruz-Andrés (2021) Rendimiento de chile de agua bajo diferentes cubiertas de macrotúnel. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44:333-340, <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.3.333>
- Hashem F. A., M. A. Medany, E. M. Abd El-Moniem and M. M. F. Abdallah (2011) Influence of green-house cover on potential evapotranspiration and cucumber water requirements. *Annals of Agricultural Science* 56:49-55, <https://doi.org/10.1016/j.aos.2011.05.001>
- Hernández J., S. Bonachela, M. R. Granados, J. C. López, J. J. Magán and J. I. Montero (2017) Microclimate and agronomical effects of internal impermeable screens in an unheated Mediterranean greenhouse. *Biosystems Engineering* 163:66-77, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.08.012>
- Khan I., Sohail, S. Zaman, G. Li and M. Fu (2025) Adaptive responses of plants to light stress: mechanisms of photoprotection and acclimation. A review. *Frontiers Plant Science* 16:1550125, <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1550125>
- Liu H., B. Yuan, X. Hu and C. Yin (2022) Drip irrigation enhances water use efficiency without losses in cucumber yield and economic benefits in greenhouses in North China. *Irrigation Science* 40:135-149, <https://doi.org/10.1007/s00271-021-00756-w>
- López-Eliás J., J. C. Rodríguez, M. A. Huez L., S. Garza O., J. Jiménez L. y E. I. Leyva E. (2011) Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *IDESIA* 29:21-27, <https://doi.org/10.4067/s0718-34292011000200003>
- Meneses-Fernández C. and G. Quesada-Roldán (2018) Crecimiento y rendimiento del pepino holandés en ambiente protegido y con sustratos orgánicos alternativos. *Agronomía Mesoamericana* 29:235-250, <https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.28738>
- Nair A. and M. Ngouajio (2010) Integrating rowcovers and soil amendments for organic cucumber production: implications on crop growth, yield, and microclimate. *HortScience* 45:566-574, <https://doi.org/10.21273/hortsci.45.4.566>
- Ramos-López B. I., G. A. Martínez-Gutiérrez, I. Morales, C. Escamirosa-Tinoco y A. Pérez-Herrera (2017) Consumo de agua y rendimiento de tomate de cáscara bajo diferentes cubiertas de invernaderos. *Horticultura Brasileira* 35:265-270, <https://doi.org/10.1590/s0102-053620170218>
- Rosenberg N. J., B. L. Blad and S. B. Verma (1983) Microclimate: the Biological Environment. 2nd edition. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, USA. 495 p.
- Sánchez C. F., E. C. Moreno P., E. Contreras M. y E. Vicente G. (2006) Reducción del ciclo de crecimiento en pepino europeo mediante trasplante tardío. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:87-90, <https://doi.org/10.35196/rfm.2006.Especial.2.87>
- SAS Institute (2004) User's guide. SAS/ETS® 9.1. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. s/p.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2001) Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, Edición 17 de octubre de 2000. México, D. F. 83 p.
- Serrano-Pérez E. and M. Sandoval-Villa (2023) Low-cost electronic system for monitoring vapor pressure deficit and sunlight using a Raspberry Pi Pico board. *Boletín Científico INVESTIGUM de la Escuela Superior de Tizayuca* 8:7-11, <https://doi.org/10.29057/est.v8i16.9651>
- Shamshiri R. R., J. W. Jones, K. R. Thorp, D. Ahmad, H. C. Man and S. Taheri (2018) Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. *International Agrophysics* 32:287-302, <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0005>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2025) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México, México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/ (Noviembre 2025).
- Steiner A. A. (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15:134-154, <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Valdez-Aguilar L. A., E. E. Hernández-Velázquez, R. Hernández-García, P. Pérez-Rodríguez y D. Alvarado-Camarillo (2024) La humedad relativa y concentración de la solución nutritiva afectan el rendimiento, calidad y estado nutricional en pepino (*Cucumis sativus* L.). *Terra Latinoamericana* 42:e1968, <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1968>
- Zermeño G. A., J. A. Marroquín M., A. I. Melendres A., H. Ramírez R., M. Cadena Z. y S. G. Campos M. (2019) Propiedades espectrales de la cubierta de macro túneles y su relación con el crecimiento y rendimiento del chile poblano (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoamericana* 37:253-260, <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.473>
- Zúñiga-Sánchez E., E. Martínez-Barajas, E. Zavaleta-Mejía y A. Gamboa-de-Buen (2017) El floema y la ruta simplástica durante la formación de los órganos de demanda. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40:249-259, <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.3.249-259>

