

CONSORCIOS MICORRIZICOS, FERTILIZANTES FOLIARES Y RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO Y HUELLA HÍDRICA DEL CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) EN CAMPECHE

Mauricio Renovato Rodríguez¹; Eugenio Carrillo Ávila^{1*}; José Avelardo Monsalvo Espinosa¹; Domingo Coh Méndez¹; Mónica Leticia Osnaya González¹; Stephan Ronicke¹; Russell Escalante Rodríguez²

¹Posgrado en Bioprospección y Sustentabilidad Agrícola en el Trópico. Colegio de Postgraduados Campus Campeche. Carretera Federal Haultunchén-Edzná km 17.5, C.P. 24440, Sihochac, Champotón, Campeche, México.

ceugenio@colpos.mx - 9811259721 (*Autor de correspondencia)

²Productor cooperante. Carretera Federal Campeche-Hopelchén km 20, Predio Guadalupe, Campeche. México.

Resumen

Se evaluó el efecto de diferentes niveles de riego aplicados con base en la tensión de humedad en el suelo (-10, -25 y -40 kPa, con el manejo del riego del productor [P] como testigo); inoculación micorrízica (cepas Sihochac, Cayal y testigo) y aplicación de fertilizantes foliares (Messenger®, Metavol VR® y testigo) sobre el crecimiento, calidad de frutos, rendimiento y huella hídrica del chile habanero en Campeche. Se evaluaron las variables: número (*NFPF*) y peso promedio de frutos por planta (*PFPP*; g), peso (*PPF*; g), longitud (*LPF*; cm) y diámetro promedio de frutos (*DPF*; cm), así como rendimiento (*Ren*; t ha⁻¹) y huella hídrica (*HH*; m³ t⁻¹). El factor tensión de humedad ocasionó efectos significativos en todas las variables, con valores estadísticamente mayores en los niveles más húmedos (P; -10 kPa). La aplicación de Metavol VR® condujo a valores significativamente mayores en prácticamente en todas las variables de crecimiento, con excepción de *PPF* y *LPF*. Con relación al factor inoculación micorrízica, con excepción de las variables *PPF* y *DPF*, en el resto de variables se encontraron valores significativamente mayores con las dos cepas evaluadas. El valor más bajo para *HH* se encontró en el nivel de -10 kPa. Se concluye que el mejor nivel de tensión de humedad para manejar el agua de riego en el cultivo de chile habanero es el de -10 kPa, con el que se obtuvieron valores estadísticamente superiores en las variables de crecimiento y rendimiento del cultivo, así como la menor huella hídrica.

Palabras claves: Momento del riego, Productividad, Calidad de frutos, Eficiencia en el uso del agua.

Introducción

La demanda de chile habanero en los mercados nacional e internacional va en aumento, como resultado de su uso en múltiples procesos industriales y farmacéuticos. En México el uso del chile habanero en la comida es muy popular, con más relevancia en los estados del sureste, como Yucatán, Tabasco y Campeche. En los últimos años se ha ido incorporando su uso en la medicina, en la elaboración de cableados y en la industria de las pinturas debido a la presencia en el fruto de capsaicinoides, que determinan su picor y propiedades específicas. Del chile habanero se pueden extraer oleorresinas, las cuales, además de la industria alimentaria, se extienden a la industria química para la elaboración de pinturas y barnices, así como gases lacrimógenos (Ruiz, 2009).

La creciente exigencia global en cuanto a mejorar la eficiencia en el uso agrícola del agua, requiere explorar alternativas para reducir la cantidad del líquido que se utiliza con fines agrícolas sin afectar la productividad. Todos los productores de chile habanero en el sureste realizan su actividad productiva aplicando agua de riego con base únicamente en su experiencia, sin considerar mediciones de la humedad del suelo o de variables meteorológicas. Recientemente Gutiérrez-Gómez et al. (2018) demostraron que se puede realizar un manejo más eficiente del agua de riego en el chile habanero, aumentando la eficiencia del uso del agua en el cultivo. Aunque dichos autores generaron una recomendación para el manejo del riego con base en tensiometría, también concluyen que se requiere de más trabajos experimentales para afinar los resultados.

Con las nuevas tendencias de producción de manera sostenible y con cuidado del ambiente, se plantea también el uso de microorganismos y de productos generados por éstos, como es el caso de la utilización de hongos micorrízicos nativos, cuya función como biofertilizantes ha sido ampliamente demostrada (Alarcón et al., 2000), así como el uso de fertilizantes foliares, entre los que se incluye a elicitores proteicos que modifican la fisiología del cultivo para mejorar el funcionamiento de la planta, lo que eventualmente puede incidir en mejorar su rendimiento y tolerancia a la incidencia de enfermedades (Wei, et al., 1992). Ambas alternativas pueden eventualmente sustituir totalmente o en parte a los fertilizantes químicos y representan una mayor seguridad en cuanto a la inocuidad de los productos y la sostenibilidad de los sistemas de producción.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la aplicación de riego con base en diferentes valores de la tensión de humedad en el suelo, el efecto de la inoculación de hongos micorrízicos nativos, y la aplicación de fertilizantes foliares sobre el rendimiento del chile habanero a cielo abierto en el centro del estado de Campeche.

Materiales y Métodos

Ubicación

El trabajo se desarrolló de octubre del 2017 a abril del año 2018, en una parcela con chile habanero de un productor cooperante en la localidad de Xcampeu, ubicada en la

carretera Castamay-Tikinmul, en el municipio y estado de Campeche, con coordenadas 19° 47' 34" N, 90° 23' 54" O. El clima predominante corresponde al AW₀, según la clasificación de Koeppen modificada por García (1973), una de las variantes del clima AW, cuyas características son cálidos sub húmedos con lluvias en verano, que se distribuyen principalmente en los meses de mayo-octubre, con una precipitación y temperatura medias anuales de 1200 mm y 22 °C, respectivamente. El suelo de la parcela experimental se clasifica como luvisol férrico ródico de acuerdo a la clasificación de la FAO/UNESCO, de color rojo (kan'kab de acuerdo a la clasificación maya).

