



PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN CHILE 'JALAPEÑO' (*Capsicum annuum*) BAJO INVERNADERO EN CUATRO SUSTRATOS

Guillermo Jesuita Pérez Marroquín^{1*}; Raúl Berdeja Arbeu²; José Méndez Gómez²; Ramiro Escobar Hernández²; Heriberto Fermín Santos²

¹Colegio de Postgraduados. C.P. 56230. Km. 36.5, México 136 5, Montecillo, Montecillo, Méx

perez.guillermo@colpos.mx - 2225985019 (*Autor de correspondencia)

²Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. C.P 73965, Teziutlán, Puebla, México.

Resumen

En la actualidad, la agricultura presenta diversos retos entre ellos la necesidad de eficientizar los recursos disponibles para la producción de alimentos, uno de los más importantes es el recurso hídrico. En base a esto se requiere de técnicas que permitan obtener mayores rendimientos y una eficiente utilización del agua, el objetivo de este trabajo fue evaluar productividad del agua en el cultivo chile 'Jalapeño' utilizando diferentes sustratos bajo invernadero. La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la BUAP en los meses de marzo a julio de 2021. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con cuatro tratamientos y 6 repeticiones bajo invernadero, los tratamientos fueron: T1 (tierra de monte y perlita (1:1), T2 (tezontle rojo), T3 (peat moss) y T4 (arena). Las variables evaluadas fueron el número de hojas, altura de planta, porcentaje de materia seca, diámetro de tallo, peso de fruto, número de frutos por planta, diámetro polar de fruto, diámetro ecuatorial de fruto, relación diámetro polar/diámetro ecuatorial y rendimiento. El mayor rendimiento y productividad del agua se obtuvo con el T3 (peat moss), donde en la mayoría de las variables evaluadas presentó una mejor respuesta.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, eficiencia, recurso hídrico, rendimiento.



Introducción

En la actualidad el sector agrícola es el mayor consumidor de agua con el 65 % (Avilés, 2006). Al mismo tiempo la sobrepoblación mundial requiere de alimentos para la subsistencia, por lo tanto, se estima que se requerirá de producir el doble de alimento en los próximos 30 años y la agricultura tendrá que incrementar de manera notable la eficiencia en el uso del agua. En especial en México, ya que es un país con baja disponibilidad de agua, no sólo deberá mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura sino también promover el uso de manera sustentable (Salazar et al., 2014). La productividad del agua según Gonzales et al. (2014), es la relación productiva existente entre el rendimiento del cultivo y el agua total aplicada como riego. Esta es una herramienta que ayuda a tomar mejores decisiones para mejorar el uso de este recurso natural tanto en la administración, distribución y en la utilización de técnicas que permitan eficientizar su aplicación.

México tiene cerca de 150,000 hectáreas sembradas con más de dos millones de toneladas anuales de chile seco y verde. Esto representa un valor comercial de aproximadamente 13,224 millones de pesos. México se ubica como el principal exportador de chile verde a escala internacional y es el segundo productor mundial (Aguirre y Muñoz, 2015).

El 'Jalapeño' es el chile más popular a nivel nacional e internacional. El 60 % de la producción se utiliza en la industria de encurtidos, 20 % se consume fresco y el resto, en estado maduro, se procesa por secado y ahumado para obtener el chile que conocemos como chipotle. Los principales estados productores son: Chihuahua, Veracruz y Oaxaca (Aguirre y Muñoz, 2015).

Dentro de los factores que afectan la producción de este cultivo se encuentra uno de los más importantes que es el recurso hídrico (ya que este es un cultivo de alto requerimiento de agua) también interviene la genética de la planta y factores que se relacionan con el manejo del cultivo como es el caso del tipo de suelo.

Existen trabajos de donde evalúan la producción y la eficiencia del agua en base a la utilización de diferentes acolchados plásticos y la utilización de sustratos, sin embargo, es poca la información referente a chile 'Jalapeño'. Por lo antes mencionado, se realizó el presente trabajo de investigación para estudiar la productividad del agua en el cultivo de chile 'Jalapeño' bajo invernadero utilizando diferentes sustratos.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en un invernadero de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la BUAP, ubicada en la junta auxiliar de San Juan Acateno perteneciente al municipio de Teziutlán, Puebla, con coordenadas 19°52' 27" N y 97°21' 35" E. El clima de Teziutlán es templado con lluvias todo el año, con una precipitación media anual de 1593 mm, siendo el mes más seco enero (52.1 mm) y el mes más húmedo septiembre

