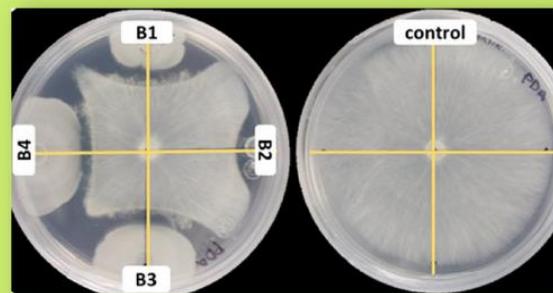


Investigaciones Biológicas, Agrícolas y Ambientales de México



Leandris Argente Martínez
Ofelda Peñuelas Rubio
Organizadores



Leandris Argente! Martínez
Ofelda Peñuelas Rubio
Organizadores

Investigaciones Biológicas, Agrícolas y Ambientales de México



Pantanal Editora

2022

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Prof. MSc. Adriana Flávia Neu
Prof. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Prof. MSc. Aris Verdecia Peña
Prof. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Prof. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Prof. Dra. Denise Silva Nogueira
Prof. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandris Argentei-Martínez
Prof. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Prof. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Prof. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Prof. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Prof. Dra. Patrícia Maurer
Prof. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Prof. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
MSc. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Prof. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Mun. Rio de Janeiro
UNMSM (Peru)
UFMT
Mun. de Chap. do Sul
IFPR
Tec-NM / ITVY (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

**Datos Internacionales de Catalogación en la Publicación
(eDOC BRASIL)**

I62 Investigaciones biológicas, agrícolas y ambientales de México / Organizadores
Leandris Argentele Martínez, Ofelda Peñuelas Rubio. – Nova Xavantina,
MT: Pantanal, 2022.
131 p. : il.

Formato: PDF

Requisitos del sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acceso: World Wide Web

ISBN 978-65-81460-59-4

DOI <https://doi.org/10.46420/9786581460594>

1. Agricultura – México. 2. Sostenibilidad. 3. Medio ambiente. I.
Argentele Martínez, Leandris. II. Peñuelas Rubio, Ofelda.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Prólogo

Investigaciones Biológicas, Agrícolas y Ambientales de México es un libro electrónico científico, basado en estudios experimentales desarrollados por un colectivo de prestigiosos investigadores de México y de otros países que, en colaboración, aportan respuestas a problemáticas existentes en dichas ramas del saber. Estos trabajos aparecen divididos en capítulos donde se ofrece información actualizada sobre los avances más recientes en dichas áreas, con un estilo de artículo científico y con referencias bibliográficas de gran nivel de actualización científica.

El proceso de revisión de los capítulos fue desarrollado, bajo la modalidad a doble ciegas, por varios investigadores que participan en el comité editorial de PANTANAL EDITORA. Se agradece a los autores de los respectivos capítulos por la dedicación al atender las sugerencias y comentarios realizados por los revisores, optimizando el tiempo de los procesos de revisión y aceptación.

Los autores

Sumario	
Prólogo	4
Ciencias Biológicas	6
Capítulo 1	7
Estructura del manglar y parámetros físico-químicos del sedimento en tres lagunas costeras del Golfo de California	7
Capítulo 2	22
Aislamiento y caracterización morfológica de <i>Fusarium oxysporum</i> asociado al tomate en el Valle del Yaqui, Sonora	22
Capítulo 3	33
Enhancing the yield of spores of <i>Bacillus cereus sensu lato</i> strain B25 by evaluating culture media	33
Capítulo 4	45
Cultivo de camarón blanco del Pacífico (<i>Penaeus vannamei</i>) a baja salinidad en agua de mar artificial	45
Ciencias Agrícolas	55
Capítulo 5	56
Caracterización morfológica y perfil patogénico de aislados fúngicos provenientes de la rizósfera de sandía (<i>Citrullus lanatus</i> Thunb.) en el sur de Sonora	56
Capítulo 6	65
Crecimiento y producción de tomate en respuesta a dos sustratos y niveles de solución nutritiva	65
Capítulo 7	76
Isolation and characterization of endophytic bacteria from maize and giant reed with biotechnological and biocontrol potential against <i>Rhizoctonia zeae</i>	76
Ciencias Ambientales	93
Capítulo 8	94
Use of nitrogen fertilizers in the Yaqui Valley: a compilation of three decades of knowledge	94
Capítulo 9	108
Are there atmospheric conditions for water loss at night in wheat canopies in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico?	108
Capítulo 10	122
Estimación del carbono en la biomasa aérea del mezquite (<i>Prosopis</i> spp.) en la comunidad de Charay, El Fuerte, Sinaloa	122
Índice	130
Sobre los organizadores	131

Crecimiento y producción de tomate en respuesta a dos sustratos y niveles de solución nutritiva

Recibida em: 09/09/2022

Aprobado em: 14/09/2022

 10.46420/9786581460594cap6

José A. Rangel-Lucio¹ 

Francisco Cervantes-Ortiz^{2*} 

J. Guadalupe García-Rodríguez² 

Hugo C. Cisneros-López² 

Blanca C. López-Ramírez³ 

Lorenzo Pérez-López⁴ 

RESUMEN

El incremento de la densidad poblacional en México requiere un impulso significativo en las capacidades de producción de alimentos. Un paso importante para la producción exitosa de cultivos como el tomate, que en México es la segunda hortaliza, después del chile y con una amplia gama de usos tanto en fresco como procesado, es la nutrición de las plántulas. Con adecuados sustratos y soluciones nutritivas se lograrán plantas en óptimas condiciones para un mejor desempeño fisiológico y agronómico. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la respuesta de algunas variables agronómicas de la producción de tomate bajo invernadero con concentración nutritiva Steiner y dos sustratos. El experimento se realizó en invernadero del Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, en el periodo Primavera-Verano en el año 2018. El estudio experimental comprobó que las concentraciones diseñadas a partir de la solución nutritiva Steiner tienen mayor relevancia que la función desempeñada por el sustrato en altura de planta y producción de frutos de tomate en hidroponía e invernadero. No obstante, la fibra de coco representa una alternativa por influir positivamente en altura de planta y provocar mayor concentración de clorofila. Se demostró, además, que concentraciones de la solución Steiner superiores al testigo comercial (125 y 150%) condujeron a la mayor altura de planta y tienen mayor impacto en la producción de fruto de tomate el cid, cultivado en hidroponía en condiciones de invernadero.

¹Departamento de Biología, Tecnológico Nacional de México, Campus Ciudad Victoria. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

²Departamento de Ciencias Agropecuarias, Tecnológico Nacional de México, Campus Roque. Celaya, Guanajuato, México.

³Departamento de Sistemas y Computación, Tecnológico Nacional de México, Campus Roque. Celaya, Guanajuato, México.

⁴Departamento de Agronomía, Tecnológico Nacional de México, Campus Valle del Yaqui. Ciudad Obregón, Sonora, México.

*Autor para correspondencia: francisco.co@roque.tecnm.mx

INTRODUCCIÓN

La demanda creciente de alimentos provoca el abatimiento de recursos naturales y mayor presión ambiental, lo que obliga a la búsqueda de alternativas sustentables de producción agrícola, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization) (FAO, 2017). Parte de esa sustentabilidad podría lograrse con el manejo racional de un cultivo, que puede encontrarse con la incorporación de la hidroponía y la serie de factores que involucra el incremento de la productividad de éste sistema, como la concentración de los nutrimentos en la solución y el tipo de sustrato de crecimiento empleado.

En México, el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la segunda hortaliza en importancia después del chile, así como de la mayor difusión agrícola mundial por su alto consumo y valor económico, según estadísticas de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA, 2019). Parte de ello se soporta en el sabor del fruto para la elaboración de salsas, platillos tradicionales y alimentos procesados (Islam et al., 2018). La producción mundial de tomate fue de 182.3 millones de toneladas en 2017, resultado de un registro creciente de la superficie que se ubicó en 4,8 millones de hectáreas entre 2007 y 2017, donde destacaron China, India, Nigeria, Turquía y Egipto; en el mismo período, México ocupó la novena posición con una participación de 2,3% (FIRA, 2019).

El uso de invernaderos tiende a mejorar el crecimiento, desarrollo de la planta, productividad y calidad de fruto de tomate, entre otras ventajas, según el grupo Asesores en Construcción y Extensión Agrícola (ACEA, 2020). El complemento ideal se basa en la solución nutritiva, una disolución acuosa que contiene oxígeno y parte o la totalidad de los nutrimentos completamente disociados en forma disponible para la planta (Santos y Ríos, 2016), que se debe suministrar en balance para brindar un desarrollo apropiado de la planta y la obtención de un rendimiento óptimo. En ésta, la concentración iónica total determina el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo (Steiner, 1984).

La productividad y calidad de fruto de tomate y otras solanáceas han sido abordadas con diversas soluciones nutritivas (Arnon y Hoogland, 1940). Sin embargo, en la actualidad, el uso de la solución nutritiva Steiner se ha generalizado para la producción de tomate en hidroponía en sistemas cerrados (De la Rosa-Rodríguez et al., 2017) o se opta por alguna solución elaborada para propósitos particulares (Delaide et al., 2019). En cambio, el estudio de esta modalidad de suministro nutricional no ha sido bien documentado en sistemas abiertos.

El uso de sustratos sobrepasa el concepto de la hidroponía, pues permite transporte de oxígeno y dióxido de carbono entre raíces y aire externo, mantiene las características originales durante el crecimiento del cultivo, invierte menos en mano de obra, uso de pesticidas o fertilizantes, provoca buen crecimiento de la planta, interviene o no en la nutrición de la planta (Suvo et al., 2017). En México, el tezontle mantiene un arraigo de uso importante como sustrato por favorecer el rendimiento y bajo costo de adquisición

(Castellanos y Vargas, 2003; Cruz-Crespo et al., 2013). En este sentido, la incorporación de sustratos modificó para bien el sistema de producción en hidroponía, pero la diversidad de fuentes enfrenta problemas que merecen atención. La caracterización del sustrato por sus propiedades físicas, químicas y biológicas, es importante para el manejo de la planta (Castellanos, 2004). Por su origen y abundancia natural en México, el tezontle (mineral volcánico) se utiliza en la producción hidropónica. Como sustrato, al tezontle se le fragmenta hasta alcanzar el tamaño granulométrico (Vargas-Tapia et al., 2008), según el cultivo. La fibra de coco como sustrato tiende a adquirir mayor cobertura, pero se recomienda lavarlo antes de emplearlo por el contenido de sodio y cloruros que alteran el potencial osmótico de la solución nutritiva (Abad et al., 2002). En una evaluación en tomate donde se midió la respuesta en altura de planta, índice de clorofila y producción de fruto en función de soluciones nutritivas y humus de lombriz combinado con fibra de coco como sustrato, se concluyó que el sustrato no modificó estadísticamente ninguna característica estudiada (Valenzuela et al., 2014).

Con base a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta de algunas variables agronómicas de la producción de tomate bajo invernadero con concentración nutritiva Steiner y dos sustratos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó en invernadero del Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, en el periodo Primavera-Verano 2018, situado a 20°34' N 100° 49' W y 1 750 m de elevación. El ensayo comprendió sustratos [fibra de coco (pH 6,3 a 6,7, conductividad eléctrica (C.E.) de 1 a 1,8 dS/m, densidad 294 kg/m) y tezontle rojo (partículas de 0,50 mm de diámetro, pH neutro, buena aireación, 56,9% de retención de humedad)] y concentración de la solución nutritiva Steiner (50, 75, 100, 125 y 150 %). El análisis químico del agua de riego tuvo 0.23 mmol/L de NO_3^- , 0,5 mmol/L de SO_4^{2-} , 0,35 mmol/L de K^+ , 5,1 mmol/L de Ca^{2+} y 0,8 mmol/L de Mg^{2+} ; pH = 6,69 y CE = 0,63 mS/cm. Las fuentes fertilizantes fueron $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, H_2SO_4 y H_3PO_4 ; así como H_3BO_3 , $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y Fe-EDTA (7% Fe).

La combinación de factores [Sustrato (2) x Solución Nutritiva (5)] permitió la formación de 10 tratamientos distribuidos en el invernadero bajo el esquema de un Diseño Completamente al Azar y repetido tres veces. La unidad experimental se integró por seis plantas. El trasplante del tomate tipo saladette El Cid F1 (Harris Moran) a bolsas negras y "bolis" (o *slabs*) se realizó el 12 de abril de 2018, cuando la plántula tenía 30 días de edad y entre 0,15 m y 0,17 m de altura. El empleo recipientes diferentes obedece a la forma de cómo se oferta en el mercado; la fibra de coco su presentación es en bolis y el tezontle a granel. Las dimensiones de la bolsa fueron 0,40 m x 0,40 m, en las que se vaciaron 12 kg de tezontle con partículas de 0,5 mm de diámetro, mientras que el boli de 1 m de longitud, contenía fibra de

coco. Ambos sustratos se desinfectaron con Busan 30 w TCMTB (tiocianometiltio benzotiazol), en un riego de pre-plantación. La densidad fue 3,3 plantas/m² en hileras separadas 1,40 m. La solución nutricional se suministró en el sistema de riego por goteo autocompensado (4 L/h), 3 veces al día por 15 min; el tiempo de riego aumentó hasta 20 m conforme ocurrió el crecimiento de la planta.

El manejo del cultivo consistió en la poda de hojas, tutoreo y desbrote semanal. El raleo hasta cinco frutos inició a partir de la segunda inflorescencia a 60 días de edad de la planta (dep), para uniformizar el tamaño. La polinización se realizó dos veces por semana con mochila de aire aplicado a presión, durante la mañana. Las variables registradas en cuatro plantas por parcela fueron altura de planta a los 67, 77, 85, 97, 108 y 120 dep, concentración de clorofila con el medidor portátil tipo SPAD 501 (Minolta Camera Co., LTD, Osaka, Japón) en la parte media de la hoja a los 77, 85, 97 y 108 dep, racimos de frutos y producción de fruto del segundo al sexto corte (77, 86, 97, 108 y 120 dep). El ciclo de crecimiento permitido fue de 175 días.

Los resultados se sometieron a un análisis estadístico, consistente en un Análisis de Varianza (ANOVA) mediante un Diseño Completamente Aleatorizado y prueba de comparación de medias con Tukey ($\alpha = 0,05$), con el Sistema de Análisis Estadístico (SAS), por sus siglas en inglés: Statistical Analysis System (SAS, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta

El análisis de varianza para altura de planta mostró efecto estadístico significativo ($p \leq 0,05$) para la fuente de variación sustrato únicamente a los 120 dep; por otro lado, la solución nutritiva modificó estadísticamente ($p \leq 0,01$) la altura a los 77 y 120 dep y con efecto significativo al 0,05 de probabilidad a los 85 dep. No hubo efecto de la interacción de estos factores de estudio en altura de la planta (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables altura de planta e índice de clorofila que fueron medidas en diferentes días de edad de la planta (dep). Celaya, Guanajuato. México.

Fuente de variación	GL	Altura de planta (cm)			Clorofila (uS)		
		77	85	120	77	85	97
Sustrato (S)	1	22,5 ^{ns}	28,0 ^{ns}	26,1 [*]	238,5 ^{**}	453,1 ^{**}	258,1 ^{**}
Sol. nutritiva (C)	4	82,3 ^{**}	98,2 [*]	71,4 ^{**}	16,80 ^{ns}	48,5 ^{ns}	252,3 ^{**}
S x C	4	2,7 ^{ns}	24,1 ^{ns}	3,8 ^{ns}	13,92 ^{ns}	28,8 ^{ns}	34,4 ^{ns}
Error	20	9,0	25,0	5,3	28,0	40,4	28,3
C.V (%)	--	11,0	21,0	9,9	13,7	16,5	14,1

^{*}, ^{**} significativo al 0,05 y 0,01 de probabilidad, respectivamente. ns: no significativo; GL: grados de libertad; CV: coeficiente de variación. Fuente: elaborado por los autores.

En el Cuadro 2 se pueden observar las diferencias entre los promedios de la altura de planta de tomate a los 77 dep, de tal manera que con la solución nutritiva Steiner al 125% la altura de planta fue 17%

mayor con respecto a la que alcanzaron con la solución nutritiva Steiner 100%, incluso dicha característica superó en 7% a la que se observó cuando fueron cultivadas con el nivel de 150% de solución nutritiva, aunque sin diferencias estadísticas entre ambos promedios. Además, en comparación con la altura que las plantas alcanzaron con las soluciones a 50 y 75% con respecto a la solución de 125%, los incrementos fueron de 29,4 y 21,6%, respectivamente. Una tendencia similar ocurrió en la altura de planta medida a los 85 dep, aunque la solución nutritiva de 150% favoreció el mayor crecimiento de la planta (24,4%) con respecto de la solución de 125% y fue superior en 30,2% con respecto de la solución nutritiva Steiner de 100%. De la misma forma, ocurrió en la altura de planta registrada a los 120 dep, donde la solución nutritiva de 150% presentó la respuesta más alta con 29% superior a la solución del 100%. Los resultados en la variación de altura de planta, ocasionadas por las soluciones nutritivas confirman lo referido por Segura (2003), quien menciona que esta es una característica que ha sido estudiada con mucha frecuencia en experimentación agrícola y que es muy afectada por las condiciones del medio en el que las plantas son cultivadas. Además, Ramírez y Nienhuis (2012) afirman que esta variación de la altura medida a través del tallo, la senescencia y muerte de hojas y frutos explican el crecimiento y el rendimiento de la planta, respectivamente.

Cuadro 2. Comparación de medias para las variables altura de planta e índice de clorofila registradas en diferentes días de edad de la planta (dep) de tomate. Celaya, Guanajuato, México.

Sol. Nut.	Altura de Planta (cm)			Índice de clorofila (uS)		
	77	85	120	77	85	97
50	22,6 c	21,0 b	21,0 b	38,0 a	35,1 a	26,5 b
75	25,1 bc	22,1 b	21,8 b	39,3 a	41,9 a	39,5 a
100	26,6 bc	21,5 b	20,6 b	36,0 a	36,8 a	38,5 a
125	32,0 a	23,3 ab	24,1 b	38,7 a	37,6 a	40,0 a
150	29,8 ab	30,8 a	29,0 a	40,5 a	40,9 a	43,5 a
DSH	5,1	8,6	4,0	9,1	10,9	9,1
Sustrato						
Tezontle	26,4 a	22,8 a	22,4 b	35,7 b	34,6 b	34,6 b
Fibra coco	28,1 a	24,7 a	24,2 a	41,3 a	42,3 a	40,5 a
DSH	2,2	3,8	1,7	4,0	4,8	4,0

Valores con literales distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey, 0,05). DSH: diferencia significativa honesta. Fuente: elaborado por los autores.

Del mismo modo, la fibra de coco como sustrato generó las plantas de mayor altura a los 120 dep. En el resto de los muestreos no tuvo efecto estadístico significativo. