

RESPUESTA DEL CHILE HUACLE (*Capsicum annuum* L.) AL ESTRÉS HÍDRICO BAJO INVERNADERO

Jair Sanjuan-Martínez¹, Yolanda Donají Ortiz-Hernández², Teodulfo Aquino-Bolaños², Serafín Cruz-Izquierdo³, Rafael Pérez-Pacheco²

¹Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Sur, Zimatlán de Álvarez, 71200, Oaxaca, México.

²Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación Para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR-Oaxaca), Santa Cruz Xoxocotlán, 71230, Oaxaca, México.

³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, Recursos Genéticos y Productividad, Fisiología Vegetal, Montecillo, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: yortiz@ipn.mx

RESUMEN

La restricción del agua y altas temperaturas son factores limitantes que afectan el desarrollo de las plantas. En este estudio se evaluó el efecto del estrés hídrico en chile Huacle negro con tres intervalos de tensión de humedad en el suelo (10 a 20, 21 a 30 y 31 a 40 kPa) en camas de siembra con y sin acolchado de 0.9 m de ancho y 6.0 m de largo. Se utilizó un diseño bifactorial con cuatro repeticiones conformadas con 18 plantas cada una. Se evaluaron 27 variables en planta y fruto. La mayor disponibilidad de humedad en el suelo con acolchado aumentó 85% los botones florales, 89% las flores y 61% los frutos respecto al tratamiento con mayor estrés hídrico sin acolchado; además, presentó el mayor rendimiento de fruto seco (122.9 g), frutos más dulces (20.4%), tasa de asimilación neta (0.11 g cm² d⁻¹), tasa de crecimiento absoluto (2.72 g d⁻¹) y tasa de crecimiento relativo (0.13 g g⁻¹ d⁻¹). La menor tensión de humedad en el suelo produjo mayor altura de planta (65.3 cm) y diámetro del tallo (11 mm). Por último, la mayor tensión de humedad en el suelo con acolchado ocasionó 30% de senescencia.

Palabras claves: calidad de fruto, fenología, índices fisiológicos.

INTRODUCCIÓN

El género *Capsicum* incluye más de 30 especies de las cuales *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. pubescens* son domesticados y cultivados para su consumo en fresco, seco o procesados; sus principales usos son: en la preparación de alimentos, elaboración de cosméticos, productos farmacéuticos y el control de plagas (Ramchiary y Kole, 2019).

Debido a los diferentes climas, microclimas y edafología de México, podemos encontrar una gran variedad de chiles nativos distribuidos a lo largo y ancho del país (Aguilar *et al.*, 2018). Oaxaca es uno de los estados con mayor diversidad de chiles nativos, dentro de los cuales se encuentra el chile Huacle negro (*Capsicum annuum* L.) (Sanjuan *et al.*, 2020), cultivado en la región de la Cañada Oaxaqueña, de gran valor e importancia por ser el ingrediente principal del internacional mole negro de Oaxaca (García *et al.*, 2017). Este chile generalmente es cultivado a cielo abierto con riego rodado, para su manejo se emplean alrededor de 200 jornales ha⁻¹ (López *et al.*, 2016), con rendimiento promedio de 1.0 t ha⁻¹ de fruto deshidratado (Aguilar *et al.*, 2010) con frutos de 10 cm de largo y 8 cm de ancho de tonalidad negra en estado maduro (García *et al.*, 2017), lo que genera entre 400,000 a 800,000 pesos de ingresos según la época de venta (López *et al.*, 2016); a pesar

Citation: Sanjuan-Martínez J, Ortiz-Hernández YD, Aquino-Bolaños T, Cruz-Izquierdo S, Pérez-Pacheco R. 2022. Respuesta del chile huacle (*Capsicum annuum* L.) Al estrés hídrico bajo invernadero. Agricultura, Sociedad y Desarrollo <https://doi.org/10.22231/asyd.v19i4.1382>

Editor in Chief:
Dr. Benito Ramírez Valverde

Received: November 25, 2020.
Approved: September 20, 2021.

Estimated publication date:
January 30, 2023.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



de lo anterior, se ha catalogado como un cultivo en peligro de extinción (Sanjuan y Martínez, 2022). Es por ello, en años recientes se han realizado estudios para evaluar el efecto de estructuras de protección, sistemas de riego localizado y nutrición controlada, densidades de podas en el cultivo de chile Huacle negro con el objetivo de mejorar la producción y calidad del cultivo (San Juan *et al.*, 2019; Urbina *et al.*, 2020; Martínez *et al.*, 2022).

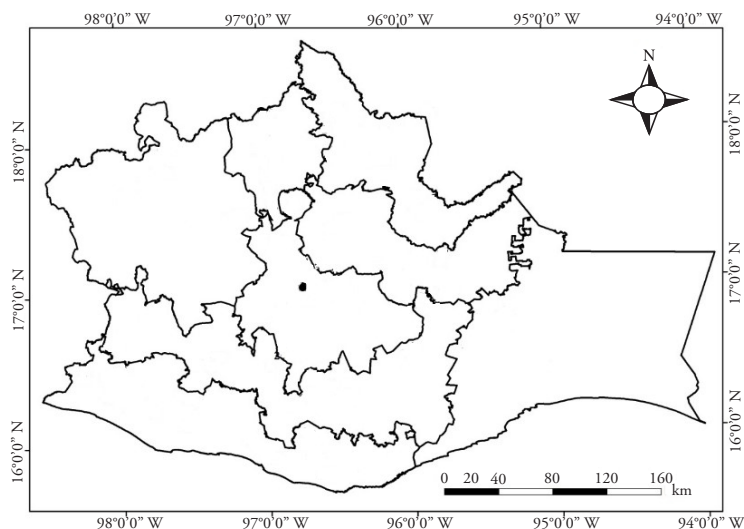
En *Capsicum* spp. se ha identificado que el déficit hídrico afecta principalmente: la altura de planta, área foliar, rendimiento (Quintal *et al.*, 2012), número de flores y la calidad de los frutos (Quesada, 2015). Sezen *et al.* (2019) reportan que la fenología y fisiología de las plantas es afectada por la disponibilidad de agua y factores ambientales. Por otra parte, se ha demostrado que el uso de acolchados plásticos, cintillas de riego entre otras técnicas, mejoran el manejo y aprovechamiento del agua (Cosgrove y Rijisberman, 2014), reduciendo hasta 50% el consumo de agua, influyendo en la altura de planta, índice de área foliar, peso y calidad de fruto de un 10 a 15% (Dong *et al.*, 2014), ya que propicia una mejor condición de humedad en el suelo al evitar la pérdida de agua por evaporación y reduce la presencia de malezas (Bahena *et al.*, 2012; Inzunza *et al.*, 2017). Lo anterior es de gran importancia debido a que la agricultura consume el 70% del agua dulce que se extrae anualmente en el mundo (Villalobos *et al.*, 2017); además que el agua constituye del 80 a 95% de los tejidos en crecimiento de las plantas (Quintal *et al.*, 2012).

