



## CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y HUELLA HÍDRICA DEL PEPINO VERDE (*Cucumis sativus* L.) COMO RESPUESTA A LA TENSIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO †

### [GROWTH, YIELD AND WATER FOOTPRINT OF GREEN CUCUMBER (*Cucumis sativus* L.) IN RESPONSE TO SOIL MOISTURE TENSION]

Benigno Rivera-Hernández<sup>1</sup>, Wilfrido Madrigal-Córdova<sup>1</sup>,  
 Víctor Hugo Quej-Chi<sup>2</sup>, Vianey González-Jiménez<sup>1</sup>, Antonio López-Castañeda<sup>3</sup>  
 and Eugenio Carrillo-Ávila<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Popular de la Chontalpa Carretera Cárdenas-Huimanguillo, km 2.0, R/A Pazo y Playa, C.P. 86500, H. Cárdenas, Tabasco, México. Email: [benigno.rivera@upch.mx](mailto:benigno.rivera@upch.mx), [wilfrido15091999@gmail.com](mailto:wilfrido15091999@gmail.com), [vianey.gonzalez@upch.mx](mailto:vianey.gonzalez@upch.mx)

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Campeche, Carretera Federal Haultunchén-Edzna, km 17.5, Sihochac, Municipio de Champotón C.P. 24450, Campeche, México. Email: [quej@colpos.mx](mailto:quej@colpos.mx), [ceugenio@colpos.mx](mailto:ceugenio@colpos.mx)

<sup>3</sup>Colegio de Postgraduados – Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n km 3 carr. Cárdenas-Huimanguillo, C.P. 86500, H. Cárdenas, Tabasco, México. Email: [tonolc@colpos.mx](mailto:tonolc@colpos.mx)

\*Corresponding author

#### SUMMARY

**Background:** Anthropogenic increases in water consumption and changes in precipitation patterns caused by climate change make it imperative to optimize water use, particularly in the agricultural sector in which most large proportion of fresh water is used. **Objective:** To evaluate the effect of irrigation, applied when soil water moisture tension (SWMT) has reached levels -15, -30, -45 and -60 kPa, on growth, yield, water use efficiency and water footprint in cucumber production, in “La Chontalpa”, Tabasco. **Methodology:** The experiment was carried out under a randomized complete block experimental design with four repetitions. The variables evaluated were: length of the main guide (LGP; cm), diameter of the main guide (DGP; mm), number of leaves per plant (NH), number of female flowers (NFF), number of male flowers (NFM), number of total flowers (NFT), ratio of male flowers/female flowers (FM/FF), number of fruits per plant (NFP), fruit length (LF; cm), fruit diameter (DF; cm), fruit weight (PF; g), fruit weight per plant (PFP; kg plant<sup>-1</sup>) and fruit yield per hectare (RF; t ha<sup>-1</sup>). Irrigation water use efficiency (EUAr; t ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), total water use efficiency (EUAT; t ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), and water footprint (HH) were also evaluated (m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>). **Results:** In all variables related to cucumber growth and yield, statistically equal values were found in the -15 kPa and -30 kPa treatments, with significantly lower values in the -60 kPa SWMT (Tukey;  $\alpha = 0.05$ ). The highest EUAr and the lowest HH were observed in the SWMT of -30 kPa, significantly different from the rest of the treatments. **Implications:** The results show that the application of irrigation in the crop, based on SWMT measurements, allows improving agricultural water management, reducing HH. **Conclusions:** The value of SWMT at the time of irrigation has a significant effect on growth and yield variables, as well as on sustainability indicators in irrigation water management.

**Key words:** Tropic; Green cucumber; Crop yield; Water footprint; Irrigation water use efficiency.

#### RESUMEN

**Antecedentes:** El aumento antropogénico en el consumo de agua y los cambios en los regímenes de lluvia originados por el cambio climático hacen imperativa la necesidad de optimizar el uso del agua, en especial en el sector agrícola en el que se utiliza la mayor proporción de agua dulce. **Objetivo:** Evaluar el efecto del riego, aplicado cuando la tensión de humedad de agua en el suelo (THS) alcanzó los niveles -15, -30, -45 y -60 kPa, sobre el crecimiento, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y huella hídrica en la producción del cultivo de pepino, en la Chontalpa, Tabasco. **Metodología:** El experimento se realizó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron las variables: longitud de la guía principal (LGP; cm), diámetro de la guía principal (DGP;

† Submitted July 20, 2024 – Accepted September 9, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5750>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Benigno Rivera-Hernández: <http://orcid.org/0000-0003-1713-4710>; Wilfrido Madrigal-Córdova: <http://orcid.org/0009-0009-7662-6871>; Víctor Hugo Quej-Chi: <http://orcid.org/0000-0002-9356-6251>; Vianey González-Jiménez: <http://orcid.org/0000-0003-2746-0181>; Antonio López-Castañeda: <http://orcid.org/0000-0002-0442-9029>; Eugenio Carrillo-Ávila: <http://orcid.org/0000-0002-8018-7869>

mm), número de hojas por planta (*NH*), número de flores femeninas (*NFF*), número de flores masculinas (*NFM*), número de flores totales (*NFT*), relación flores masculinas/flores femeninas (*FM/FF*), número de frutos por planta (*NFP*), largo del fruto (*LF*; cm), diámetro del fruto (*DF*; cm), peso de fruto (*PF*; g), peso de frutos por planta (*PFP*; kg planta<sup>-1</sup>) y rendimiento de fruto por hectárea (*RF*; t ha<sup>-1</sup>). También se evaluaron la eficiencia en el uso del agua de riego (*EUAR*; t ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), la eficiencia total en el uso del agua (*EUAT*; t ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), y la huella hídrica (*HH*; m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>).

**Resultados:** En todas las variables relacionadas con el crecimiento y el rendimiento del pepino valores estadísticamente iguales se encontraron en los tratamientos de -15 kPa y -30 kPa con valores significativamente más bajos en la THS de -60 kPa (Tukey;  $\alpha = 0.05$ ). La mayor *EUAr* y la menor *HH* se observaron en la THS de -30 kPa, significativamente diferentes del resto de tratamientos. **Implicaciones:** Los resultados muestran que la aplicación de riegos en el cultivo, con base en mediciones de la THS, permite mejorar el manejo agrícola del agua, reduciendo la *HH*. **Conclusiones:** El valor de la THS al momento del riego tiene un efecto significativo sobre las variables de crecimiento y rendimiento, así como sobre los indicadores de sostenibilidad en el manejo del agua de riego.

**Palabras clave:** Trópico; Pepino verde; Rendimiento; Huella hídrica; Eficiencia en el uso del agua de Riego.

## INTRODUCCIÓN

El pepino es uno de los cultivos hortícolas de mayor consumo a nivel mundial debido a que sus frutos proporcionan muchos nutrientes y son bajos en calorías, grasas, sodio y colesterol (Mallick, 2022). El cultivo de pepino en México es muy importante económica y socialmente; en el año 2021 México ocupó el quinto lugar en producción a nivel mundial con 1,038,999 t, de las cuales exportó 868,555 t que generaron una entrada de divisas por 7 mil 332 millones de dólares (SIAP, 2022).