Material vegetal

Se estableció el híbrido denominado Chichen Itzá, uno de los más empleados por los productores de chile habanero en Campeche.

Factores evaluados y tratamientos

Se probaron los factores: 1. Riego, 2. Aplicación de fertilizantes foliares y 3. Inoculación micorrízica. Se usó un arreglo de parcelas subdivididas alojado en un diseño experimental de bloques completos al azar, con el factor riego en la parcela grande, el factor fertilizantes foliares en la parcela mediana y el factor inoculación micorrízica en la parcela chica. El factor riego tuvo cuatro niveles: aplicación de riego cuando la tensión de humedad en el suelo fue de -10 kPa, -25 kPa, -40 kPa y según el manejo dado por los productores (P), de manera similar a los trabajos de Rivera-Hernández et al., (2009, 2010), Alamilla-Magaña et al. (2016) y Gutiérrez-Gómez et al. (2018). El factor fertilizantes foliares tuvo tres niveles: aplicación de Messenger ® (proteína harpin); aplicación de Metavol VR® (fertilizante orgánico) y testigo sin aplicaciones de productos. El factor inoculación micorrízica tuvo tres niveles: cepa cayal, cepa sihochac y testigo sin inocular. La combinación de los niveles de los tres factores dio como resultado la evaluación de 27 tratamientos evaluados en un arreglo de parcelas subdivididas alojado en un diseño experimental de bloques completos, con tres repeticiones (bloques) cada uno.

Aplicación de riegos y cuantificación de la lluvia

Los riegos fueron aplicados cuando la tensión de humedad tomó los valores correspondientes a cada tratamiento, utilizando un sistema de riego por goteo, con cintillas T-tape®, cuyo gasto fue de 3.5 litros por metro de cinta por hora. La tensión de humedad se midió con tensiómetros de manómetro de la marca Irrrometer®, cuya cápsula porosa se instaló a 30 cm de profundidad inmediatamente debajo de la cinta de riego. Para el manejo del riego dado por los productores, la aplicación de agua se realizó al mismo tiempo que el productor cooperante, según el manejo que dio al resto de su parcela. Con base en el número de riegos y su duración se estimó la lámina de riego aplicada en cada tratamiento. La presencia de precipitación pluvial se cuantificó en un pluviómetro colocado a un costado de la parcela experimental. Las mediciones de la lluvia se realizaron todos los días a las ocho de la mañana.

Aplicación de fertilizantes foliares

Se han desarrollado compuestos inductores cuya finalidad consiste en desencadenar una serie de procesos en las plantas para activar la defensa intracelular que puedan proteger a los cultivos del ataque de patógenos (Schreiber y Desveaux, 2008). El uso de elicitores como fertilizante foliares son una alternativa en el manejo de enfermedades en cultivos de importancia agrícola. Se probó el elicitor Messenger® (que contiene a la proteína Harpin) y el fertilizante orgánico Metavol VR®. En total se realizaron 15 aplicaciones de Messenger® y Metavol VR® durante el ciclo del cultivo, de acuerdo con los tratamientos evaluados, en dosis de 150 ml y 5 g respectivamente, diluidos en cuatro litros de agua en ambos casos. El producto mezclado se asperjó en las parcelas medianas en el arreglo de parcelas subdivididas, a una dosis de 2.48 litros de Messenger® y 66 g de Metavol VR® por hectárea.

Inoculación de micorrizas

La inoculación con micorrizas se realizó una semana después del trasplante, enterrando los hongos micorrízicos inmediatamente a un costado de las raíces de las plántulas. Se emplearon las cepas de hongos Cayal y Sihochac, que fueron aisladas en Campeche, y cuya efectividad fue probada en limón y en chile habanero a nivel invernadero (Quséhuatl et al., 2017, comunicación personal).

Unidades experimentales

Las unidades experimentales para la parcela grande consistieron de surcos de 36 m de largo; para la parcela mediana de 12 m, y para la parcela chica de cuatro metros de largo. Los tratamientos se asignaron al azar a las unidades experimentales dentro de cada parcela grande, mediana y chica. Cada parcela grande tuvo una dimensión de 36 m de largo por tres surcos espaciados a 1.4 m, con un área de 151.2 metros cuadrados. Las parcelas medianas fueron de 12 m de largo por tres surcos de ancho, con un área de 50.4 metros cuadrados y las parcelas chicas fueron de 4 m de largo por tres surcos de ancho, con área de 16.8 metros cuadrados.

Variables de respuesta

Variables de crecimiento y rendimiento

Se determinaron las siguientes variables: Número (*NFP*) y peso (*PFPP*) de frutos por planta en cada corte en las plantas seleccionadas. De los frutos cosechados se tomó una muestra representativa de aproximadamente el 20% de los frutos, en los que se determinó su peso (*PPF*), longitud (*LPF*) y diámetro (*DPF*). Con los valores del peso de frutos por planta y el número de plantas por hectárea, se estimó el rendimiento (*Ren*) en toneladas por hectárea del cultivo para cada tratamiento.

Eficiencia en el uso del agua y huella hídrica.

Con los valores de la lámina de riego para cada nivel de aplicación de riego, y con las mediciones de la lluvia incidente en la parcela experimental se determinaron los valores

de la eficiencia en el uso del agua de riego, la eficiencia en el uso total del agua por el cultivo y la huella hídrica, con las siguientes ecuaciones:

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

$$EUAT = \frac{R}{(Lr+Pp)} \quad (2)$$

$$HH = \frac{VT}{Ren} \quad (3)$$

Donde: $EUAr$ = Eficiencia en el uso del agua de riego ($t\ ha^{-1}\ mm^{-1}$); Ren = rendimiento del cultivo ($t\ ha^{-1}$); Lr = Lámina de riego aplicada (mm); $EUAT$ = Eficiencia en el uso total del agua ($t\ ha^{-1}\ mm^{-1}$); Pp = Precipitación (mm); HH = Huella hídrica ($m^3\ t^{-1}$); VT = Volumen total de agua aplicada al cultivo ($m^3\ ha^{-1}$).

El valor de $EUAr$ es un indicador de la cantidad de frutos producidos por el cultivo por cada milímetro de lámina de riego aplicada, $EUAT$ define la cantidad de frutos producidos por cada milímetro de agua que recibe el cultivo (riego más lluvia), y HH se refiere a la cantidad total de agua requerida para producir una tonelada de chile habanero. Los valores que toman estos tres indicadores son una medida de la sostenibilidad en el uso agrícola del agua.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza del arreglo de parcelas subdivididas alojado en un diseño experimental de bloques completos al azar con el uso de los paquetes estadísticos SAS (Statistical Analysis System, 2003) e Infostat (2010). En los efectos principales, interacciones simples y triple interacción entre factores en los que se detectaron efectos significativos se realizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (Tukey, 1991), con un nivel de significancia $p=0.05$.

Resultados y Discusión

Horas y láminas de riego

La aplicación diferenciada de agua de riego en los diferentes niveles de tensión de humedad en el suelo tuvo como resultado un número diferente de horas de suministro de agua. El productor regó prácticamente todos los días puesto que el cultivo se estableció en la temporada de secas. El agua de lluvia total durante el ciclo del cultivo fue de solo 250.7 mm durante cinco meses, siendo febrero y marzo de 2018 los meses más secos. Por ello la duración total de los riegos dada por el productor fue la mayor, de casi 280 horas. Evidentemente, a mayor tensión de humedad en el suelo la aplicación de riegos fue menor: en el tratamiento de -40 kPa sólo se aplicaron riegos con una duración total de 105 horas y 30 minutos (193 horas 20 minutos para -10 kPa y 144 horas 50 minutos

para -25 kPa). Se calculó la cantidad total de agua aplicada para cada nivel de riego, que luego fue transformada en lámina. Los valores obtenidos se muestran en la Figura 1, en la que se observa que el productor aplicó una cantidad elevada de agua, que casi cubre por sí sola las necesidades hídricas del cultivo, que según Ramírez et al. (2006) y Rangel (2016) ascienden a alrededor de 750 mm por ciclo. En los niveles en los que se aplicó el riego con base en las lecturas de los tensiómetros las láminas de riego fueron sensiblemente menores, incluyendo el de -10 kPa, el más húmedo, en el que se aplicaron 429.4 mm de lámina de riego en promedio, prácticamente 200 mm menos que el productor, sin que ello haya afectado significativamente el rendimiento del cultivo.

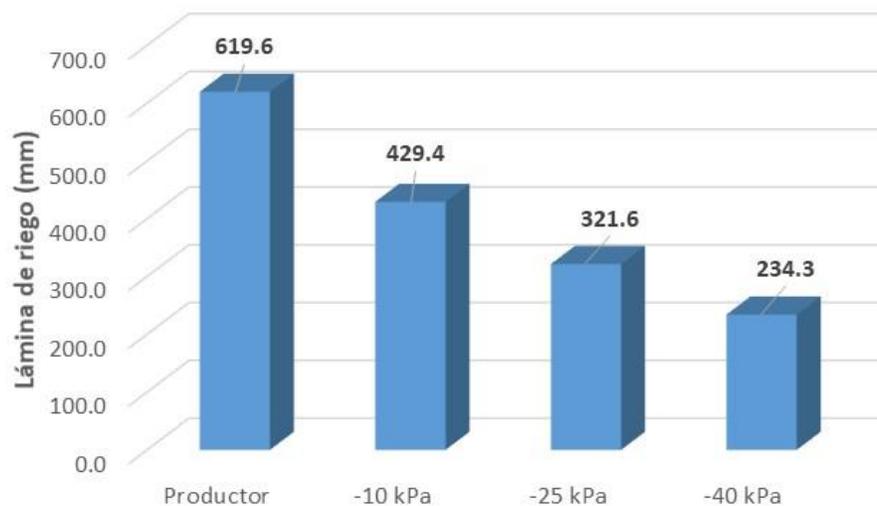


Figura 1. Láminas de riego para cada nivel de tensión de humedad en el suelo, y aplicada por el productor.

Tensión de humedad

En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos del análisis estadístico del diseño en parcelas subdivididas para las variables evaluadas, como resultado del efecto principal del factor tensión de humedad. Los diferentes niveles del factor tuvieron efectos estadísticamente significativos en todas las variables, con valores estadísticamente mayores en los niveles más húmedos (manejo del productor y riego a -10 kPa).

Estos resultados confirman lo encontrado por Gutiérrez et al. (2018), quienes, en un trabajo similar, pero considerando únicamente al factor tensión de humedad, obtuvieron los mayores rendimientos en el cultivo de chile habanero a las tensiones más bajas.

Cabe señalar que con excepción del *NFPP*, variable en la que el valor significativamente más elevado se obtuvo con el manejo del riego dado por el productor (P), en las demás variables se obtuvieron valores estadísticamente mayores aplicando el agua a una tensión de -10 kPa (*PPF*, *LPF*, *DPF*), por encima de los valores observados con el manejo del productor, o bien estadísticamente iguales en ambos tratamientos (*PFPP*, *Ren*), a

pesar de que aplicando el riego a -10kPa se utilizó menos agua de riego que con el manejo del productor.

Cuadro 1. Efecto de la tensión de humedad sobre las variables de crecimiento, tamaño del fruto y rendimiento

Nivel de riego (kPa)	<i>NFPP</i>	<i>PFPP</i> (g)	<i>PPF</i> (g)	<i>LPF</i> (cm)	<i>DPF</i> (cm)	<i>Ren</i> (t ha ⁻¹)
P	253.8 a	2021.9 a	9.22 b	4.20 b	2.71 b	38.88 a
-10	219.4 b	1944.8 a	10.15 a	4.67 a	2.95 a	37.40 a
-25	162.5 c	1227.5 b	8.68 b	3.93 c	2.69 b	23.60 b
-40	144.9 c	1054.9 c	8.80 b	4.19 b	2.89 a	20.29 c
DMS	18.4	163.1	0.87	0.29	0.15	3.15

Notas: P = Manejo del riego por el productor cooperante. *NFPP* = Número de frutos por planta; *PFPP* = Peso promedio de los frutos por planta (g); *PPF* = Peso promedio de los frutos (g); *LPF* = Longitud promedio de frutos (cm); *DPF* = Diámetro promedio de frutos (cm); *Ren* = Rendimiento (t ha⁻¹); *DMS* = Diferencia mínima significativa (Tukey p=0.05). Medias con la misma literal en columna no son estadísticamente diferentes (Tukey p=0.05).

En la Figura 2 se muestra la evolución de los valores de las variables peso (*PFPP*) y número de frutos por planta (*NFPP*). Se observa claramente cómo al aumentar la tensión de humedad en el suelo los valores de ambas variables se reducen significativamente, con valores estadísticamente mayores para las tensiones más bajas: en la variable *PFPP* el efecto de los niveles P y -10 kPa condujo a valores significativamente mayores, estadísticamente iguales en ambos casos. En la variable *NFPP* el valor estadísticamente más alto se observó en el manejo del riego del productor, seguido del riego a -10 kPa.

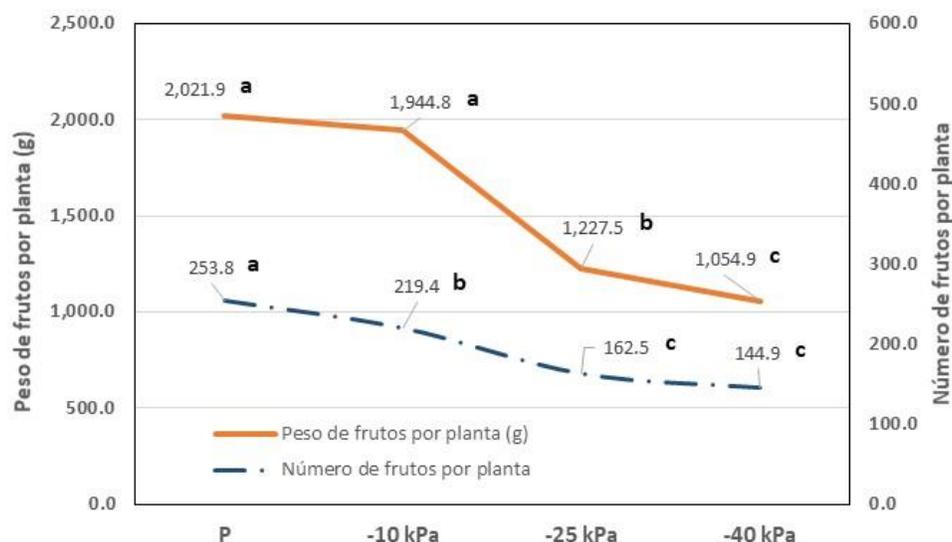


Figura 2. Peso y número de frutos por planta para los diferentes niveles del factor tensión de humedad. Medias seguidas de la misma literal no son estadísticamente diferentes (Tukey, p=0.05).

En la Figura 3 se incluyen los resultados obtenidos en PPF (g) y Ren ($t\ ha^{-1}$) como función de los diferentes niveles evaluados para el factor riego. En PPF el valor significativamente mayor se encontró para el riego aplicado a $-10\ kPa$, estadísticamente superior al resto de niveles, que resultaron con efectos estadísticamente iguales. Por su parte, Ren presentó valores estadísticamente mayores para el manejo del riego dado por el productor y para el riego aplicado a $-10\ kPa$, estadísticamente iguales, seguidos del riego aplicado a $-25\ kPa$, menor estadísticamente a los anteriores, con el valor estadísticamente más bajo cuando el riego se aplicó a $-40\ kPa$. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Gutiérrez et al (2018), quienes encontraron valores significativamente mayores en Ren cuando los riegos se aplicaron a $-10\ kPa$. Sin embargo, nuestro trabajo sirvió para mejorar la precisión en la recomendación: a diferencia de Gutiérrez et al (2018) en nuestro trabajo los niveles de riego explorados se concentraron en el rango de $-10\ kPa$ a $-40\ kPa$, más estrecho que el explorado por dichos autores, que se extendió desde $-10\ kPa$ hasta $-70\ kPa$, y quienes recomendaron explorar el rango utilizado aquí. Con esta base, se recomienda aplicar el riego al cultivo a una tensión de humedad de $-10\ kPa$, puesto que el rendimiento fue estadísticamente igual al obtenido con el manejo del riego dado por el productor, pero con la aplicación de menos agua de riego (Figura 4).

Eficiencia en el uso del agua y huella hídrica

En el Cuadro 2 se muestran los valores utilizados para el cálculo de la eficiencia en uso del agua de riego $EUAr$, de la eficiencia en el uso total del agua $EUAT$ y de la huella hídrica HH para cada nivel del factor, y en la Figura 4 se ilustra el comportamiento de esas variables para cada nivel de riego.