(383.4 mm). La temperatura varía de 13.1 °C en enero, a 18.6 °C en mayo la variación de temperatura es mínima durante todo el año y sólo los cambios drásticos se observan en la precipitación (García, 1981). En la investigación se utilizaron plántulas de chile 'Jalapeño' criollo (*Capsicum anuum*) con una altura aproximada de 12 cm provenientes de un vivero ubicado en el municipio de Atempan. El riego se llevó a cabo mediante un sistema de riego localizado por goteo con cintilla de 16 mm utilizando goteros auto compensantes, Los riegos fueron diarios y se realizaron tomando en cuentas las temperaturas máximas y mínimas obtenidas dentro del invernadero, se aplicaron de acuerdo con el requerimiento por evapotranspiración del cultivo señalado por Hargreaves y Samani (1985). Las necesidades hídricas del cultivo o lámina de riego se aplicaron en función al gasto de los emisores.

La nutrición del cultivo se realizó con una solución nutritiva propuesta por Favela et al. (2006) que establece los miliequivalentes por litro de cada nutrimento para realizar la solución (Cuadro 1). El análisis de laboratorio a los sustratos se realizó de acuerdo a lo establecido por Díaz (2017).

Cuadro 1. Miliequivalentes por L de cada nutrimento para constituir la solución nutritiva propuesta.

Iones	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	No ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻
me L ⁻¹	7.08	9.103	4.046	11.88	0.991	6.934

Fuente: Favela et al., 2006

Manejo agronómico

El control de plagas y enfermedades se llevó de acuerdo a las incidencias encontradas. Se realizaron tres podas durante el ciclo para eliminar chupones y hojas viejas hasta la primera bifurcación con el fin de que el fruto alcanzará el mayor tamaño. En la investigación se evaluaron tres cosechas que se realizaron cuando los frutos presentaban una coloración verde brillante, un buen tamaño, y antes de que este se tornara a un color rojizo.

Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con 4 tratamientos y 6 repeticiones, la unidad experimental fue una planta en maceta y se utilizaron 24 unidades experimentales. Los tratamientos fueron: tratamiento 1 tierra y perlita en relación 1:1, tratamiento 2 tezontle rojo, tratamiento 3 peat moss y tratamiento 4 arena.



Resultados y discusión

Propiedades físicas y químicas de los sustratos

En el cuadro 2 se observan las características químicas de los sustratos. Los valores de pH se mantuvieron entre 4.2 y 5.75 en los tratamientos 3 y 2 respectivamente. El tratamiento 3 fue el que presentó una mayor conductividad eléctrica con 1.136 dS m⁻¹ y el menor fue el tratamiento 4 con 0.204 dS m⁻¹. De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, estos valores de pH se consideran moderadamente ácidos para el tratamiento 2 y 4, muy ácidos para los tratamientos 1 y 3. Así mismo el valor de conductividad eléctrica (CE) en la mayoría de los tratamientos, no tiene efectos negativos de salinidad ya que fueron menores a 1 dS m⁻¹, salvo por el tratamiento 3, que se considera ligeramente salino.

Cuadro 2. Características químicas de los sustratos.

Tratamiento	pH	CE (dS m ⁻¹)
1	4.4	.339
2	5.75	.148
3	4.23	1.136
4	5.67	.204

Dónde: el tratamiento 1 es tierra de monte y perlita relación 1:1; 2 tezontle rojo; 3 peat moss; 4 arena. CE conductividad eléctrica; pH Potencial de hidrogeno.

La mayor porosidad total (PT%) se alcanzó con el tratamiento 3 con 85.3 %, seguido del tratamiento 1 con 70.5 %, los tratamientos 2 y 4 presentaron valores similares con 41.2 y 41.6 respectivamente. El tratamiento 2 presentó el mayor porcentaje de porosidad del aire con 13.2 % y el tratamiento 4 fue el menor con 1.1%. La capacidad de retención de agua osciló de 81.6 % en el tratamiento 3 a 27.9 % en el tratamiento 2 (Cuadro 3).

La densidad aparente fue mayor en el tratamiento 4 con 1.2 g cm³ y el menor valor de DA lo presentó el tratamiento 3 con 0.1 g cm³ (Cuadro 3). Pastor (1999) menciona que un sustrato ideal debe tener una porosidad total mayor a 85 % y la aireación en un rango de 10 a 30 %.

Cuadro 3. Características físicas de los sustratos.