En la zona Sur-Sureste de México donde se localiza el estado de Tabasco, solo el estado de Yucatán es considerado como un productor importante de pepino por el volumen de producción (SIAP, 2022). En los últimos años (2017-2022) en Tabasco el consumo de pepino se ha incrementado debido a la mayor aceptación de la industria gastronómica y al comercio como fruta fresca para bebidas y botanas. Además, se exportan frutos frescos de pepino a Estados Unidos y Canadá (Urrutia-Madrigal, 2017).

Los cambios en los patrones de precipitación y temperatura acentuados en el sureste de México en los últimos años debido al cambio climático, han hecho más vulnerables las siembras de temporal, disminuyendo significativamente la producción en los cultivos (Rivera-Hernández *et al.*, 2016). Con relación a la satisfacción de las necesidades hídricas del pepino, hasta el año 2008, el estado de Tabasco presentaba en el ciclo otoño-invierno un periodo de crecimiento para este cultivo de entre 254 hasta 365 días y en el ciclo primavera-verano periodos de crecimiento de 120 a 240 días, resultados encontrados con base en el método del balance hídrico que relaciona la lluvia con la evapotranspiración potencial (Aceves-Navarro *et al.*, 2008).

La tecnificación de las actividades agrícolas, como la adopción de estrategias novedosas para el manejo del riego, puede ser un motor de desarrollo y crecimiento rural, al aumentar el rendimiento y la calidad de las

frutas (Oliveira *et al.*, 2008). Además, el productor puede planificar la fecha de siembra y cosecha, lo que supone un incremento económico y un mayor nivel de bienestar. Para tener sistemas alimentarios más resilientes y sostenibles Ringler *et al.* (2022) proponen siete áreas de intervención que pueden contribuir, alineados con los Objetivos del Desarrollo Sostenible planteados por la ONU (UN, 2018; Uhlenbrook *et al.*, 2022). Al menos tres de las áreas propuestas están relacionadas con la agricultura: 1) Mejorar la gestión del agua para la agricultura, 2) Reducir las pérdidas de agua y alimentos más allá de la explotación agrícola, y 3) Incrementar la sostenibilidad ambiental de los sistemas alimentarios.

En el estado de Tabasco, la infraestructura de riego en el sector agropecuario ha aumentado, pero el conocimiento sobre el manejo eficiente del agua de riego es escaso. La aplicación del agua se realiza de manera empírica: en muchos casos los riegos no compensan los requerimientos hídricos del cultivo y en otros la aplicación del agua es superior a dichos requerimientos, lo que se considera como una mala gestión del uso del agua (IPCC, 2021). La deficiencia de agua es uno de los factores más limitantes para obtener altos rendimientos, especialmente en cultivos de hortalizas en campo (Patanè y Cosentino, 2010). El cultivo de pepino es significativamente afectado por el estrés hídrico en las fases de floración y fructificación, por lo que es fundamental un adecuado suministro de agua en dichas fases para obtener cosechas rentables (Kaya *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2011). El estrés hídrico también puede disminuir la calidad de la fruta de pepino en la cosecha y durante el almacenamiento postcosecha (Serce *et al.*, 1999).

Para condiciones de invernadero Arshad (2017), determinó que cinco aplicaciones de agua durante cinco minutos por día a las plantas de pepino, con un intervalo de 45 minutos entre aplicación, se considera adecuada para el cuajado de frutos, lo que resulta en mayores rendimientos de frutos en condiciones de invernadero, utilizando un sistema de riego por goteo. El rendimiento del cultivo de pepino muestra una

tendencia decreciente conforme se reduce el valor del potencial hídrico del suelo, con valores más elevados a valores del potencial de -15 y -30 kPa durante la etapa vegetativa y de -15 kPa durante la etapa reproductiva (Oliveira *et al.*, 2011).

Para obtener un buen crecimiento y rendimiento en pepino, es esencial mantener una cantidad óptima de agua en el suelo (Kirnak y Demeritas, 2006). La programación del riego basada en la tensión de humedad del suelo (THS) es un método preciso para monitorear el efecto del estrés hídrico en el crecimiento y el rendimiento de los cultivos *in situ* (Kandelous *et al.*, 2015). Varios autores han encontrado que el riego manejado con base en la THS promueve aumentos de rendimiento en varias hortalizas, como Salaya-Domínguez *et al.* (2002) para *Citrullus vulgaris* schrad, Gutiérrez-Gómez *et al.* (2018) para *Capsicum chinense* Jacq, do Nascimento *et al.* (2022), para *Cucumis melo* L, y dos Santos *et al.* (2022) para *Raphanus sativus* L.

Programar los riegos con base en la medición de la THS en el cultivo de pepino en condiciones de campo, sin demeritar el rendimiento y la calidad de la cosecha, es un conocimiento básico en el uso eficiente de la aplicación del agua que ayuda a cumplir los criterios de sostenibilidad en el manejo del agua. Por ello, la presente investigación se realizó con el objetivo de estudiar el efecto de diferentes niveles de tensión de humedad en el suelo al momento del riego sobre el crecimiento, rendimiento e indicadores de sostenibilidad en el uso agrícola del agua en el cultivo de pepino, así como determinar, con base en el valor de la THS, el momento al que deben aplicarse los riegos durante la época de secas para maximizar el rendimiento y minimizar su huella hídrica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de investigación, material vegetal y tratamientos

El experimento se realizó en el municipio de Cárdenas, Tabasco, en el ciclo primavera-verano del 2022. El clima es cálido húmedo con precipitaciones y

temperatura del aire medias anuales de 2,350 mm y 27.07 °C, respectivamente, radiación solar entre 2.5-2.9 MJ m<sup>-2</sup>, y humedad relativa promedio de 85%. El tipo de suelo del sitio experimental se clasifica como vertisol éutrico (VReu) con textura arcillo-limosa. Las propiedades edáficas del suelo del área experimental se muestran en la Tabla 1.

El material vegetal utilizado en este estudio fue la variedad “Llano Verde”. Se evaluaron cuatro tratamientos de tensión de humedad en el suelo (THS): -15, -30 -45 y -60 kPa, usados para determinar el momento del inicio del riego en el cultivo. Para la medición de THS se utilizaron tensiómetros de manómetro (Irrometer modelo “R” Riverside, C.A, USA) instalados a 0.30 m de profundidad del suelo; los valores de TSH fueron monitoreados diariamente, y los riegos se aplicaron cuando se registró el valor de la THS designado para cada tratamiento. En cada fila de pepino se colocó en paralelo una cinta de riego (con goteros cada 30 cm, gasto de 2.1 l h<sup>-1</sup>), a una distancia de 5 cm de la base de la planta. Se cuantificó el número de riegos y el volumen de agua de riego aplicada en cada tratamiento, y la precipitación pluvial fue medida en una estación meteorológica ubicada a 2.5 km del sitio experimental.

### Preparación del terreno, siembra y labores culturales

La preparación del terreno consistió en pasos de arado, rastra y surcado del terreno cada 1.5 m de distancia, con una altura de los surcos de 0.30 m. La siembra se realizó de manera manual a una distancia de 0.60 m entre plantas, depositando dos semillas por golpe; posteriormente a los 10 días de la emergencia se realizó un raleo. El control de malezas fue manual; la dosis de fertilización aplicada fue 100 N - 80 P - 60 K, fraccionada en dos aplicaciones, a los 12 y 25 días después de la emergencia. Con el fin de guiar y mantener el tallo erguido de las plantas, se realizó su tutorio con rafia sujeta a soportes de madera enterrados, amarrando la planta sobre la base de su tallo para enredarla helicoidalmente a los soportes. Para el control de la mosca blanca (*Bemissia sp*) se realizaron dos aplicaciones al follaje de Thiamethoxan

**Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del suelo del área experimental.**

pH	MO	Nt	P	cmol (+) kg <sup>-1</sup>					Textura			Dap	CC	PMP
				CIC	Ca	Mg	Na	K	Arena %	Limo %	Arcilla %			
H <sub>2</sub> O Rel. 1:2	%		mg kg <sup>-1</sup>									Mg m <sup>-3</sup>	%	%
7.1	2.3	0.2	0.82	38	24.7	15.9	0.2	0.4	30	21	49	1.29	31	18

Nota: pH = Potencial de hidrógeno; MO = Contenido de materia orgánica; Nt = Contenido de nitrógeno total; P = Contenido de fósforo; CIC = Capacidad de intercambio catiónico; Ca = Contenido de calcio; Mg = Contenido de magnesio; Na = Contenido de sodio; K = Contenido de potasio; Dap = Densidad aparente; CC = Capacidad de campo; PMP = Punto de marchitez permanente.

(62.5 g ha<sup>-1</sup>), una de Bifentrina (0.5 L ha<sup>-1</sup>) y dos de Endosulfan (2.0 L ha<sup>-1</sup>). Para el control de gusano soldado (*Spodoptera exigua*) se realizaron tres aspersiones de Bactospeine (*Bacillus thuringensis*) en dosis de 4.03 g por 100 L de agua y una de Metomilo (315 g ha<sup>-1</sup>). Para el control de la enfermedad cenicilla polvorienta (*Erishipe cichoracearum*) se hicieron tres aplicaciones de Myclobutanil (57.0 g por 100 L de agua).

### VARIABLES DE RESPUESTA

Las variables que caracterizan el crecimiento vegetativo que se midieron fueron: Longitud y diámetro de la guía principal (*LGP*, cm; *DGP*, mm) y número de hojas por planta (*NH*), medidas a los 50 días después de la emergencia de la semilla. La *LGP* se midió con la ayuda de un flexómetro desde el inicio del tallo hasta el ápice de crecimiento y el *DGP* con un vernier digital a una altura de 2 cm con respecto al nivel del suelo. También se cuantificaron las siguientes variables que caracterizan el rendimiento del cultivo: número de flores femeninas (*NFF*); número de flores masculinas (*NFM*); número de flores totales (*NFT*); relación flores masculinas/flores femeninas (*FM/FF*); número de frutos por planta (*NFP*); largo del fruto (*LF*: cm, medido con flexómetro); diámetro del fruto (*DF*: mm, medido con vernier digital); peso del fruto fresco (*PF*: kg, medido con balanza digital); producción de fruto por planta (*PF*: kg planta<sup>-1</sup>, cuantificada como la sumatoria de las cinco cosechas realizadas durante el ciclo del cultivo) y rendimiento de frutos por hectárea (*RF*: t ha<sup>-1</sup>, estimado multiplicando el *PF* por la densidad de plantación [11,111 plantas ha<sup>-1</sup>]). La cosecha de frutos se realizó manualmente al momento en que alcanzaron la madurez comercial, color verde olivo, llenado del fruto y facilidad del desprendimiento de tricomas (Moreno-Velázquez *et al.*, 2015).

### INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN EL USO DEL AGUA

Por lo que respecta al manejo del agua, se cuantificaron las variables número de riegos y lámina de riego, así como la lámina total de agua aplicada (lámina de riego más precipitación pluvial), en cada tratamiento. Con los valores determinados del rendimiento del cultivo y de la cantidad de agua aplicada en cada tratamiento, se determinaron los valores de la eficiencia en el uso del agua de riego (*EUAr*; t ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), de la eficiencia total en el uso del agua (*EUAT*; t ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), de las huellas hídricas verde (*HHv*; m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>) y azul (*HHa*; m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>), y de la huella hídrica total de la producción de pepino (*HH*; m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>) con el uso de las siguientes expresiones (Gutiérrez-Gómez *et al.*, 2018; Rivera-Hernández *et al.*, 2022):

$$EUAr = \frac{Ren}{Lr} \quad (1)$$

$$EUAT = \frac{Ren}{Lt} \quad (2)$$

$$HHv = \frac{Vpp}{Ren} \quad (3)$$

$$HHa = \frac{Vr}{Ren} \quad (4)$$

$$HH = \frac{Vt}{Ren} \quad (5)$$

Donde: *Ren* representa el rendimiento del cultivo (t ha<sup>-1</sup>), *Lr* la lámina de riego (mm), *Lt* la lámina total de agua (riego más precipitación pluvial, mm), *Vpp* el volumen de agua que recibió el cultivo proveniente de la precipitación pluvial (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), *Vr* el volumen de agua de riego aplicado al cultivo (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) y *Vt* el volumen total de agua recibido por el cultivo (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

La diferencia entre *EUAr* y *EUAT* radica únicamente en que en la primera solo se considera la lámina de agua aplicada como riego, y para la evaluación de la segunda se considera adicionalmente la lámina de agua de lluvia que se presentó en el área experimental durante la realización del trabajo. Por lo que respecta a las variables *HHv*, *HHa* y *HH*, en la primera solo se considera el volumen de agua de la lluvia, en la segunda únicamente el volumen de agua de riego aplicado, y *HH* considera la suma de ambos volúmenes.

### DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El experimento se realizó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, considerando a las THS de -15, -30, -45 y -60 kPa como tratamientos. Las unidades experimentales estuvieron constituidas por tres surcos de 10 m de largo, con el surco central como parcela útil. Los tensiómetros se instalaron en el centro de cada unidad experimental. Todas las variables evaluadas fueron medidas en cinco plantas centrales de la parcela útil de cada unidad experimental. El análisis estadístico del diseño de bloques para las variables evaluadas se realizó utilizando el programa informático Statistical Professional Social Sciences (SPSS) 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.) con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , verificándose los supuestos de normalidad y de homocedasticidad de las observaciones, considerados en el análisis de la varianza. La comparación de medias de tratamientos se efectuó mediante la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Riegos y cantidad de agua aplicada por tratamiento

La Figura 1A muestra un gradiente decreciente en el número de riegos por tratamiento conforme se incrementó la THS de -15 kPa a -60 kPa. El número de

riegos aplicados en el tratamiento de -15 kPa de THS fue 25.61%, 58.53% y 74.39% más alto que el número correspondiente a los tratamientos de -30 kPa, -45 kPa y -60 kPa de THS, respectivamente. La lámina total de agua aplicada (Figura 1B) presenta un patrón similar al número de riegos (Figura 1A) a pesar de que las láminas aplicadas en cada riego en los tratamientos de THS más negativas fueron mayores a la aplicada en la THS más baja (12.80 mm, 13.86 mm, 19.63 mm y 21.32 mm a -15 kPa, -30 kPa, -45 kPa y -65 kPa, respectivamente), debido a que al estar más seco el suelo se requiere aplicar una mayor cantidad de agua para volverlo a humedecer. La lámina total de agua de riego aplicada en la THS de -15kPa fue 19.52%, 36.43% y 57.36% más alta que la aplicada en las THS a -30kPa, -45kPa y -60kPa, respectivamente, como consecuencia del mayor número de riegos aplicados; se requiere una mayor cantidad de agua para poder mantener a la tensión de humedad del suelo en valores más bajos (menos negativos) en los tratamientos más húmedos, a consecuencia de la mayor extracción de agua realizada por el cultivo y a la mayor evaporación desde la superficie del suelo en los tratamientos con mayor frecuencia de riego. Un resultado similar fue obtenido por Rivera-Hernández *et al.* (2009, 2010), Alamilla-Magaña *et al.* (2016), Gutiérrez-Gómez *et al.* (2018) y Rivera-Hernández *et al.* (2022).

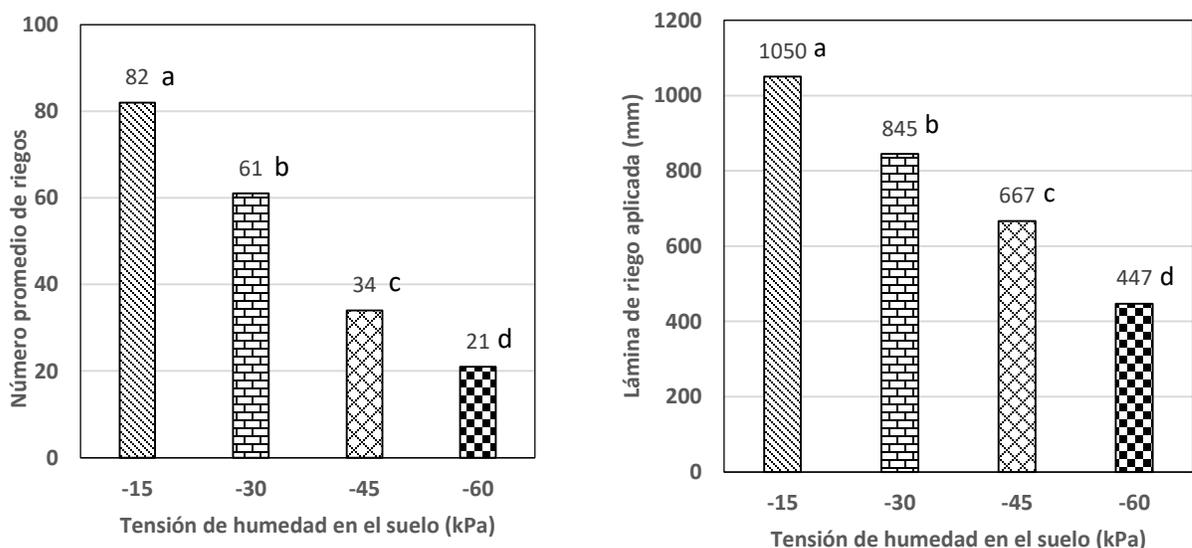
### Variables de crecimiento y rendimiento

La THS tuvo un efecto significativo ( $p \leq 0.05$ ) en las variables de crecimiento *LGP*, *NH* y *DGP*, así como en las variables reproductivas *NFT*, *NFM* y *NFF* (Tabla 2). La longitud de la guía principal fue estadísticamente similar en las THS de -15kPa ( $221.81 \pm 11$ cm) y -30kPa ( $219.42 \pm 15$ cm), superando

en 5.44% y 4.41% al valor observado a la THS de -45kPa ( $209.73 \pm 13$  cm) y en 13.89% y 14.81% al registrado a la THS de -60kPa ( $188.94 \pm 11$ cm), respectivamente, valores inferiores estadísticamente (Tabla 2). Los niveles más altos de humedad (-15 kPa y -30 kPa) estimularon el crecimiento de la guía principal del pepino, lo que también fue reportado por Oliveira *et al.* (2011).

En la THS de -60kPa se observó una reducción en el diámetro de la guía principal ( $15.01 \pm 2.1$  mm) en 16.91%, 16.57% y 15.46 % en comparación a lo encontrado a las THS de -15 ( $18.27 \pm 1.3$  mm), -30 ( $18.19 \pm 1.2$  mm) y -45 ( $17.94 \pm 1.5$  mm) kPa, respectivamente. Odhiambo y Aguyoh (2022), reportan reducciones en el diámetro de la fruta de 18.60% entre tratamiento irrigados al 100% y 40% de la capacidad de campo.

El número de hojas (*NH*) no presentó diferencias significativas entre las THS de -15kPa, -30kPa y -45 kPa, superando en cada caso en 26.53%, 21.73% y 18.18% al valor observado a la THS de -60kPa, respectivamente (Tabla 2). Una explicación plausible para la disminución del *NH* en la THS a -60kPa es que el déficit de agua en el suelo perturba adversamente diferentes mecanismos fisiológicos que están relacionados con el crecimiento de las plantas, como el cierre estomático, la estabilidad de la membrana celular y las características de intercambio de gases (El-Mageed *et al.*, 2018). La disminución del número de hojas en el tratamiento a -60kPa coincide con los hallazgos reportados por Akinci & Losel (2010). Odhiambo y Aguyoh (2022) reportan que el estrés hídrico reduce el número de hojas por planta, el área foliar y los índices de área.



**Figura 1.** A) Número de riegos, B) Lámina total de riego aplicada (mm), en pepino variedad Llano Verde en cuatro tensiones de humedad en el suelo. Letras diferentes en las barras indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de tensión de humedad del suelo (Tukey,  $p < 0.05$ ).