En Oaxaca se han realizado trabajos con cultivos nativos como el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Pliego *et al.*, 2013; Aguilar *et al.*, 2019), con el fin de identificar la respuesta de estos materiales genéticos a la disponibilidad hídrica; asimismo, en tomate verde o tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*) se ha determinado el consumo de agua y el rendimiento bajo cubierta (Ramos *et al.*, 2017) por su parte, Cruz *et al.* (2018) reportan el uso de acolchado plástico y macrotúneles en la producción de chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Estas investigaciones han permitido mejorar su producción y la calidad de los cultivos, así como aumentar la eficiencia en el uso del agua.

De acuerdo a lo anterior, el objetivo de esta investigación fue mejorar la disponibilidad hídrica de chile Huacle negro, cultivado bajo cubierta plástica con tres niveles de humedad en camas con y sin acolchado plástico; además de evaluar su efecto en aspectos fenológicos, morfológicos, fisiológicos y calidad de frutos.

METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel de 200 m² de enero a agosto de 2019 en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca (Figura 1). Ubicado a 1,550 msnm. Se utilizaron semillas de chile Huacle negro. El almácigo se estableció en charolas de poliestireno de 200 cavidades; el sustrato consistió en una mezcla de peat-moss y agrolita en una proporción 2:1. Las plántulas se regaron diariamente con la solución Steiner al 25% (Steiner, 1984) y cuando alcanzaron en promedio 16 cm de altura y ocho hojas verdaderas, se trasplantaron a doble hilera en camas de siembra de 0.9 m de ancho y 6.0 m de largo; distancia entre plantas de 0.6 m, 0.4 m entre hileras y 1.0 m de pasillo. El diseño experimental fue completamente al azar en un arreglo bifactorial 3x2, correspondientes a tres intervalos de tensión de humedad (H, en kPa) y camas con (CA) y sin acolchado



Fuente: elaborado por Raúl Rivera García del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota del IPN-CIIDIR-Oaxaca.

Figura 1. Macrolocalización del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

(SA) plástico color negro/plata (Cuadro 1). Por cada tratamiento se establecieron cuatro repeticiones, cada repetición se integró con 18 plantas, cada planta se consideró como la unidad experimental.

Las características del suelo fueron: textura franco arenoso (20% limo, 10% arcilla y 70% arena), 8.55 de pH y 626.6 mg kg^{-1} de NO_3^- . La demanda nutrimental fue cubierta mediante la dosis 250N-200P-300K kg ha^{-1} utilizada en chile habanero por Quintal et al. (2012). La aplicación de los fertilizantes junto con la distribución del agua fue por medio de cintilla tipo T-Tape con goteros a 20 cm de separación y gasto unitario de 1.0 Lh^{-1} con presión de operación de 0.8 Kgcm^{-3} . El inicio y monitoreo de la humedad en el suelo inició a los 30 días después del trasplante (ddt), para ello se colocó un tensiómetro marca

Cuadro 1. Tratamientos aplicados a plantas de chile Huacle.

Tratamiento	Acolchado	Tensión de humedad en el suelo (kPa)
T1	Con (CA)	10-20 (H1)
T2		21-30 (H2)
T3		31-40 (H3)
T4	Sin (SA)	10-20 (H1)
T5		21-30 (H2)
T6		31-40 (H3)

CA: con acolchado, SA: sin acolchado.
 Fuente: elaboración propia.

IRRROMETER® de 12” en la parte central de cada tratamiento a 15 cm de profundidad. Los datos fueron analizados mediante un análisis de variancia y comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el programa SAS® versión 9.1 (SAS, 2004).

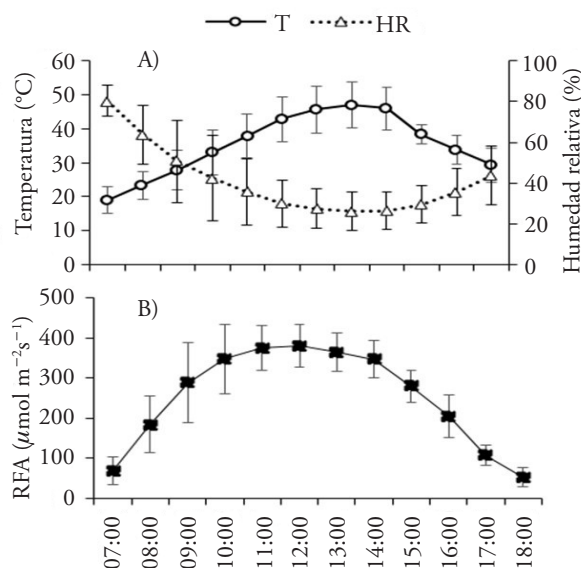
Durante el desarrollo del cultivo, se registraron cada hora de las 07:00 a 18:00 h, las variables microclimáticas: temperatura (T), humedad relativa (HR) y radiación fotosintéticamente activa (RFA) mediante un data logger mod. HOBO® U12 colocado a 0.8 m de altura respecto al piso en la parte central del invernadero.

Posterior al trasplante, cada 30 días se registraron en seis plantas tomadas al azar de cada tratamiento: el número de botones (BT), flores (FL) y frutos (FR); altura de planta (AP) desde la base del tallo a la parte más alta de la planta, se usó un flexómetro metálico marca Truper® (3 m con escala mínima de 1 mm); diámetro de tallo (DT) a cinco centímetros de altura sobre el suelo, con un vernier digital micrómetro Caliper (resolución 0.1 mm); área foliar (AF), con un escáner Epson L555 (Epson América), se digitalizaron las hojas de cada planta y se analizaron con el programa ImageJ 1.5 (National Institutes of Health, USA). Posteriormente, las plantas se separaron por hojas (H), tallo (T), raíz (R) y frutos (F); estas se depositaron en bolsas de papel y se secaron en una estufa de aire forzado a 65 °C hasta peso constante, registrando el peso seco (PS) con una balanza electrónica (Ohaus®, USA). Con los valores obtenidos se calculó: el índice de área foliar (IDAF) de acuerdo a Hunt (1978). La tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento absoluto (TCA) y tasa de crecimiento relativo (TCR) se calcularon como lo indican Cortés *et al.* (2016).