Tratamiento	PT (%)	PDA (%)	CRA (%)	DA (g cm ⁻³)	DP (g cm ⁻³)
1	70.5	6.3	64.2	0.3	0.5
2	41.2	13.2	27.9	1.1	5.6
3	85.3	3.6	81.6	0.1	0.2
4	41.6	1.1	40.4	1.2	1.3

Dónde: el tratamiento 1 es tierra de monte y perlita relación 1:1; 2 tezontle rojo; 3 peat moss; 4 arena. PT porosidad total; PDA porosidad de aireación; CRA capacidad de retención de agua; DA densidad aparente; DP densidad de partículas.

Porcentaje de materia seca de hoja, tallo, raíz y materia total

El contenido de materia seca (cuadro 4) en las plantas de chile jalapeño dependió del tratamiento y la parte evaluada de la planta. La materia seca del tallo (MSTA) osciló de 31.43 % en el tratamiento 2 (tezontle rojo) a 36.28 % en el tratamiento 4 (arena) sin diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). El porcentaje de materia seca de hoja fue de 15.58 en el tratamiento 1 (tierra de monte y perlita 1:1) a 19.89 en el tratamiento 4 (arena) sin diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). Estos resultados son similares a los obtenidos por Sánchez (2014), en variedades de chile mirasol (*Capsicum annuum L.*), encontrando un porcentaje de materia seca de tallo que osciló de 32 a 34 % y de 26 a 37 % para hojas; con respecto al porcentaje de materia seca de raíz fue superior con 63 %.

El porcentaje de materia seca de raíz fue menor en el tratamiento 2 (tezontle rojo) con 21.95 y mayor con 28.21 en el tratamiento 1 (tierra de monte y perlita 1:1) sin diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). El porcentaje de materia seca de raíz pudo estar influenciado por el tamaño de los poros en el sustrato arena como sugieren Pire y Pereira (2018) al evaluar el tamaño de los poros del suelo y crecimiento de raíz y vástago del chile 'Jalapeño' (*Capsicum annuum L.*) donde encontraron que las raíces no penetran diámetros inferiores a 0.42 mm y para poder hacerlo las raíces disminuyen grosor.

La materia seca total máxima fue de 27.03 % para el tratamiento 3 y no presentó diferencias estadísticas con los demás tratamientos ($P \leq 0.05$).

Cuadro 4. Porcentaje de materia seca de tallo (MSTA), materia seca de hoja (MSH), Materia seca de raíz (MSR) y materia seca total (MSTO) en chile 'Jalapeño'.

Tratamiento	MSTA (%)	MSH (%)	MSR (%)	MSTO (%)
1	36.27a	15.58 ^a	28.21a	26.48a
2	31.43a	19.89 ^a	21.95a	23.68a
3	36.12a	16.15 ^a	26.62a	27.03a
4	36.28a	17.32 ^a	23.63a	24.99a
C.V	13.18	21.97	37.38	14.33
DMSH	7.69	6.12	15.16	5.91

Dónde: 1, tierra de monte y perlita relación 1:1; 2, tezontle rojo; 3, peat moss; 4, arena. Medidas con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; C.V; coeficiente de variación.

Altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas

En la última fecha de evaluación el tratamiento 3 (peat moss) mostró la máxima altura de planta con 81.83 cm y menor el tratamiento 2 (tezontle rojo) 43.66 cm con diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 5). El diámetro de tallo fue de 9.52 mm en el tratamiento 2 (tezontle rojo) a 15.53 mm en el tratamiento 3 (peat moss) con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). El mayor número de hojas fue de 162.33 en el tratamiento 3 (peat moss) a 55.33 en el tratamiento 2 (tezontle rojo) con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Sardy et al. (2016) que al evaluar diferentes sustratos y soluciones nutritivas, donde determinaron que la mezcla utilizando peat moss como sustrato demostró ser el mejor tratamiento al evaluar la producción de chile pimiento.

Por otra parte, la menor altura de planta y menor diámetro de tallo se registró en el tratamiento tezontle rojo lo que difiere con Lazcano et al. (2021) ya que, al evaluar diferentes sustratos, soluciones nutritivas y enraizador en plántulas de jitomate los mejores resultados se registraron en tezontle y peat moss, por lo que se esperaba que el tratamiento tezontle rojo y el tratamiento peat moss, en cuanto a las variables DT y AP, sean similares.

Cuadro 5. Altura de planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) en chile 'Jalapeño' (28/07/2021).

Tratamiento	AP (cm)	DT (mm)	NH
1	78.66 ^a	12.58ab	120.00ab
2	43.66 ^b	9.52 ^b	55.33 ^c
3	81.83 ^a	15.53 ^a	162.33 ^a
4	66.50 ^a	11.72 ^{ab}	85.33 ^{bc}
C.V	18.23	19.7	35.88
DMSH	19.93	3.93	61.31

Donde: 1 es tierra de monte y perlita relación 1:1; 2, tezontle rojo; 3, peat moss; 4, arena. Medidas con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; C.V; coeficiente de variación.

Rendimiento y sus componentes

El rendimiento estuvo directamente influenciado por el peso promedio de frutos y número de frutos por planta. El mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento 3 (peat moss) con 770 g y el menor lo presentó el tratamiento 2 (tezontle rojo) con 226 g con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). Este rango en cuanto a rendimiento es similar a lo reportado por Mendoza (2004), al evaluar 6 sustratos en chile habanero (*Capsicum chinense*) bajo condiciones de invernadero, señala que la producción osciló de 165 a 843 g planta⁻¹, cabe resaltar que en dicho trabajo la utilización de tierra de monte y tierra normal mostró los mejores resultados.

El número de frutos (Cuadro 7) osciló de 25.17 en el tratamiento 2 (tezontle rojo) a 64.17 en el tratamiento 3 (peat moss) con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). El mayor peso promedio de fruto (Cuadro 13) fue de 12.24 g en el tratamiento 3 (peat moss) y sólo superó estadísticamente ($P \leq 0.05$) al tratamiento 1 (tierra más perlita 1:1), 3 (tezontle rojo) y 4 (arena). El peso promedio de fruto se encuentra por debajo de los valores reportados por Gaspar (2019) de 15.3 g, esto pudo deberse a las condiciones climáticas y/o al manejo del cultivo.

El mayor diámetro polar de fruto fue de 44.41 mm en el tratamiento 3 (peat moss) y menor de 32.48 en el tratamiento 4 (arena) con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 7). El diámetro ecuatorial de fruto (Cuadro 7) osciló de 20.52 mm en el tratamiento 2 (tezontle rojo) a 21.92 mm en el tratamiento 3 (peat moss) con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). La relación diámetro polar /diámetro ecuatorial fue de 1.55 en el tratamiento 4 (arena) a 2.05 en el tratamiento 3 (peat moss) con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 6), los

datos obtenidos están por debajo de los valores de longitud de fruto de (63.7 mm) y ancho de fruto (30.0 mm), reportados por Morón y Alayon (2014), esto pudo deberse al material genético utilizado en dicho trabajo.

Cuadro 6. Peso de frutos por planta (PPF), Número de frutos (NF), peso promedio de frutos (PPF), diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), relación diámetro polar diámetro ecuatorial (DP/DE) de chile 'Jalapeño'.

Tratamiento	PPF (g)	NF	PPF (g)	DP (mm)	DE (mm)	DP/DE
1	625.2ab	56.83a	11.14b	43.20 ^a	21.71a	2.04a
2	226.5c	25.17b	8.59c	36.46b	20.52b	1.81b
3	770.0a	64.17b	12.24 ^a	44.41 ^a	21.92a	2.05a
4	391.5bc	43.50ab	8.69b	32.48c	21.50a	1.55c
C.V	42.58	40.19	40.05	23.82	16.56	27.88
DMSH	346	30.8	1.1	2.53	0.96	0.14

Donde: 1 tierra de monte y perlita relación 1:1; 2 tezontle rojo; 3 peat moss; 4 arena. Medidas con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; C.V; coeficiente de variación.

Productividad del agua

La productividad del agua mostró diferencias significativas en los tratamientos ($P \leq 0.05$), sobresaliendo el tratamiento 3 (peat moss) como el mejor con 5.53 kg m^3 en segundo lugar el tratamiento 1 (tierra de monte y perlita en relación 1:1) con 4.49 kg m^3 , en tercer lugar el tratamiento 4 (arena) con 2.81 kg m^3 , presentando el tratamiento 2 (tezontle rojo) la menor productividad del agua con 1.62 kg m^3 (Cuadro 8). La productividad está dentro de los rangos de referencia de $3.1 - 8.2 \text{ kg m}^3$ que mencionan Gonzales et al. (2011) como indicadores de productividad del agua a partir de la información disponible en estudios realizados sobre las necesidades hídricas en Cuba. De igual manera es similar con los datos reportados por Quintal et al. (2012) quienes evaluaron 5 niveles de humedad aprovechable en *Capsicum chinense* bajo invernadero, en dicho experimento se utilizó como sustrato compuesto de bagazo viejo de henequén (30 %), tierra negra (40 %) y gallinaza (30 %).

La mayor productividad del agua en chile jalapeño utilizando como sustrato peat moss se atribuye a que presenta una mayor capacidad de retención de agua que los demás tratamientos (Cuadro 7).



Cuadro 7. Productividad del agua (PA) de chile 'Jalapeño'.

Tratamiento	PA (kg m ⁻³)
1	4.49ab
2	1.62c
3	5.53 ^a
4	2.81bc
C.V	42.6
DMSH	2.49

Dónde: 1 tierra de monte y perlita relación 1:1; 2 tezontle rojo; 3 peat moss; 4 arena. Medidas con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; C.V; coeficiente de variación.

Conclusiones

El mayor rendimiento de chile Jalapeño se logró con el sustrato peat moss como resultado este sustrato fue el mejor para obtener una mayor productividad del agua en chile jalapeño en condiciones de invernadero. Una elevada capacidad de retención de agua y porosidad total como característica física de los sustratos ayuda a mejorar la producción en chile Jalapeño bajo invernadero.

Referencias Bibliográficas

- Aguirre E. y Muñoz V. 2015. (2015). El chile como alimento. *Ciencia* 66(3): 16-23.
- Avilés H. 2006. El valor del agua en la agricultura LA GRANJA. *Revista de Ciencias de la Vida* 1(5):28-31.
- Díaz I. D. L. 2017. Manual del laboratorio de bromatología. Universidad Veracruzana. Facultad de ciencias agropecuarias. [en línea].
Fecha de acceso: 20 de octubre del 2021.
- Favela C.E., P. Preciado R. y A. Benavides M. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 146p.
- García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. UNAM. México. 217p.



- Gaspar M. F. T. 2019. Etnobotánica y caracterización morfológica del chile jalapeño criollo (*Capsicum annuum var. annuum L.*) en la región centro de Veracruz. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana Centro de Investigaciones Tropicales. Xalapa Veracruz. 179p.
- Gonzales, F.; Herrera, J.; Lopez, T.; Cid, G.: “Productividad agronómica del agua”. Revista Ingeniería Agrícola, 1 (1): 40-44, 2011.
- González R. F., J. Herrera P., T. López S. y G. Cid L. 2014. Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 23(4): 21-27.
- Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A. (1985) Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. Applied Engineering in Agriculture, 1, 96-99.
- Lazcano B. M. I., E. Sandoval C., M. A. Tornero C., B.N. Hernández H., I. Ocampo F. y R. Díaz R. 2021. Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. Revista Mexicana de Ciencias Agrícola 12(1):61-76.
- Mendoza G. A. 2004. Evaluación de 6 sustratos diferentes en el cultivar de chile habanero (*Capsicum chinense*) var. Uxmal, bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 99p.
- Morón R. A., y J. A. Alayon G. 2014. Productividad del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum L.*) con manejo orgánico o convencional en Calakmul, Campeche, México. Avances en Investigación Agropecuaria 18(3): 35-40.
- NOM-021-RECNAT-2000. 2002. NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Nación. [En línea]. Fecha de acceso: 10 de noviembre del 2021.
- Pastor S. J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. Terra Latinoamericana 17(3): 231-235.
- Pire R., y A. Pereira. 2018. Tamaño de los poros del suelo y crecimiento de raíz y vástago del chile jalapeño (*Capsicum annuum L.*). Agro-Ciencia 52(5):685–693.



Quintal O, W, C. et al. Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento del chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*). Rvdo. fitotec. México [en línea]. 2012, vol.35, n.2, pp.155-160.

Fecha de acceso: 1 de noviembre del 2022

Salazar M. R., A. ROJANO A. y I.L. LÓPEZ C. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. Tecnología y Ciencias del Agua 5(2):177-183.

Sánchez M.A. 2014. Distribución de materia seca de planta de diferentes poblaciones avanzadas de chile (*Capsicum annum L.*) tipo mirasol en la región lagunera. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 39p.

Sarduy D. M., I. Aguilar D., L. Castellanos G., R. Soto O. y Y. Pérez R. 2016. Sustratos y soluciones nutritivas para la obtención de plántulas de pimiento y su influencia en la producción en cultivos protegidos. Revista Centro Agrícola 43(4):42