**Tabla 2. Valores promedio de la longitud de la guía principal (LGP), diámetro de la guía principal (DGP), número de hojas por planta (NH), número de flores femeninas (NFF), número de flores masculinas (NFM), número de flores totales (NFT) y relación flores masculinas/flores femeninas (FM/FF) en pepino verde variedad Llano Verde.**

Tratamientos de THS	LGP (cm)	DGP (mm)	NH	NFF	NFM	NFT	FM/FF
-15 kPa	221.81±11a	18.27±1.3a	44±1.8a	17±3a	46±3a	63±3a	2.81±0.2b
-30 kPa	219.42±15a	18.19±1.2a	46±1.4a	16±2a	47±2a	63±5a	2.93±0.3b
-45 kPa	209.73±13b	17.94±1.5a	44±2.4a	17±2a	45±4a	62±6a	2.94±0.2b
-60 kPa	188.94±11c	15.01±2.1b	36±3.1b	11±3b	38±5b	49±3b	3.15±0.8a

Medias con diferente letra en columna son diferentes estadísticamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ;  $n=8$ ). Los valores a la derecha de las medias corresponden a la desviación estándar de los datos.

Los valores promedio del número de flores femeninas, número de flores masculinas, número de flores totales y de la relación flores masculinas/flores femeninas resultaron estadísticamente iguales entre las THS de -15 kPa, -30 kPa y -45 kPa, pero diferentes con respecto a los valores promedio observados a la THS de -60 kPa (Tabla 2). En el tratamiento de -60 kPa se redujo 31.25% el número de flores femeninas, 19.15% el número de flores masculinas y 22.22%, el número de flores totales, en comparación con el tratamiento de -30 kPa. En la relación *FM/FF* en el tratamiento de THS de -60 kPa se encontraron valores estadísticamente superiores respecto de los observados a las THS de -15 kPa, -30 kPa y -45 kPa; las diferencias fueron de 10.79%, 6.96% y 6.19%, respectivamente. Los resultados encontrados en el presente trabajo están en línea con los hallazgos de Odhiambo y Aguyoh (2022), que reportan aumento en la relación *FM/FF* como consecuencia de la reducción del número de flores femeninas.

Los valores promedio del número de frutos por planta (*NFP*), peso del fruto fresco (*PF*), diámetro del fruto (*DF*), producción de frutos por planta (*PFPP*) y rendimiento de frutos por hectárea (*RF*) fueron estadísticamente similares en las THS de -15 kPa y -30 kPa, pero diferentes significativamente a los valores registrados a las THS de -45 kPa y -65 kPa (Tabla 3). El *NFP* en la THS de -30kPa (10.1±1.8) fue 16.83% y 47.52% más alto que a -45 kPa (8.4±1.9) y -60 kPa (5.3±2.1), respectivamente. El aumento del número de frutos por planta es el factor más importante que

determina el incremento del rendimiento en pepino (Ertek *et al.*, 2006). El-Mageed *et al.* (2018) también encontraron que el número de frutos por planta se redujo significativamente cuando los riegos se programan a 60% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) en comparación con 100 % de ETc.

El promedio del largo de fruto (*LF*) fue estadísticamente similar en las THS de -15 kPa (26.7±3.1 cm), -30 kPa (25.9±2.4 cm) y -45 kPa (24.2±3.2 cm) cuyos valores fueron significativamente superiores al promedio registrado en la THS de -60kPa (20.3±2.6 cm) en 23.97%, 21.62% y 16.11%, respectivamente. Odhiambo y Aguyoh (2022) reportan reducciones de largo de fruto del 17.71% entre tratamientos irrigados al 100% y 40% de la capacidad de campo del suelo. Parkash *et al.* (2021) reporta que el rendimiento del pepino disminuye 24.71% cuando se riega al 40% de la ETc.

El *DF* en la THS a -30kPa (5.92±1.7 cm) fue 21.62% y 28.71% mayor que a -45 kPa (4.64±2.2 cm) y -60 kPa (4.22±2.8 cm), respectivamente. La disminución del *DF* observada en el presente trabajo está en línea con los resultados reportados por Odhiambo y Aguyoh (2022) y Parkash *et al.* (2021). Además, el valor del contenido de humedad del suelo a la THS de -30 kPa está más cerca del que se registra a la capacidad de campo (do Nascimento *et al.*, 2022). El valor de *DF* en la THS de -30 kPa fue ligeramente superior al observado a una THS de -15 kPa, lo que se observó también en las variables *NFP*, *PFPP* y *RF*, aunque en

**Tabla 3. Valores promedio del número de frutos por planta (NFP), largo del fruto (LF), diámetro del fruto (DF), peso del fruto fresco (PF), producción de fruto por planta (PFPP), y rendimiento de fruto por hectárea (RF) en pepino verde variedad Llano Verde.**

Tratamientos	NFP	LF (cm)	DF (mm)	PF (kg)	PFPP (kg planta <sup>-1</sup> )	RF (t ha <sup>-1</sup> )
-15 kPa	9.4±1.1a	26.7±3.1a	5.91±1.3a	0.331±0.04a	3.11±0.28a	34.55±3.21a
-30 kPa	10.1±1.8a	25.9±2.4a	5.92±1.7a	0.327±0.06a	3.31±0.25a	36.77±2.85a
-45 kPa	8.4±1.9b	24.2±3.2a	4.64±2.2b	0.289±0.04b	2.42±0.32b	26.88±3.19b
-60 kPa	5.3±2.1c	20.3±2.6b	4.22±2.8b	0.224±0.03c	1.21±0.34c	13.44±3.88c

Medias con diferente letra en columna son diferentes estadísticamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ;  $n = 8$ ). Los valores a la derecha de las medias corresponden a la desviación estándar de los datos.

todas las variables que caracterizan el rendimiento del cultivo (Tabla 3) los valores observados en ambas THS resultaron estadísticamente iguales, lo que indica que en el rango de THS de -15 a -30 kPa el cultivo no experimenta estrés hídrico, y las diferencias observadas en esos tratamientos en las variables asociadas al rendimiento se pueden atribuir a errores experimentales. El *PF* en la THS de -30 kPa ( $0.327 \pm 0.06$  kg) fue 11.62% y 31.49% mayor que en las THS de -45 kPa ( $0.289 \pm 0.04$  kg) y -60 kPa ( $0.224 \pm 0.03$  kg). En el presente experimento para mantener el suelo a las THS de -15 kPa y -30 kPa fue necesario aplicar un mayor número de riegos (Figura 1A) con una frecuencia de riegos también más alta, por lo que las plantas de pepino no experimentaron estrés hídrico, lo que permitió obtener frutos jugosos y crujientes, ya que el fruto está constituido por un 95% de agua (Arshad, 2017). En condiciones de estrés hídrico, el pepino produce menos frutos por planta y también frutos más pequeños, como consecuencia de la reducción en la tasa de fotosíntesis y el área foliar (Parkash *et al.*, 2021). Cabe señalar que los resultados obtenidos en el presente estudio están acordes con los encontrados por Arshad (2017) y Oliveira *et al.* (2011).

La *PPF* ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) observada en la THS de -30 kPa ( $3.31 \pm 0.25$ ) fue 26.88% y 63.44% más alta que a -45 kPa ( $2.42 \pm 0.32$ ) y -60 kPa ( $1.21 \pm 0.34$ ), respectivamente, mientras que el *RF* ( $\text{t ha}^{-1}$ ) encontrado a -30 kPa ( $36.77 \pm 2.85$ ) fue 1.36 y 2.73 veces mayor que el observado a -45 kPa ( $26.88 \pm 3.19$ ) y -60 kPa ( $13.44 \pm 3.88$ ), respectivamente. Los resultados del presente estudio concuerdan con los reportados por Serce *et al.* (1999), quienes manejaron THS de -16.3 kPa y -10.1 kPa. Odhiambo y Aguyoh (2022) reportan una reducción del 68% en el rendimiento de plantas cultivadas con una humedad en el suelo del 40% de la capacidad de campo, con respecto al rendimiento observado al 100% de la capacidad de campo. Zakka *et al.*, (2020) mencionan que el intervalo de riego es muy importante ya que afecta la humedad del suelo y la distribución de la raíz, así como la absorción de agua por las plantas.

## Indicadores de sostenibilidad en el uso del agua de riego

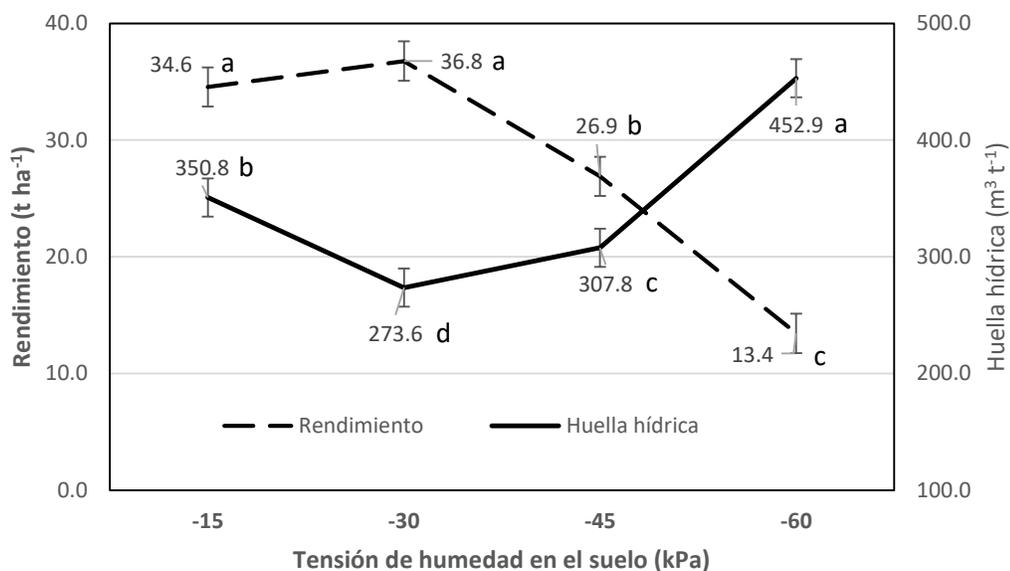
En la Tabla 4 se muestran los valores de la *EUAr*, *EUAT* y *HHv*, *HHa*, y *HH* para los tratamientos evaluados.

Un valor significativamente mayor en *EUAr* y *EUAT* se encontró cuando los riegos se aplicaron a una THS de -30 kPa, lo que se explica porque el rendimiento de frutos fue mayor a esa THS (Tabla 3) con una aplicación de riego menor respecto del tratamiento de THS de -15 kPa, que se mantuvo a mayor humedad (Fig. 1b). Valores significativamente menores en ambos indicadores se observaron a una THS de -15 y -60 kPa para *EUAr* y a una THS de -60 kPa para *EUAT*. En el primer caso los bajos valores de *EUAr* observados a -15 kPa se atribuyen a la elevada cantidad de agua de riego aplicada para mantener el suelo muy húmedo (Fig. 1b) que no se tradujo en un rendimiento más elevado respecto del observado a una THS de -30 kPa (Tabla 3), lo que fisiológicamente puede indicar que el cultivo no experimenta un estrés por falta de agua en el rango de -15 a -30 kPa de THS, y solo lo experimenta cuando la THS aumenta (el potencial hídrico del suelo se reduce por debajo de -30 kPa). En el segundo caso la reducción en *EUAT* puede atribuirse al bajo rendimiento encontrado a la THS de -60 kPa, como consecuencia de la baja humedad del suelo (Tabla 3). Esta misma razón ocasionó el significativamente menor valor observado para *EUAT* a -60 kPa. Con relación a los indicadores *HHa*, *HHv* y *HH*, valores significativamente menores se encontraron cuando los riegos se aplicaron a -30 kPa de THS, como resultado del mayor rendimiento obtenido, combinado con una menor cantidad de agua aplicada respecto del tratamiento más húmedo. En este tratamiento solo se requirió aplicar  $230 \text{ m}^3$  de agua de riego, combinada con  $43.63 \text{ m}^3$  de agua de lluvia ( $273.63 \text{ m}^3$  totales de agua) para obtener una tonelada de frutos, mientras que en el tratamiento de -60 kPa (más seco), fueron necesarios  $333.22 \text{ m}^3$  de agua de riego y  $119.69 \text{ m}^3$  de agua de lluvia ( $452.9 \text{ m}^3$  de agua total) para obtener la misma cantidad de frutos. Este resultado es consecuencia del bajo rendimiento observado a mayor THS (suelo más seco).

**Tabla 4. Valores promedio de la eficiencia en el uso del agua de riego (*EUAr*), Eficiencia total en el uso del agua (*EUAT*), Huella hídrica azul (*HHa*), Huella hídrica verde (*HHv*) y Huella hídrica total (*HH*) en pepino verde variedad Llano Verde.**

Tratamientos	<i>EUAr</i> ( $\text{t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ )		<i>EUAT</i> ( $\text{t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ )		<i>HHa</i> ( $\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$ )		<i>HHv</i> ( $\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$ )		<i>HH</i> ( $\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$ )
-15 kPa	$0.0329 \pm 0.001$	c	$0.0285 \pm 0.001$	c	$304.38 \pm 12.2$	b	$46.42 \pm 2.56$	c	$350.79 \pm 14.6$
-30 kPa	$0.0435 \pm 0.002$	a	$0.0366 \pm 0.001$	a	$230.00 \pm 9.8$	c	$43.63 \pm 2.53$	c	$273.63 \pm 11.2$
-45 kPa	$0.0403 \pm 0.001$	b	$0.0325 \pm 0.001$	b	$248.22 \pm 3.9$	c	$59.56 \pm 1.78$	b	$307.79 \pm 5.7$
-60 kPa	$0.0301 \pm 0.002$	c	$0.0221 \pm 0.001$	d	$333.22 \pm 17.7$	a	$119.69 \pm 10.01$	a	$452.90 \pm 24.2$

Medias con diferente letra en columna son diferentes estadísticamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ;  $n = 4$ ). Los valores a la derecha de las medias corresponden a la desviación estándar de los datos.



**Figura 2.** Rendimiento y huella hídrica en pepino verde variedad Llano Verde en cuatro tensiones de humedad en el suelo. Letras diferentes en la gráfica indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de tensión de humedad. Las barras de error en la gráfica representan la diferencia mínima significativa entre tratamientos (Tukey,  $p < 0.05$ ).

La Figura 2 ilustra la relación entre el rendimiento obtenido y la huella hídrica total para los tratamientos de riego evaluados, en la que se observa un comportamiento inverso entre ambas variables. El rendimiento del cultivo tiende a reducirse al aumentar la THS, lo que ocasiona que  $HH$  aumente, con un valor máximo en rendimiento y un mínimo en  $HH$  a -30 kPa.

Lo encontrado en este trabajo refuerza la idea de que la disponibilidad de agua es fundamental para obtener un buen rendimiento en el cultivo de pepino, y que el cultivo responde positivamente a riegos más frecuentes, necesarios para mantener valores bajos de la THS (Oliveira *et al.*, 2011). Sin embargo, la mayor disponibilidad de agua en el tratamiento de -15 kPa no garantizó un incremento en el rendimiento con respecto al tratamiento de -30 kPa; por lo tanto, no se justifica el uso de mayor aplicación de agua de riego y el consiguiente mantenimiento de alta humedad del suelo, ya que esta práctica no resulta en mayores rendimientos.

## CONCLUSIONES

El pepino verde respondió diferencialmente a los tratamientos de THS en el suelo. Las variables de crecimiento fueron menos afectadas por el aumento en la tensión de humedad del agua en el suelo que el rendimiento, dado que solo la longitud de la guía principal se vio afectada cuando los riegos se aplicaron a una THS superior a -30kPa; el resto de las variables de crecimiento no presentaron diferencias

significativas sino hasta una THS de -40 kPa o mayor. Las variables de rendimiento fueron más sensibles a los niveles de THS en el suelo. La mayor producción de fruto (kg planta<sup>-1</sup>) y rendimiento (t ha<sup>-1</sup>) se presentaron cuando los riegos fueron aplicados a las THS de -15 kPa y -30kPa, estadísticamente iguales. Sin embargo, el número de riegos y la aplicación del agua fue mayor a -15 kPa, por lo que la aplicación de riegos a -30kPa de la THS se puede usar como indicador para regar el cultivo de pepino, sin causar una disminución significativa en el rendimiento de la fruta, durante la época de primavera-verano, tratamiento en el que también se obtuvo la huella hídrica más baja en la producción de pepino, y por lo tanto en el que se realiza un manejo más sustentable del agua de riego. En este tratamiento se requirió aplicar la menor cantidad de agua para obtener una tonelada de frutos (273.63 m<sup>3</sup>).

**Funding.** This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

**Conflict of Interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Compliance with ethical standards.** Not applicable due to the nature of the study (agricultural experiment). The nature of the work does not require approval by a (bio)ethical committee.

**Data availability.** Data are available with B. Rivera-Hernández and E. Carrillo-Ávila. [benigno.rivera@upch.mx](mailto:benigno.rivera@upch.mx); [ceugenio@colpos.mx](mailto:ceugenio@colpos.mx).

**Author contribution statement (CRediT).** **B. Rivera-Hernández:** conceptualization, methodology, software, investigation, resources, data curation, writing - original draft, writing - review & editing and project administration. **W. Madrigal-Córdova:** Investigation, resources, data curation, writing - original draft, project administration. **V.H. Quej-Chi:** methodology, investigation, data curation, writing - original draft and writing - review & editing. **V. González-Jiménez:** methodology, investigation, validation, visualization and writing original draft. **A. López-Castañeda:** methodology, investigation, validation, visualization and writing - review & editing. **E. Carrillo-Avila:** methodology, investigation, data curation, validation, visualization and writing - review & editing.

## REFERENCES

- Aceves-Navarro, L.A., Juárez-López, J.F., Palma-López, D.J., López-López, R., Rivera-Hernández, B., Rincón-Ramírez, J.A., Morales-Colorado, A.R., Hernández-Alvarado, R., Martínez-Sánchez, A. and Hernández-Soriano, J.L., 2008. *Estudios para determinar zonas de alta potencialidad de los cultivos en el estado de Tabasco (Informe General)*. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. Tomo I.
- Akinci, S. and Losel, D.M., 2010. The effects of water stress and recovery periods on soluble sugars and starch content in cucumber cultivars. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19(2), pp. 164-171.
- Alamilla-Magaña, J.C., Carrillo-Ávila, E., Obrador-Olán, J.J., Landeros-Sánchez, C., Vera-López, J. and Juárez-López, J.F., 2016. Soil moisture tension effect on sugar cane growth and yield. *Agricultural Water Management*, 177, pp. 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.004>
- Arshad, I., 2017. Effect of water stress on the growth and yield of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.). *PSM Biological Research*, 2(2), pp. 63-67.
- do Nascimento, J.T., Lacerda Medeiros, M.D.B.C., de Lima Junior, J.A., Santos, H.C.A. and de Oliveira, P.D., 2022. Effect of different soil water tensions and potassium fertilization on the production and quality of netted melon (*Cucumis melo* L.) in the Amazon area. *Australian Journal of Crop Science*, 16(4), pp. 441-447. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.645552254647915>
- dos Santos, P.A.B., de Carvalho, L.G., Schwerz, F., da Silva Batista, V.B. and Monti, C.A.U., 2022. Economic viability and development of radish (*Raphanus sativus* L.) under different soil water tensions and mulching types. *Advances in Horticultural Science*, 36(3), pp. 227-237. <https://doi.org/10.36253/ahsc-12552>
- El-Mageed, T.A.A., Semida, W.M., Taha, R. S. and Rady, M.M., 2018. Effect of summer-fall deficit irrigation on morpho-physiological, anatomical responses, fruit yield and water use efficiency of cucumber under salt affected soil. *Scientia horticultrae*, 237, pp. 148-155. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.014>
- Ertek, A., Şensoy, S., Gedik, I. and Küçükyumuk, C., 2006. Irrigation scheduling based on pan evaporation values for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under field conditions. *Agricultural Water Management*, 81(1-2), pp. 159-172. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.03.008>
- Gutiérrez-Gómez, C., Carrillo-Ávila, E., Landeros-Sánchez, C., Coh-Méndez, D., Monsalvo-Espinosa, A., Arreola-Enríquez, J. and Pimentel-López, J., 2018. Soil moisture tension as an alternative for improving sustainable use of irrigation water for habanero chilies (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agricultural Water Management*, 204, pp. 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.038>
- IPCC. 2021. In: Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., P'ean, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B. (Eds.), *Climate Change 2021: the Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MassonDelmotte. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> Consultado el 6 de septiembre de 2024.
- Kandelous, M.M., Moradi, B.A. and Hopmans, J. W. 2015. An alternative tensiometer design for deep vadose zone monitoring. *Soil Science Society of America Journal*, 79(5), pp. 1293-

1296.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj2015.03.0121>
- Kaya, C., Higgs, D. and Kirnak, H., 2005. Influence of Polyethylene Mulch, Irrigation Regime, and Potassium Rates on Field Cucumber Yield and Related Traits. *Journal of Plant Nutrition*, 28(2), pp. 1739-1753.  
<https://doi.org/10.1080/01904160500250797>
- Kirnak, H. and Demirtas, M.N., 2006. Effects of different irrigation regimes and mulches on yield and macronutrition levels of drip-irrigated cucumber under open field conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 9(9), pp. 1675-1690.  
<https://doi.org/10.1080/01904160600851619>
- Mallick, P.K., 2022. Evaluating potential importance of cucumber (*Cucumis sativus* L.-Cucurbitaceae): a brief review. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 10(1), pp. 12-15.  
<https://doi.org/10.3126/ijasbt.v10i1.44152>
- Moreno-Velázquez, D., Hernández-Hernández, B.N., Barrios-Díaz, J. M., Ibáñez-Martínez, A., Cruz-Romero, W. and Berdeja Arbeu, R., 2015. Calidad poscosecha de frutos de pepino cultivados con diferente solución nutritiva. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(3), pp. 637-643.  
<http://doi.org/10.29312/remexca.v6i3.648>
- Odhiambo, J.A. and Aguyoh, J.N., 2022. Soil moisture levels affect growth, flower production and yield of cucumber. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 55(1), pp. 1-8.  
<https://doi.org/10.2478/ats-2022-0001>
- Oliveira, F. de A. de, Medeiros, J.F. de., Lima, C.J.G.S. de., Dutra, I. and Oliveira, M.K.T., 2008. Eficiência agrônômica da fertirrigação nitrogenada e potássica na cultura do meloeiro nas condições do semi-árido nordestino. *Revista Caatinga*, 21(5), pp. 5-11.
- Oliveira, E.C., Carvalho, J.D.A., Silva, W.G.D., Rezende, F.C. and Almeida, W.F.D., 2011. Effects of water deficit in two phenological stages on production of japanese cucumber cultivated in greenhouse. *Engenharia Agrícola*, 31, pp. 676-686.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000400006>
- Parkash, V., Singh, S., Deb, S. K., Ritchie, G. L. and Wallace, R.W., 2021. Effect of deficit irrigation on physiology, plant growth, and fruit yield of cucumber cultivars. *Plant Stress*, 1, 100004.  
<https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100004>
- Patanè, C. and Cosentino, S.L., 2010. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. *Agricultural Water Management*, 97(1), pp. 131-138.  
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.021>
- Ringler, C., Agbonlahor, M., Barron, J., Baye, K., Meenakshi, J.V., Mekonnen, D. K. and Uhlenbrook, S., 2022. The role of water in transforming food systems. *Global Food Security*, 33, 100639.  
<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100639>
- Rivera-Hernández, B., Carrillo-Ávila, E., Obrador-Olán, J.J., Juárez-López, J.F., Aceves-Navarro, L.A. and García-López, E. 2009. Soil moisture tension and phosphate fertilization on yield components of A-7573 sweet corn (*Zea mays* L.) hybrid, in Campeche, Mexico. *Agricultural Water Management*. 96, 1285–1292.  
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.020>
- Rivera-Hernández, B., Carrillo-Ávila, E., Obrador-Olán, J.J., Juárez-López, J.F. and Aceves-Navarro, L.A., 2010. Morphological quality of sweet corn (*Zea mays* L.) ears as response to soil moisture tension and phosphate fertilization in Campeche, Mexico. *Agricultural Water Management*. 97, pp. 1365–1374.  
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.04.001>
- Rivera-Hernández, B., Aceves-Navarro, L.A., Juárez-López, J.F., Méndez-Adorno, J.M. and Ramos-Álvarez, C., 2016. Evidencias del cambio climático en el estado de Tabasco durante el periodo 1961-2010. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(SPE14), pp. 2645-2656.
- Rivera-Hernández, B., González-Jiménez, V., Carrillo-Ávila, E., Garruña-Hernández, R., Andrade, J.L., Quej-Chi, V.H. and Arreola-Enríquez, J., 2022. Yield, Physiology, Fruit Quality and Water Footprint in Persian Lime (*Citrus latifolia* Tan.) in Response to Soil Moisture Tension in Two Phenological Stages in Campeche, México. *Water*, 14, pp. 1011.  
<https://doi.org/10.3390/w14071011>
- Salaya-Domínguez, J.M., Carrillo-Avila, E., Palacios-Velez, O.L., Aceves-Navarro, L.A. and Juárez-López, J.F., 2002. Respuesta del cultivo de sandía (*Citrullus vulgaris* Schrad) al potencial del agua en el suelo. *Revista Fitotecnia*

- Mexicana*, 25(2), pp. 127-127.  
<https://doi.org/10.35196/rfm.2002.2.127>
- Serce, S., Navazio, J.P., Gokce, A.F. and Staub, J.E., 1999. Nearly isogenic cucumber genotypes differing in leaf size and plant habit exhibit differential response to water stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124(4), pp. 358-365.  
<https://doi.org/10.21273/JASHS.124.4.358>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. *Panorama Agroalimentario 2022*. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). México. pp. 110-111.  
<https://drive.google.com/file/d/1jVWS4EFKK7HGwOOBpGeljUyaDT8X8Iyz/view>
- Uhlenbrook, S., Yu, W., Schmitter, P. and Smith, M., 2022. Optimizing the water we eat – rethinking policy to enhance productive and sustainable use of water in agri-food systems across scales. *Lancet Planet. Health*, 6 (1), pp. 59–65.  
[https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00264-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00264-3)
- UN, 2018. Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation. United Nations. New York.  
<https://www.unwater.org/publications/sdg-6-synthesis-report-2018-water-and-sanitation>. Consultado el 12 de marzo de 2024.
- Urrutia-Madrigal, V.A., 2017. México: Tabasco exporta pepino a EE. UU. y Canadá. El productor el periódico del campo.  
<https://elproductor.com/2017/01/mexico-tabasco-exporta-pepino-a-ee-uu-y-canada/>. Consultado el 12 de febrero de 2024.
- Zakka, E.J., Onwuegbunam, N.E., Dare, A., Onwuegbunam, D. O. and Emeghara, U.U., 2020. Yield, water use and water productivity of drip-irrigated cucumber in response to irrigation depths and intervals in Kaduna, Nigeria. *Nigerian Journal of Technology*, 39(2), pp. 613-620.  
<https://doi.org/10.4314/njt.v39i2.33>