A los 60 ddt, se contabilizó el número de plantas muertas por tratamiento y se transformó a porcentaje. A los 120 ddt se tomaron al azar seis frutos maduros frescos de distintas plantas de cada tratamiento y se les determinó: los sólidos solubles totales (SST en °Brix) con un refractómetro (ATAGO escala 0 a 30°), pH con un potenciómetro (Hanna Instruments, modelo Hi98130) y la acidez titulable (AT) de acuerdo con la AOAC (1990). Con los valores obtenidos se calculó el índice de madurez (IDM) resultado del cociente entre los SST y el % AT. También, se tomaron al azar 20 frutos comerciales secos de distintas plantas de cada tratamiento y se determinó: largo, ancho, peso seco, número y peso de semillas (NSF y PSF). El rendimiento comercial (RC) se obtuvo al promediar el peso seco de frutos de seis plantas tomadas al azar de cada tratamiento (sólo frutos como mínimo de 3.0 cm de ancho y 4.0 cm de largo). El número de frutos comerciales por planta (NFCP) se obtuvo al promediar el número de frutos comerciales de seis plantas tomadas al azar de cada tratamiento. Se obtuvo el índice de cosecha (IDC) como el cociente entre el rendimiento de frutos y la biomasa aérea de cada planta (Garrido *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos microclimáticos promedio por hora que prevalecieron durante el desarrollo del cultivo se muestran en la Figura 2. De acuerdo con Lorenzo (2012), es necesario conocer el comportamiento de la T y HR en el interior de los invernaderos debido a que en la agricultura protegida estas dos variables, intervienen en los procesos de transpiración y consecuentemente mayor o menor consumo de agua. La máxima RFA promedio fue mayor a los 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y la HR promedio fue menor a 30% en ese mismo lapso de tiempo



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Valores promedio de a) temperatura y humedad relativa, b) radiación fotosintéticamente activa registrados dentro del invernadero.

(Figura 2). Estos resultados son similares a algunos valores obtenidos por Zermeño *et al.* (2019) quienes reportaron valores de RFA de 200 a 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a las 12:00 h bajo tres diferentes cubiertas de policarbonato de color rojo, azul y traslúcido con cultivo de chile poblano (*Capsicum annuum* L.) variedad Ébano; sin embargo, el tipo de estructura que ellos evaluaron pudo haber determinado los valores superiores de RFA que no se registraron en este experimento realizado con cubierta de plástico convencional y cultivo de chile Huacle negro (*Capsicum annuum* L.), debido a que la transmisividad a la radiación solar de cada cubierta es diferente tal como lo reportan Paredes *et al.* (2018). Por otra parte, entre las 10:00 a 18:00 h las temperaturas promedio superaron los 30°C; al respecto, Baxevanou *et al.* (2008), mencionan que el incremento de la temperatura bajo cubierta depende de la radiación total; por su parte, Escalante *et al.* (2008) mencionan que la fotosíntesis y la temperatura en la mayoría de los casos están estrechamente relacionadas, ya que al aumentar la temperatura incrementa la tasa fotosintética. Por último, la mayor HR del día fue 80% y se registró a las 7:00 h la cual, decreció paulatinamente hasta alcanzar un 29 %, registrado de las 13:00 a las 15:00 h.

A excepción del T4, a los 60 ddt se presentó el mayor número de BT y FL mostrando diferencias significativas ($P \leq 0.05$) sobresaliendo significativamente los valores del T1 (Cuadro 2). La reducción de BT y FL entre tratamientos se atribuye principalmente al estrés hídrico, efecto reportado para el género *Capsicum* por Rao *et al.* (2016), ya que el agua interviene en la integridad físico-química y expansión celular como lo señala Quesada (2015). Asimismo, las temperaturas registradas dentro del invernadero (Figura 2), superaron los

Cuadro 2. Número de botones, flores y frutos durante el desarrollo del chile Huacle.

	No. de botones (ddt)			No. de flores (ddt)			No. de frutos (ddt)		
	60	90	120	60	90	120	60	90	120
T1	75 a	0 c	0 c	29 a	2 ab	0 b	16 a	59 a	52 a
T2	37 b	11a	40 ab	10 bc	5 a	2 b	4 b	31 b	31 b
T3	41 b	6 b	0 c	16 b	1 b	0 b	3 b	27 b	31 b
T4	35 b	0 c	60 a	5 c	0 b	27 a	3 b	20 b	31 b
T5	34 b	0 c	17 bc	5 c	0 b	6 b	3 b	31 b	29 b
T6	14 c	1 c	1 c	3 c	2 ab	0 b	2 b	21 b	20 b

Medias con letras distintas en columna presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05); ddt=días después del trasplante.

Fuente: elaboración propia.

30°C, al respecto, Chaves y Gutiérrez (2017) mencionan que la exposición del género *Capsicum* a temperaturas superiores a los 33°C en el día y 20°C durante la noche, afecta la viabilidad del polen y la fertilización, incrementa la aborción floral y disminuye el amarre de frutos. Asimismo, la oscilación de la humedad relativa (40-80%) puede ser causante de la reducción en el número de flores; al respecto, Amador *et al.* (2014) reportaron que una estabilidad en la humedad relativa cercana al 70% aumentó la cantidad de flores y frutos en chile mirasol (*Capsicum annuum* L.). De igual manera, la baja RFA (Figura 2) pudo inducir efectos negativos en el reparto de fotoasimilados y crecimiento de frutos como lo reportan Paredes *et al.* (2018) en chile piquín (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo mallas de colores donde se afectó el tamaño y el número de frutos por efecto de la RFA.

A los 90 y 120 ddt el T1 presentó un aumento de 195% y 67% respectivamente en el número de frutos, en comparación al T4 (Cuadro 2), lo que indica un efecto favorable del acolchado plástico, ya que ambos tratamientos mantuvieron una tensión de humedad en el suelo (de 10 a 20 kPa); Sin embargo, ese efecto no se vio reflejado en el T2 y T3 al no mostrar diferencias significativas con el T5 y T6 respectivamente. Al respecto, Bahena *et al.* (2012) mencionan que la colocación del acolchado plástico evita la pérdida de humedad por medio de la evaporación y reduce la presencia de malezas, evitando la competencia por luz y nutrientes; además, mantiene la humedad del suelo y puesto que la mayor absorción de nutrimentos y agua es por el sistema radical en los primeros 0.5 m de profundidad, esto posiblemente cubra la demanda de fotoasimilados para la etapa de fructificación (Álvarez y Pino, 2018).

T1 y T4 obtuvieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la AP y el PST respecto al resto de los tratamientos (Cuadro 3). Lo que indica que mantener un intervalo de tensión de humedad del suelo de 10 a 20 kPa influye positivamente en la AP y el PST sin importar el acolchado como lo reportan Quintal *et al.* (2012), al aumentar la disponibilidad de agua aumentó la altura de chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivado bajo cubierta. Sin embargo, López *et al.* (2016) muestran valores 55% superiores en la AP del chile Huacle producido a cielo abierto y riego rodado en comparación a los obtenidos en este estudio con T1 y T4.

Cuadro 3. Características morfológicas de plantas de chile Huacle a los 120 ddt.

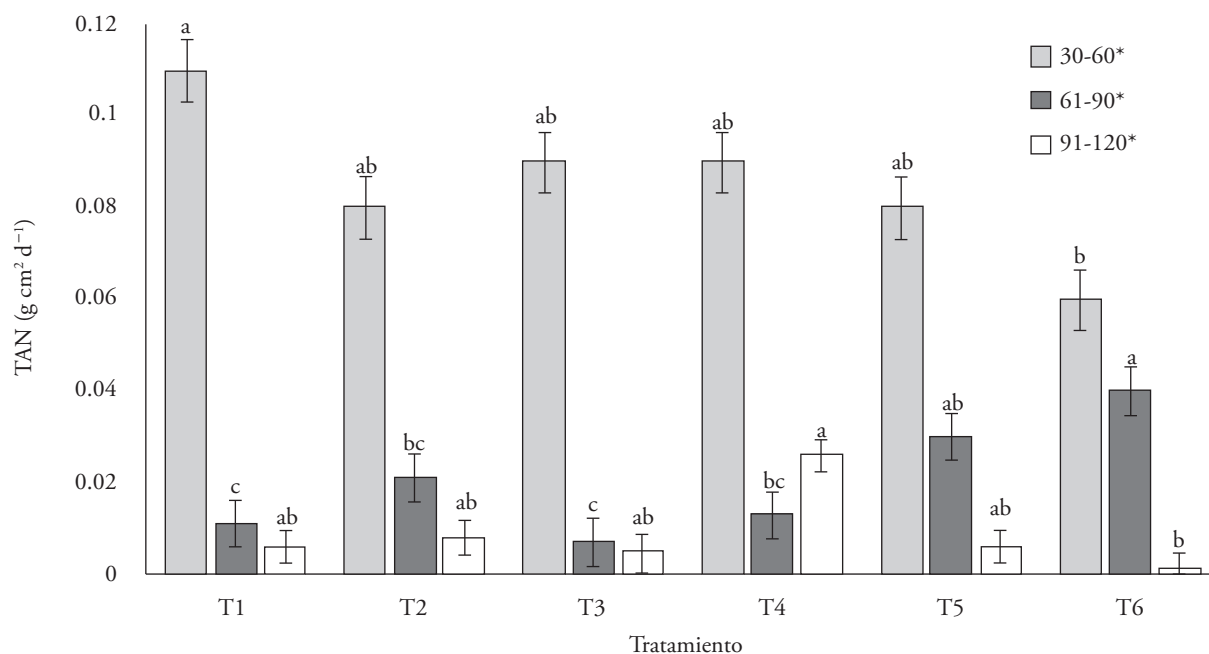
	AP (cm)	DT (mm)	Peso seco (g)				AF (m ² planta ⁻¹)	IDAF
			Frutos	Hojas	Tallos	Raíz		
T1	65.3 a	11.0 a	122.9 a	38.0 a	36.0 a	1.8 bc	6.06 a	2.24 a
T2	54.9 bc	9.6 b	94.1 ab	27.3 b	24.9 b	1.1 c	4.00 b	1.48b
T3	50.6 c	9.2 bc	67.2 bc	19.2 c	21.3 bc	1.6 bc	2.80 c	1.03 c
T4	63.5 ab	10.9 a	48.4 c	26.7 b	41.1 a	2.5 a	4.01 b	1.48 b
T5	50.7 c	10.1 ab	47.9 c	21.9 bc	25.5 b	2.1 ab	3.15 bc	1.16 bc
T6	47.6 c	8.3 c	45.8 c	15.2 c	15.0 c	1.5 bc	2.02 c	0.74 c

Medias con letras distintas en columnas presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05); AP: altura de planta; DT: diámetro de tallo; AF: área foliar; IDAF: índice de área foliar.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, el T1 presentó mayor valor significativo para las variables, PSE, PSH, IAF y AF (Cuadro 3). Al respecto, se ha reportado que la reducción del AF es una respuesta al estrés hídrico mediante la cual la planta evita la pérdida de agua por medio de la transpiración (Moreno y Liz, 2009); sin embargo, dicha respuesta también afecta directamente la capacidad de las plantas para generar fotoasimilados, porque las hojas son el órgano encargado de dicha función (Quesada, 2015), afectando directamente la acumulación de materia seca y sus índices fisiológicos.

Por último, el valor más alto (2.5 g) para PSR se obtuvo con el T4. Al respecto, Inzunza *et al.* (2010) reportan que la colocación de acolchado plástico puede ocasionar un incremento de hasta 6°C en la temperatura del suelo lo cual, puede generar un estrés en la raíz afectando su desarrollo. Además, se ha reportado que en situaciones de estrés hídrico algunas plantas reducen el crecimiento de la parte aérea y aumentan el desarrollo de raíz con el objetivo de buscar humedad a mayor profundidad (Florido y Bao, 2014), situación que pudo ocurrir en este experimento, ya que se presentaron los valores más altos en camas sin acolchar (T4 y T5). Al respecto, Hernández *et al.* (2021) mencionan que la colocación de acolchados reduce la pérdida de agua por evaporación e incrementa la retención de humedad en el suelo. En cuanto a los índices fisiológicos, la mayor TAN se presentó de los 30 a 60 ddt con el T1 con diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en comparación al T6 (Figura 3), atribuido principalmente a la diferencia de 66.6% entre los valores del área foliar entre el T6 respecto al T1 (Cuadro 3) lo cual, se atribuye al estrés hídrico causado con la irrigación de 31 a 40 kPa del T6, ocasionando que la disponibilidad del agua y los nutrientes se redujeran y no fueran aprovechados por la planta para la acumulación de materia seca (Rodríguez *et al.*, 2014), ya que al inicio del ciclo del cultivo se concentra principalmente en la formación de hojas. También, pudo ser por el cambio fenológico del cultivo pasando de una etapa vegetativa a reproductiva, dirigiendo los fotoasimilados a la formación de frutos, a partir de los 60 ddt (Cuadro 2). Asimismo, se ha reportado que las temperaturas mayores a los 33°C ocasionan la senescencia y abscisión de hojas (Chaves y Gutiérrez, 2017) lo cual, reduce el área foliar del cultivo afectando directamente la TAN.



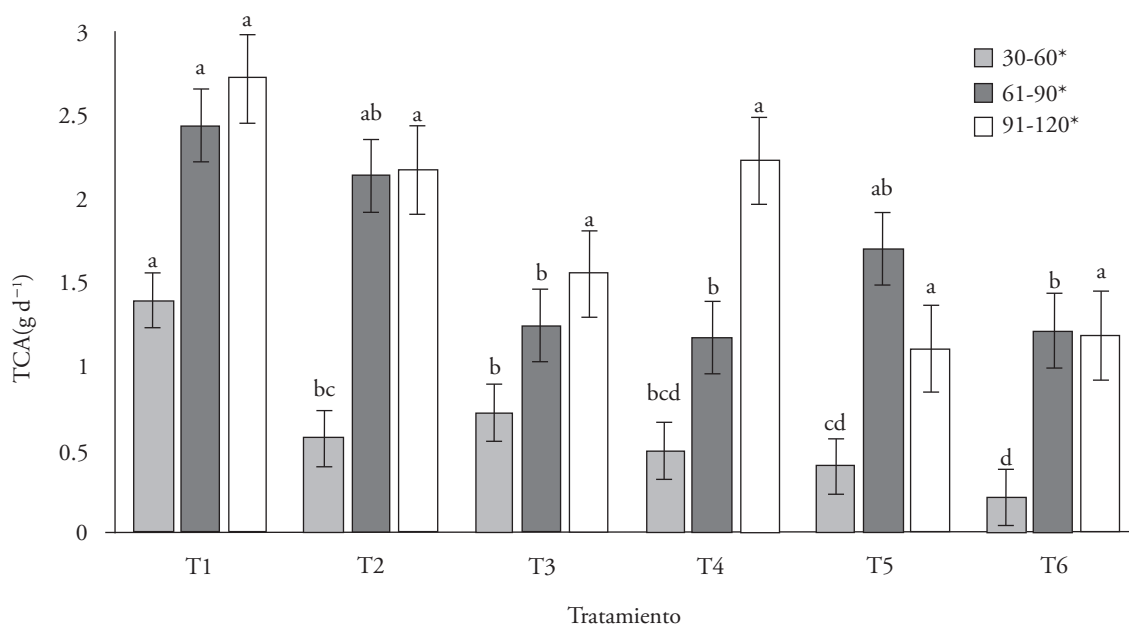
*días después del trasplante. Medias con letras distintas en mismo periodo presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Tasa de Asimilación Neta (TAN) de plantas de Chile Huacle.

Al respecto, Alemán *et al.* (2018) encontraron un valor mayor de $2 \text{ g cm}^2 \text{ d}^{-1}$ para pimientos cultivado en invernadero; por su parte, Quezada *et al.* (2011) reportaron que la TAN del pimiento tiene un comportamiento decreciente disminuyendo su valor de acuerdo a la etapa de desarrollo del cultivo, similar a lo encontrado en este estudio excepto para el T4 el cual, presentó un incremento en la TAN en el intervalo de 61 - 90 a 91 - 120 ddt (Figura 3). Este comportamiento puede ser el resultado de una etapa vegetativa más prologada, ya que el mayor número de botones y flores del T4 se presentaron a los 120 ddt, diferente del resto de los tratamientos los cuales, mostraron el mayor valor para las mismas variables a los 60 ddt (Cuadro 2). Al respecto, López *et al.* (2015), reportan que la colocación de acolchado plástico induce la precocidad del Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.); por su parte, Moreno y Liz (2009) mencionan que ante un déficit hídrico las plantas aumentan la producción del ácido abscísico (ABA), fitohormona que regula el tiempo de floración y otros procesos fisiológicos y fenológicos.

En este experimento, la TCA presentó un comportamiento inverso a la TAN (Figura 4), los valores se incrementaron conforme avanzó el desarrollo del cultivo, principalmente por la presencia de frutos y la acumulación de materia seca en dichos órganos. El T1 mostró el valor más alto (2.72 g d^{-1}) con diferencias significativas ($P \leq 0.05$) respecto al T3, T4 y T6 durante el periodo comprendido de 31 a 60 ddt, atribuido a la mayor disponibilidad de agua y mayor número de frutos por planta (Cuadro 2).

La TCR tuvo un comportamiento decreciente a partir de los 60 ddt; los valores más altos se presentaron durante el periodo comprendido entre los 30 a 60 ddt (Figura 5), con



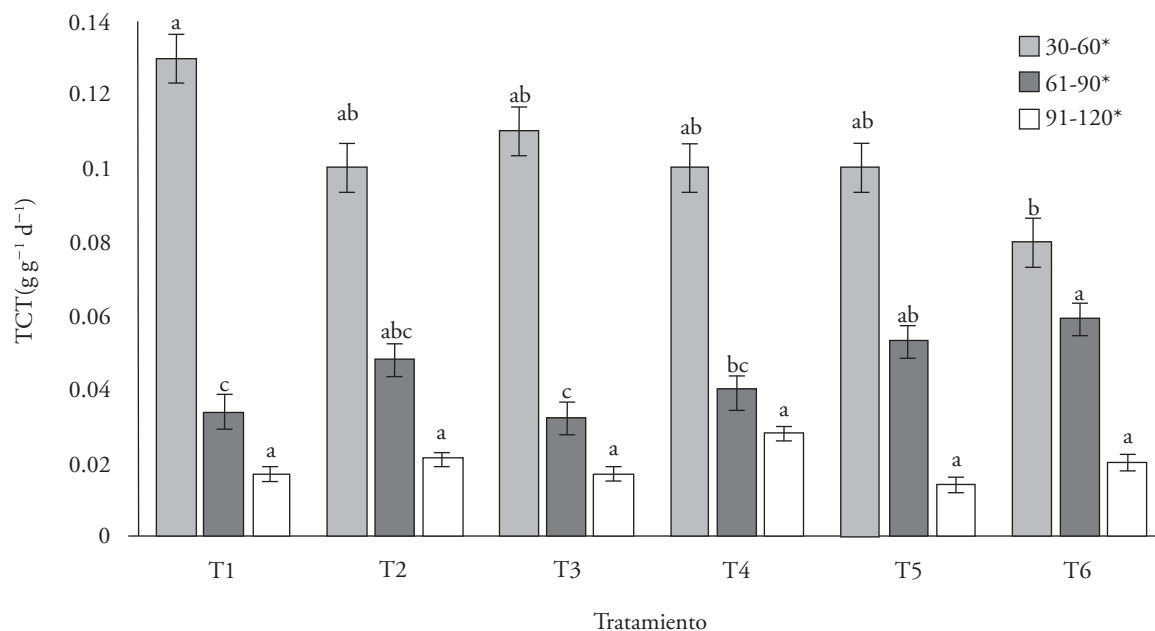
*días después del trasplante. Medias con letras distintas en mismo periodo presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Tasa de Crecimiento Absoluto (TCA) de plantas de chile Huacle.

diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre el T1 y T6. A partir de los 60 ddt, el valor de la TCR disminuyó 50%, lo cual indica que la acumulación de materia seca por las plantas se disminuye atribuido principalmente a la maduración de los frutos y senescencia de la planta. De manera general, los índices fisiológicos no fueron influenciados por el tipo de encamando, pero si relacionados con la etapa y edad del cultivo.

A los 60 ddt, los valores para la variable senescencia fueron: T3 (30%), T2 y T6 (15%), T1 y T5 (5%) y T4 (0%), esta variación puede ser la consecuencia de la baja disponibilidad hídrica y el aumento de la temperatura del suelo ocasionado por el acolchado plástico. Según Quezada *et al.* (2011) si sobrepasa los 30°C genera daños negativos; además, las temperaturas dentro del invernadero (Figura 2) superaron el rango óptimo (22-25 °C) citado por Kaur *et al.* (2017) para el desarrollo del cultivo *Capsicum annuum* L.

En promedio el pH de los frutos fue de 5.2 (Cuadro 4), lo cual indica que dicho parámetro no fue influenciado por la restricción hídrica, ni el acolchado, si no es determinado por el genotipo del cultivo. Este valor fue similar al rango (4.8 a 5.5) reportado por Yin *et al.* (2011) para *Capsicum annuum* producido bajo condiciones de invernadero con diferentes tipos de acolchado; también, a los 6.4 y 5.5 obtenidos por Mendoza *et al.* (2015) en chile jalapeño verde y rojo, pero inferior al rango de 6.43 a 7.0 reportado por Flores *et al.* (2018) en chile chiltepín silvestre de Nuevo León, México. Los mismos autores y Figueroa *et al.* (2015), reportaron valores de 5.2 a 9.8 en sólidos solubles totales para el género *Capsicum*, valores inferiores a los obtenidos en frutos de este experimento (Cuadro 4).



*días después del trasplante. Medias con letras distintas en mismo periodo presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
 Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) de plantas de chile Huacle.

Respecto al porcentaje de acidez titulable se presentó un intervalo de 1.47 a 2.49 (Cuadro 4), mostrando diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos sin acolchados, contrario a los tratamientos con acolchado ya que estos no presentaron diferencias entre ellos. A pesar de ello, todos los valores fueron mayores a los encontrados por Medeiros *et al.* (2018) y Manikharda *et al.* (2018) en ocho genotipos de *C. baccatum* var. *pendulum* y tres estados de madurez de un genotipo de *C. frutescens*.

El índice de madurez mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$), sobresaliendo el T3 con un valor mayor en 50.7% respecto al T6 (Cuadro 4) ambos con el nivel más bajo de disponibilidad hídrica.

Cuadro 4. Características químicas de frutos de chile Huacle.

	pH	Sólidos Solubles Totales (°Brix)	Acidez Titulable (%)	Índice de Madurez
T1	5.28 a	15.3 a	1.90 bc	8.18 b
T2	5.25 a	13.6 ab	1.83 bc	7.69 b
T3	5.18 a	15.3 a	1.47 c	10.41 a
T4	5.28 a	11.6 bc	1.62 cd	7.27 b
T5	5.30 a	12.3 bc	2.49 a	5.03 c
T6	5.23 a	11.3 c	2.15 b	5.28 c

Medias con letras distintas en columna presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
 Fuente: elaboración propia.

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en RC de frutos secos e IDC (Cuadro 5). Los valores del RC en los T4 y T5 se vieron reducidos en más del 50% en comparación a los T1 y T2 respectivamente; del mismo modo, el NFCP disminuyó en 33.8% (T4) y 55.5% (T5) respecto al T1 y T2. Efecto atribuido al acolchado plástico ya que los T1-T4 y T2-T5 fueron sometidos al mismo nivel de humedad en el suelo (Cuadro 1). Los valores del RC afectaron directamente el IDC congruente con lo reportado por Quintal *et al.* (2012) e Inzunza *et al.* (2017) quienes mencionan que el estrés hídrico en plantas de chile disminuye el rendimiento de un 30 a 70 %, reportando el mayor rendimiento a mayor disponibilidad hídrica y con el uso de acolchado en chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) y tomate (*Solanum lycopersicum*). El T1 presentó el mayor largo y ancho de fruto. A pesar de ello, el tamaño de los frutos disminuyó aproximadamente 50% respecto a las medidas descritas por García *et al.* (2017), quienes reportan en promedio 10 cm de largo y 8 cm de ancho. Este efecto en *Capsicum*, Rao *et al.* (2016) lo atribuyen a la disponibilidad hídrica, el cual afecta el alargamiento y división celular. El peso seco del fruto fue afectado por el uso de acolchado plástico, siendo mayor el peso de los frutos obtenidos del T1 sobre el T4 ambos con el mismo nivel hídrico, mostrando un valor similar a lo reportado por San Juan *et al.* (2019), al evaluar concentración de soluciones nutritivas en el mismo cultivo. Sin embargo, el aumento del estrés hídrico ocasionó una disminución del 28.6% en la acumulación de materia seca de los frutos entre el T1 y T3 (Cuadro 5). Asimismo, los valores mostrados en el Cuadro 5 para NSF y PSF muestran que dichos parámetros se encuentran más influenciados por el nivel de estrés hídrico que con el tipo de acolchado, presentando diferencias significativas ($P \leq 0.05$) del T1 y T2 sobre el resto de los tratamientos. Al respecto, Tran y Murakami (2015) mencionan que la exposición del género *Capsicum* a altas temperaturas se afecta el peso, tamaño y número de semillas por fruto.

CONCLUSIONES

La combinación del acolchado plástico y mayor humedad en el suelo generó un efecto positivo al aumentar el número de botones en 57%, flores en 83%, frutos en 45%, el peso seco de hojas en 41.9%, el peso seco de frutos en 50.6%, el área foliar y el índice de área

Cuadro 5. Rendimiento comercial, IDC y características físicas de frutos comerciales secos de chile Huacle a los 120 ddt.

	RC (g planta ⁻¹)	NFCP	IDC	Fruto				
				Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)	NSF	PSF (g)
T1	67.8 a	13.0 a	3.22 a	6.62 a	4.0 a	5.20 a	171 a	1.23 a
T2	59.8 ab	12.6 a	3.53 a	6.03 ab	3.7 ab	4.74 a	152 ab	1.27 a
T3	42.6 abc	11.5 ab	3.40 a	5.37 bcd	3.4 b	3.71 b	116 b	0.76 b
T4	30.8 bc	8.6 c	1.78 c	5.80 abc	3.3 b	3.58 b	109 b	0.57 b
T5	13.0 c	5.6 d	2.20 bc	5.01 cd	3.4 b	2.19 bc	129 ab	0.70 b
T6	24.1 c	10.5 bc	2.97 ab	4.52 d	3.3 b	2.30 c	113 b	0.72 b

Medias con letras distintas en columna presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05); RC: rendimiento comercial; NFCP: número de frutos comerciales por planta; IDC: índice de cosecha; NSF: número de semillas por fruto; PSF: peso de semillas por fruto. Fuente: elaboración propia.

foliar en 47% respecto al resto de los tratamientos. El estrés hídrico influyó en las variables altura de planta, diámetro de tallo, peso seco de tallo y largo de fruto siendo el T1 y T4 quienes mostraron los valores más altos.

El peso seco de fruto comercial parece estar influenciado por el acolchado plástico debido a que T1, T2 y T3 presentaron valores estadísticamente superiores con respecto a los tratamientos sin acolchado. Asimismo, la presencia del acolchado en T1 y T2 promovió un aumento en el rendimiento comercial, número de frutos comerciales por planta e índice de cosecha en comparación a T4 y T5 respectivamente. Sin embargo, T3 y T6 no mostraron este comportamiento para las mismas variables.

De los 30 a 60 ddt todos los tratamientos presentaron valores más altos en tasa de asimilación neta y tasa de crecimiento relativo ($0.11 \text{ g cm}^2 \text{ d}^{-1}$ y $0.13 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$), posteriormente tuvieron un comportamiento decreciente conforme el desarrollo del cultivo, mientras que la tasa de crecimiento absoluto tuvo un comportamiento contrario, presentando el mayor valor (2.72 g d^{-1}) durante el periodo de los 90 a 120 ddt.

REFERENCIAS

- Aguilar A, Vásquez MA, Katz E, Hernández MR. 2018. Los chiles que le dan sabor al mundo: contribuciones multidisciplinarias. Xalapa, Veracruz, México: Universidad Veracruzana, Dirección Editorial; Marsella, Francia: IDR Éditions. 318 p.
- Aguilar G, Vázquez EG, Castro R, Cruz E, Jarquín R. 2019. Germinación de cultivares de frijol con características físicas contrastantes bajo condiciones de estrés osmótico. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 10(2):239-251. doi:10.29312/remexca.v10i2.720
- Aguilar VH, Corona T, López P, Latournerie L, Ramírez M, Villalón H, Aguilar JA. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. https://www.researchgate.net/publication/235657255_Los_chiles_de_Mexico_y_su_distribucion. 114 p.
- Alemán RD, Domínguez J, Rodríguez Y, Soria S, Torres R, Vargas JC, Bravo C, Alba JL. 2018. Morphophysiological and productive indicators of the pepper planted in the greenhouse and in the open field in the conditions of the Ecuadorian Amazon. *Revista Centro Agrícola*, 45(1):14-23. https://www.researchgate.net/publication/323596153_Indicadores_morfofisiologicos_y_productivos_del_pimiento_sembrado_en_invernadero_y_a_campo_abierto_en_las_condiciones_de_la_Amazonia_ecuatoriana
- Álvarez F, Pino M. 2018. Aspectos generales del manejo agronómico del pimiento en Chile. *Boletín INIA-Instituto de investigaciones Agropecuarias Ministerio de Agricultura*, 360: 41-57. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6651>
- Amador MD, Velásquez R, Sánchez BI, Acosta E. 2014. Floración y fructificación de chile mirasol (*Capsicum annuum* L.) con labranza reducida, labranza convencional o incorporación de avena en al suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6):1001-1013. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263131532008>
- AOAC. 1990. AOAC Official Methods of Analysis. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Arlington. 1970p.
- Bahena G, Bustos AJ, Broa E, Jaime MA. 2012. Agronomic behavior of creole chili (*Capsicum annuum* L.) in fertirrigation with plastic mulch and row cover in Xalostoc, Morelos. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 4(1):19-24. doi: 10.5154/r.inagbi.2011.11.11014.
- Baxevanou C, Bartzanas T, Constantinos K, Dimitrios F. 2008. Solar radiation distribution in a tunnel greenhouse. *Acta Horticultura*, 801(801):855-862. doi: 10.17660 / ActaHortic.2008.801.100
- Chaves NF, Gutiérrez MV. 2017. Crop physiological responses to high temperature stress. II Tolerance and agronomic treatment. *Agronomia Mesoamericana*, 28(1): 255-271. doi:10.15517/am.v28i1.21904.
- Cortés C, Rodríguez MN, Benavides A, García JL, Tornero M, Sánchez P. 2016. Iodine increases the growth and mineral concentration in sweet pepper seedlings. *Agrociencia*, 50(6):747-758. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n6/1405-3195-agro-50-06-00747.pdf>
- Cosgrove W, Rijisberman F. 2014. World water vision: making water everybody's business. 2a ed. FAO,

- Roma. 108p.
- Cruz OR, Pérez A, Martínez GA, Morales I. 2018. Macro tunnels coverings and their effect on the nutraceutical properties of "chile de agua". *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(4), 555-558. doi:10.35196/rfm.2018.4-A.555-558.
- Dong R, Myong R, Sun C, Seung H, Je S, Hak K. 2014. Variability of soil water content, temperature, and electrical conductivity in strawberry and tomato greenhouses in winter. *Journal of Biosystems Engineering*, 39(1), 39-46. doi: 10.5307/JBE.2014.39.1.039.
- Escalante L, Trejo R, Esquivel O, Arreola JG, Flores A. 2008. Comparación de tasas fotosintéticas en algunas plantas cultivadas y malezas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 2(2):165-172. www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545067006.
- Figuerola IE, Martínez MT, Rodríguez JE, Cruz O, Beryl MT, Valle S, Ramírez S. P. 2015. Capacidad antioxidante en variedades de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.). *Interciencia*, 40(10): 696-703. https://www.researchgate.net/publication/322198377_Capacidad_antioxidante_en_variedades_de_pimiento_morrón_Capsicum_annuum_L
- Flores P, Franco A, Hernández J, Moreno S, Hernández JL, Pinedo JM. 2018. Evaluación fisicoquímica y capacidad antioxidante de chiltepín silvestre de Nuevo León, México. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3:529-534. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/9/88.pdf>
- Florido M, Bao L. 2014. Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 35(3): 70-88. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000300008&lng=es&tlng=es
- García V, Gómez FC, Trejo LI, Baca GA, García S. 2017. The Chilhuacle chili (*Capicum annum* L.) in Mexico: Description of the variety, its cultivation, and uses. *International Journal of Agronomy*, 2017, 1-13. doi: 10.1155/2017/5641680.
- Garrido M, Silva P, Silva H, Muñoz R, Baginsky C, Acevedo E. 2013. Grain yield nine quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd) grown in Mediterranean environments differing in water availability. *IDESIA (Chile)*, 31(2): 69-76. https://www.researchgate.net/publication/255969255_Grain_yield_of_nine_quinoa_genotypes_Chenopodium_quinoa_Willd_grown_in_Mediterranean_environments_differing_in_water_availability
- Hernández A, Torres V, García JC, Ibarra L. 2021. Efectos del color del acolchado plástico en la producción del melón: dos ciclos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(1): e2758. doi: 10.19136/era.a8n1.2758
- Hunt R. 1978. *Plant Grow Analysis*. *Studies in Biology No.96* Edward Arnold, London, 67 p.
- Inzunza MA, Catalán EA, Villa M, López R, Sifuentes E. 2017. Tomato response to types of mulch and drip irrigation levels. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(1): 9-16. https://www.researchgate.net/publication/316853100_Tomato_response_to_types_of_plastic_mulch_and_drip_irrigation_levels
- Inzunza MA, Villa M, Catalán EA, Román A. 2010. Nutrient extraction and yield of jalapeño pepper under mulch plastic and irrigation levels. *Terra Latinoamericana*, 28(3):211-218. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v28n3/v28n3a3.pdf>
- Kaur S, Ghai N, Jindal SK. 2017. Improvement of growth characteristics and fruit set in bell pepper (*Capicum annum* L.) Through IAA application. *Indian Journal of Plant Physiology*, 22(2): 213-220. doi: 10.1007/s40502-017-0293-0
- López, P., Rodríguez, R., y Bravo, E. 2016. Impacto económico del chile huacle (*Capsicum annum* L.) en el estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 38:317-328. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/141/14146082010/html/index.html>
- López R, Inzunza MA, Sánchez I, Fierro A, Sifuentes E. 2015. Water use efficiency and productivity of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) based on two transplanting dates. *Water Science and Technology*, 71(6):885-891. doi:10.2166/wst.2015.040.
- Lorenzo P. 2012. El cultivo en invernaderos y su relación con el clima. *Cuadernos de estudios agroalimentarios*, 3: 23-44. <chrome-extension://efaidnbmnnnnibpcajpcglclefndmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.publicacionescajamar.es%2Fpublicacionescajamar%2Fpublic%2Fpdf%2Fpublicaciones-periodicas%2Fcuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea%2F3%2F3-536.pdf&clen=1940832&chunk=true>.
- Manikharda, Takahashi M, Arakaki M, Yonamine K, Hashimoto F, Takara K, Wada K. 2018. Influence of fruit ripening on color, organic acid contents, capsaicinoids, aroma compounds, and antioxidant capacity of shimatogarashi (*Capsicum frutescens*). *Journal of Oleo Science*, 67(1):113-123. doi: 10.5650/jos.ess17156.

- Martínez GA, Langlé LA, Urrestarazu M, Escamirosa C, Hernández M, Morales I. 2022. Efecto de la densidad de plantación y la poda en chile huacle en invernadero. *IDESIA*, 39(3): 69-74. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000300069>
- Medeiros AM, Rodrigues R, Costa DV, Pimenta S, Olivera JG. 2018. Non-parametric indexes in selecting hybrids of chili pepper. *Horticultura brasileira*, 36:27-32. doi: 10.1590/S0102-053620180105.
- Mendoza LG, Mendoza MR, García O, Azuara E, Pazcual LA, Jiménez M. 2015. Physicochemical and antioxidant properties of jalapeño pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) during storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21(3): 229-241. doi: 10.5154/r.rchsh.2015.06.010.
- Moreno L, Liz P. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía colombiana*, 27(2):179-191. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316234006>.
- Paredes JR, Mendoza R, Pérez MA, Robledo V, Moreno S. 2018. Comportamiento agronómico de ecotipos de chile piquín bajo cubiertas fotoselectivas. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 11(1):53-67. doi: 10.5154/r.inagbi.2018.05.011
- Pliego L, López J, Aragón E. 2013. Características físicas, nutricionales y capacidad germinativa de frijol criollo bajo estrés hídrico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6): 1197-1209. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013001000011&lng=es&tlng=es.
- Quesada G. 2015. Producción de chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de agotamiento en la humedad del sustrato. *Agronomía Costarricense*, 39(1): 25-36. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v39n1/a02v39n1.pdf>
- Quezada MR, Munguía, J, Ibarra, L, Arellano, MA, Valdez LA, Cedeño B. 2011. Physiology and yield of bell pepper grown in different colored plastic mulch. *Terra Latinoamericana*, 29(4):421-430. https://www.researchgate.net/publication/320611236_Physiology_and_Yield_of_Bell_Pepper_Grown_in_Different_Colored_Plastic_Mulch
- Quintal WC, Pérez A, Latournerie L, May C, Ruiz E, Martínez AJ. 2012. Water use, water potential and yield of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2):155-160. https://www.researchgate.net/publication/298422121_Water_use_water_potential_and_yield_of_habanero_pepper_Capsicum_chinense_Jacq
- Ramchiary N, Kole C. (eds). 2019. *The Capsicum genome*. New York: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-97217-6. 232p.
- Ramos BI, Martínez GA, Morales I, Escamirosa C, Pérez A. 2017. Consumo de agua y rendimiento de tomate de cáscara bajo diferentes cubiertas de invernaderos. *Horticultura brasileira*, 35:265-270. doi:10.1590/s0102-053620170218.
- Rao NK, Srinivasa, NK, Shivashankara KS, Laxman RH. (eds). 2016. *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops*. New York: Springer. 368p. doi: 10.1007/978-81-322-2725-0.
- Rodríguez A, Posadas A, Quiroz R. 2014. Yield and nutrient uptake in sweet potato plants grown with salt and water stress. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(1): 19-28. doi: 10.5154/r.rchsh.2013.01.001.
- Sanjuan J, Martínez V. 2022. ¡En peligro de extinción! El chile huacle: ingrediente principal del mole negro oaxaqueño. *Hypatia*, 69 <https://www.revistahypatia.org/en-peligro-de-extincion-el-chile-huacle-ingrediente-principal-del-mole-negro-oaxaqueño.html>
- Sanjuan J, Ortiz YD, Aquino T, Cruz S. 2020. Seed and seedling quality of three chilis (*Capsicum annuum* L.) native to Oaxaca, Mexico. *Ciência Rural*, 50(9): e20190921. doi: 10.1590/0103-8478cr20190921.
- San Juan J, Aquino T, Ortiz YD, Cruz I. 2019. Características de fruto y semilla de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) producido en hidroponía. *IDESIA*, 37(2): 87-94. doi: 10.4067/S0718-34292019000200087.
- SAS. User's guide, SAS/ETS 9.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA, 2004. 2426p.
- Sezen, SM, Yazar A, Tekin S. 2019. Physiological response of red pepper to different irrigation regimes under drip irrigation in the Mediterranean region of Turkey. *Scientia Horticulturae*, 245: 280-288. doi: 10.1016/j.scienta.2018.10.037.
- Steiner AA. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceeding of the 6th International Congress on Soilless Culture*. International Society for Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. pp:633-649.
- Tran T, Murakami K. 2015. Effect of high temperature on fruit productivity and seed-set of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in the field condition. *Journal of Agricultural Science and Technology A and B & Hue University Journal of Science*, 5 (2015): 515-520. doi: 10.17265/2161-6256/2015.12.010.
- Urbina E, Cuevas A, Reyes JC, Alejo G, Valdez LA, Vázquez LM. 2020. Solución nutritiva adicionada con NH₄⁺ para producción hidropónica de chile huacle (*Capsicum annuum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(3):291-298. doi:10.35196/rfm.2020.3.291.

- Villalobos VM, Ávila F, García M. (eds) 2017. El agua para la agricultura de las Americas. IICA, Colegio de Postgraduados: Fundación COLPOS.152p.
- Yin L, Xing W, Juan Z, Mao Z, Qiang P. 2011. Response of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) to mulching practices under planted greenhouse condition. *Agricultural Water Management*, 99(1): 111-120. doi: 10.1016/j.agwat.2011.07.010.
- Zermeño A, Marroquín JA, Melendres AI, Ramírez H, Cadena M, Campos SA. 2019. Propiedades espectrales de la cubierta de macro túneles y su relación y rendimiento del chile poblano (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoamérica*, 37(3):253-260. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.473>.