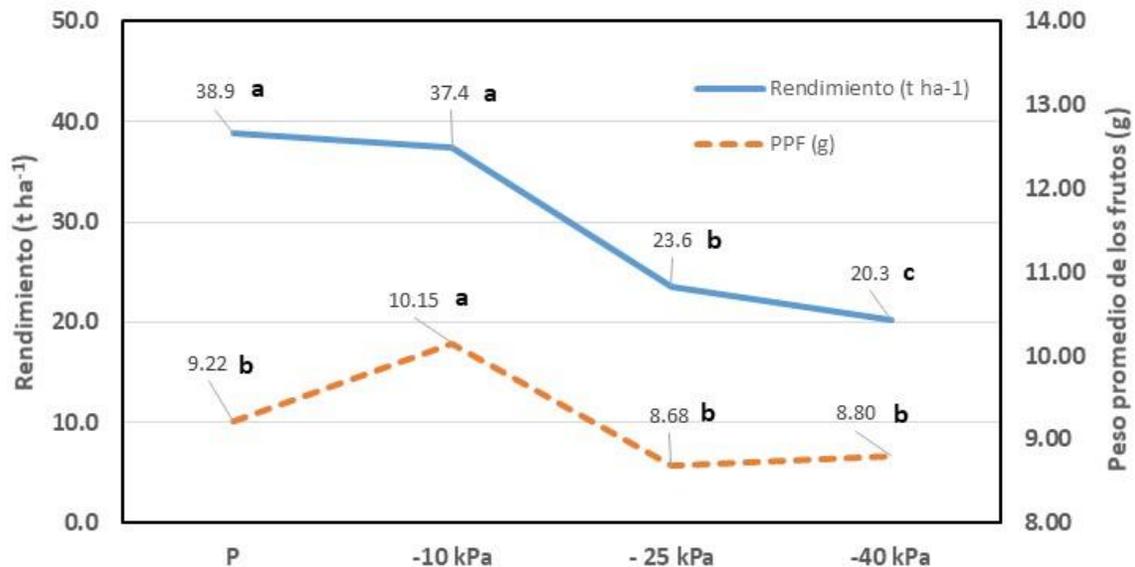


Figura 3. Peso promedio de los frutos de chile habanero y rendimiento estimado para los diferentes niveles del factor tensión de humedad. Medias seguidas de la misma literal no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p=0.05$).

Cuadro 2. Eficiencias en el uso del agua y huella hídrica en el cultivo de chile habanero

Niveles del factor riego	Lámina de riego (mm)	Lluvia (mm)	Lluvia más riego (mm)	<i>EUA</i> r (t ha ⁻¹ mm ⁻¹)	<i>EUA</i> T (t ha ⁻¹ mm ⁻¹)	<i>HH</i> (m ³ t ⁻¹)
Productor	619.6	250.7	870.3	0.063	0.045	223.73
-10 kPa	429.4	250.7	680.0	0.087	0.055	181.82
-25 kPa	321.6	250.7	572.3	0.073	0.041	242.50
-40 kPa	234.3	250.7	484.9	0.087	0.042	238.87

La *EUA*r más baja se encontró con el manejo del productor, ya que, aunque se obtuvo el rendimiento promedio más alto (estadísticamente igual al obtenido a -10 kPa), fue quien aplicó la mayor lámina de agua de riego. Los valores más altos se obtuvieron en los niveles de -10 y -40 kPa, con una ganancia global de 87 kilogramos por hectárea de fruto por cada mm de agua de riego aplicada. La obtención de valores prácticamente iguales a -10 y -40 kPa puede atribuirse a que el rendimiento disminuye prácticamente en la misma proporción en la que se reduce la lámina de riego en ese rango de tensiones, por lo que la relación entre estas variables se mantiene aproximadamente constante. Un resultado similar fue encontrado por Gutiérrez *et al.* (2018), quienes encontraron valores en chile habanero para la *EUA*r de 0.044 y 0.039 t ha⁻¹ mm⁻¹, a las tensiones de -10 y -40 kPa, respectivamente, valores muy similares entre sí.

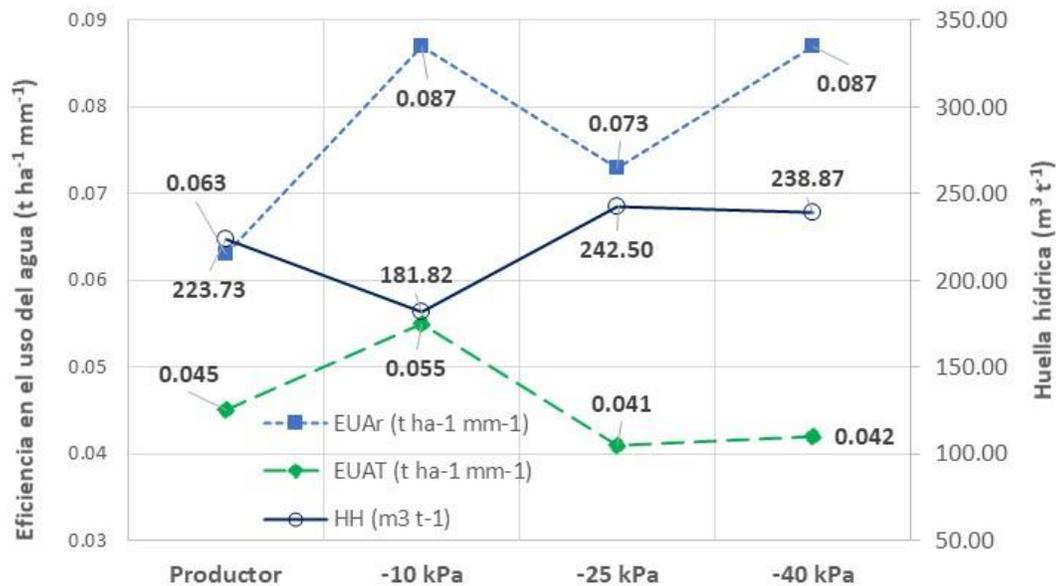


Figura 4. Eficiencia del uso del agua de riego (*EUA*r), Eficiencia en el uso total de agua (*EUA*T) y Huella hídrica (*HH*) para cada nivel evaluado del factor riego.

Cuando se considera también el agua de lluvia, la eficiencia en el uso total del agua que recibió el cultivo *EUAT* resultó mayor en el tratamiento de -10 kPa, de 55 kilogramos de frutos producidos por cada milímetro de lámina de agua recibida por el cultivo. En el resto de los niveles del factor riego los valores observados son muy similares incluyendo el manejo del productor (Cuadro 2 y Figura 4).

El valor más bajo para *HH* se encontró en el nivel de -10 kPa, como resultado de un rendimiento estadísticamente igual al obtenido con el manejo del riego dado por el productor, pero con una aplicación de agua de riego 30.7% menor (Cuadro 2). Los mayores valores para *HH* se observaron a los niveles de -20 y -40 kPa, en los que, aunque se aplicó menos agua de riego, el rendimiento del cultivo fue también menor (Cuadro 2 y Figura 4). Con base en estos resultados y considerando los valores encontrados para *HH* y *EUAr*, se puede señalar que el mejor nivel para manejar el agua de riego en el cultivo de chile habanero es el de -10 kPa. Un resultado similar fue encontrado por Gutiérrez et al., (2018) quienes encontraron valores estadísticamente iguales en *Ren* a -10 kPa y el manejo de los productores, pero con una mayor *EUAr* en el tratamiento de -10 kPa, resultado similar al obtenido en el presente estudio.

Aplicación de fertilizantes foliares

En el Cuadro 3 se muestran los resultados del análisis estadístico de las variables de crecimiento, tamaño del fruto y rendimiento, como resultado de la aplicación del efecto principal del factor fertilizantes foliares. Prácticamente en todas las variables de crecimiento evaluadas se obtuvieron valores estadísticamente mayores con la aplicación de Metavol VR®, con excepción de las variables *PPF* y *LPF*, en las que se obtuvieron valores estadísticamente iguales en todos los niveles.

Cuadro 3. Efecto de la aplicación de fertilizantes foliares sobre las variables de crecimiento, tamaño del fruto y rendimiento.

Elicitor	<i>NFPP</i>		<i>PFPP</i> (g)		<i>PPF</i> (g)		<i>LPF</i> (cm)		<i>DPF</i> (cm)		<i>Ren</i> (t ha ⁻¹)	
Messenger	179.4	b	1438.8	b	9.03	a	4.18	a	2.78	ab	27.67	b
Metavol	218.7	a	1705.1	a	9.3	a	4.27	a	2.89	a	32.79	a
Testigo	187.3	b	1542.9	b	9.32	a	4.29	a	2.75	b	29.67	b
DMS	16.6		139.5		0.56		0.19		0.14		2.68	

Notas: *NFPP* = Número de frutos por planta; *PFPP* = Peso promedio de los frutos por planta (g); *PPF* = Peso promedio de los frutos (g); *LPF* = Longitud promedio de frutos (cm); *DPF* = Diámetro promedio de frutos (cm); *Ren* = Rendimiento (t ha⁻¹); DMS = Diferencia mínima significativa (Tukey p=0.05). Medias con la misma literal en columna no son estadísticamente diferentes (Tukey p=0.05).

En la Figura 5 se muestra el efecto de la aplicación de Messenger® (harpin) de Metavol VR® y Testigo (sin productos) sobre las variables peso y número de frutos por planta. En ambas variables la aplicación de Metavol VR® dio como resultado valores significativamente más grandes que con la aplicación de Messenger® (harpin), con el que no se encontraron efectos estadísticamente diferentes respecto de lo encontrado en el

testigo. Por lo que respecta a las variables longitud y diámetro promedio de los frutos, no se detectaron efectos significativos de ninguno de los productos aplicados.

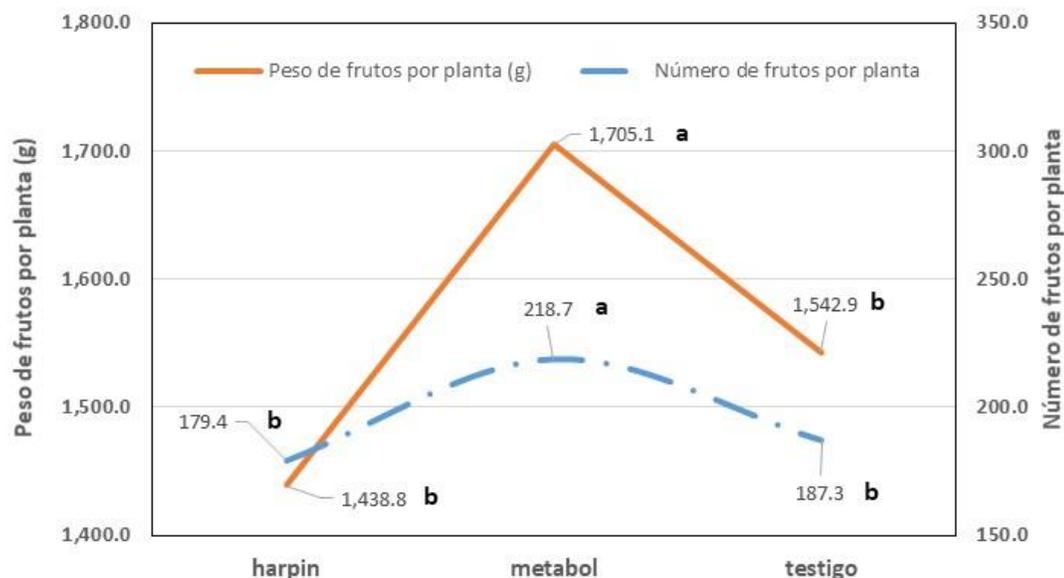


Figura 5. Peso y número de frutos por planta para los diferentes niveles del factor aplicación de fertilizantes foliares. Medias seguidas de la misma literal no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p=0.05$).

En la Figura 6 se ilustra el comportamiento de las variables *PPF* y *Ren* como función de los productos aplicados y el testigo. El *PPF* no fue afectado significativamente por la aplicación de los productos. En cambio, en *Ren* el valor significativamente más alto ($p=0.05$) se observó con la aplicación de Metavol VR[®] en la dosis y frecuencia utilizada en este estudio. La aplicación de Messenger[®] (harpin) no produjo aumentos en el rendimiento.

Inoculación de hongos micorrízicos

En el Cuadro 4 se muestran los resultados del análisis estadístico del diseño en parcelas subdivididas para las variables de crecimiento, tamaño del fruto y rendimiento, como resultado del efecto principal del factor inoculación micorrízica. Con excepción de las variables *PPF* y *DPF*, en el resto de variables se encontraron efectos significativos de la inoculación a las plantas de chile con hongos micorrízicos. La variable *PFPP* resultó estadísticamente mayor con la aplicación de los consorcios de cepas Cayal y Sihochac con relación a los valores observados en el testigo (Figura 7), lo que es una evidencia de la conveniencia de aplicar hongos micorrízicos en chile habanero, puesto que *PFPP* está íntimamente relacionado con el rendimiento final a obtener. También en la variable *NFPP* se observaron valores significativamente mayores en las plantas inoculadas con ambas cepas con relación al valor promedio en el testigo. El valor mayor de *NFPP* en las plantas micorrizadas condujo también a la obtención de un mayor *PFPP*.

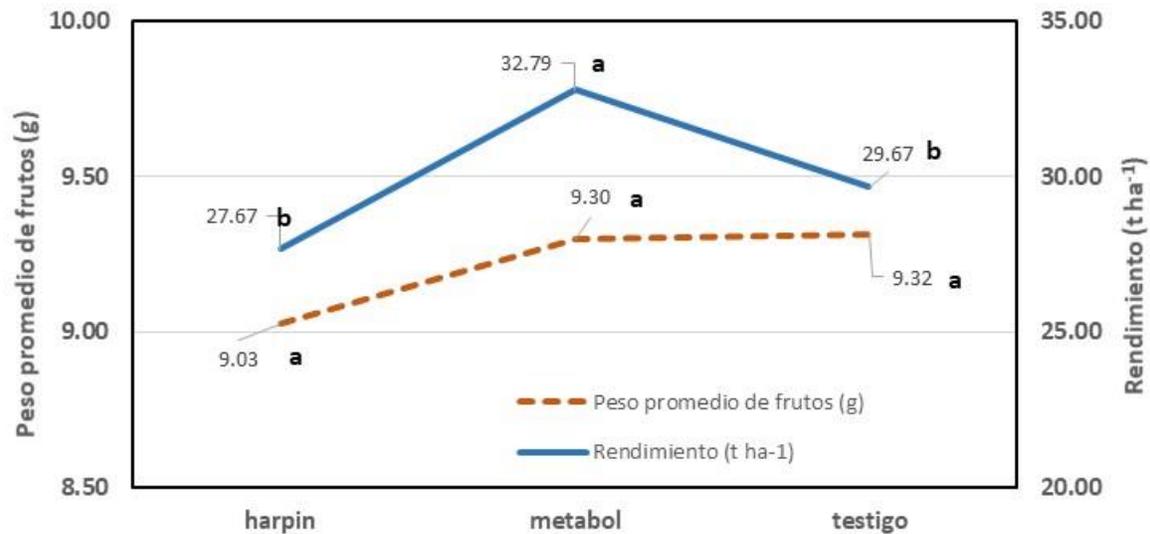


Figura 6. Peso promedio de los frutos de chile habanero y rendimiento estimado para los diferentes niveles del factor fertilizantes foliares. Medias seguidas de la misma literal no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p=0.05$).

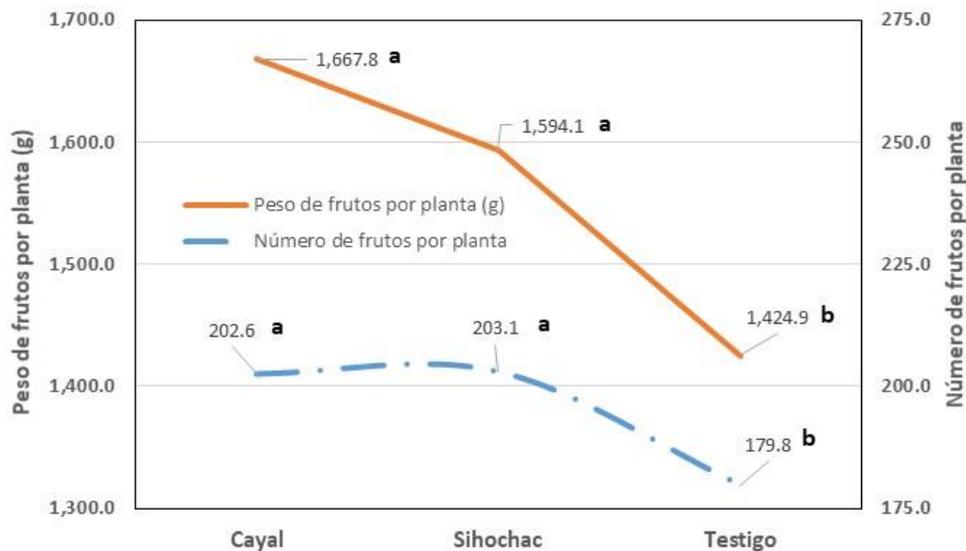


Figura 7. Peso y número de frutos por planta para los diferentes niveles del factor aplicación de consorcios micorrízicos. Medias seguidas de la misma literal no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p=0.05$).

En la Figura 8 se muestra la respuesta de las variables *PPF* y *Ren* a la aplicación de los consorcios de hongos micorrízicos. El *PPF* no mostró ningún efecto de la inoculación micorrízica, puesto que en todos los casos los valores medios resultaron estadísticamente iguales para ambas cepas y el testigo. Por lo que respecta a *Ren*, valores significativamente mayores se encontraron con la inoculación micorrízica en

ambas cepas, con valores estadísticamente mayores a los encontrados en el testigo ($p=0.05$). Este resultado confirma que la aplicación de micorrizas en campo tiene un efecto benéfico sobre el rendimiento del chile habanero.

Cuadro 4. Efecto de la inoculación de hongos micorrízicos sobre las variables de crecimiento, tamaño del fruto y rendimiento

Consortio micorrízico	NFPP	PFPP (g)	PPF (g)	LPF (cm)	DPF (cm)	Ren (t ha ⁻¹)
Cayal	202.6 a	1667.8 a	9.43 a	4.46 a	2.86 a	32.07 a
Sihochac	203.1 a	1594.1 a	9.01 a	4.06 c	2.77 a	30.64 a
Testigo	179.8 b	1424.9 b	9.2 a	4.23 b	2.79 a	27.41 b
DMS	16.6	120	0.52	0.16	0.12	2.31

Notas: NFPP = Número de frutos por planta; PFPP = Peso promedio de los frutos por planta (g); PPF = Peso promedio de los frutos (g); LPF = Longitud promedio de frutos (cm); DPF = Diámetro promedio de frutos (cm); Ren = Rendimiento (t ha⁻¹); DMS = Diferencia mínima significativa (Tukey $p=0.05$). Medias con la misma literal en columna no son estadísticamente diferentes (Tukey $p=0.05$).

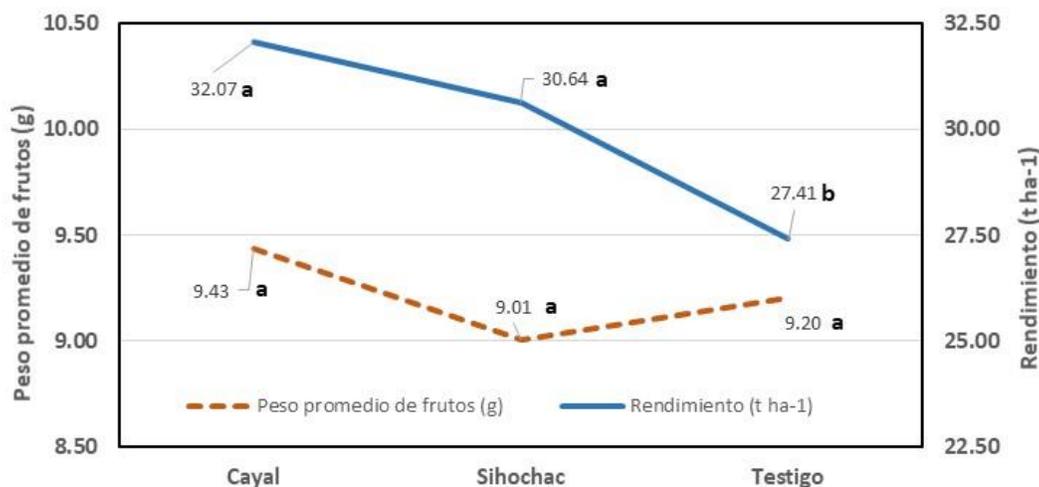


Figura 8. Peso promedio de los frutos de chile habanero y rendimiento estimado para los diferentes niveles del efecto principal del factor aplicación de consorcios micorrízicos. Medias seguidas de la misma literal no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p=0.05$).

Conclusiones

La aplicación diferenciada de riegos con base en la tensión de humedad del suelo produjo efectos estadísticamente significativos en todas las variables evaluadas. El riego aplicado a una tensión de humedad de -10 kPa dio como resultado un rendimiento estadísticamente igual al obtenido por el productor, pero con la aplicación de una lámina de riego 30.7% menor, mayor eficiencia en el uso del agua de riego, mayor eficiencia en el uso total del agua y menor huella hídrica, valores tomados en cuenta en la evaluación

de la sostenibilidad en el uso del recurso. Para esa misma tensión de humedad el peso, largo y diámetro de los frutos fueron significativamente mayores, superiores a los obtenidos en los otros niveles, incluyendo el manejo del riego dado por el productor.

La aplicación de Metavol VR® condujo a la obtención de un rendimiento significativamente mayor en el cultivo, y produjo estadísticamente más frutos por planta y de mayor peso respecto del producto Messenger® y el testigo.

La inoculación de hongos micorrízicos nativos tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre las variables número y peso de frutos por planta y rendimiento del cultivo de chile habanero.

Referencias Bibliográficas

Alamilla-Magaña, J.C., Carrillo-Ávila, E., Obrador-Olán, J.J., Landeros-Sánchez, C., Vera-López, J., Juárez-López, J.F. (2016). Soil moisture tension effect on sugar cane growth and yield. *Agric. Water Manag.* 177, 264–273.

Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., González-Chávez, M.C., Villegas-Monter, A. (2000). Hongos micorrízicos arbusculares en la dinámica de aparición de estolones y nutrición de plantas de fresa cv. Fern obtenidas por cultivo in vitro. *Terra Latinoamericana*, 18(3), 211-218.

García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Segunda edición corregida y aumentada. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Gutiérrez-Gómez, C., Carrillo-Ávila, E., Landeros-Sánchez, C., Coh Méndez, D., Monsalvo-Espinosa, A., Arreola-Enríquez, J., 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, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.038>.

Infostat. 2010. Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=15> (Fecha de consulta: 14 de abril de 2019).

Ramírez, J.G., Avilés, B. W., Dzip, E.R. (2006). Áreas con potencial productivo para chile habanero (*Capsicum chinense*, Jacq) en el estado de Yucatán. En: Primera reunión nacional de innovación agrícola y forestal. INIFAP, COFUPRO, CICY, AMEAS y otras instituciones. Mérida, Yucatán, México. 66 p.

Rangel, C.L. (2016). Crecimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferente espaciado entre hileras en la Comarca Lagunera. Tesis de Maestría

en Ciencias Agrarias. Subdirección de Postgrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 51 p.

- Rivera-Hernández, B., Carrillo-Ávila, E., Obrador-Olán, J.J., Juárez-López, J.F., Aceves-Navarro, L.A., 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. *Agric. Water Manag.* 96, 1285–1292.
- Rivera-Hernández, B., Carrillo-Ávila, E., Obrador-Olán, J.J., Juárez-López, J.F., 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. *Agric. Water Manag.* 97, 1365–1374.
- Ruiz, B.R. 2009. Potencial productivo y limitantes para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en la zona centro del estado de Veracruz. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Manlio F. Altamirano, Veracruz, México.
- Schreiber K., Desveaux D. (2008). Message in a bottle: chemical biology of induced disease resistance in plants. *Plant Pathol. J.* 24, 245–268.
- Wei, Z. M., Laby, R. J., Zumoff, C. H., Bauer, D. W., He, S. Y., Collmer, A., & Beer, S. V. (1992). Harpin, elicitor of the hypersensitive response produced by the plant pathogen *Erwinia amylovora*. *Science*, 257(5066), 85-88.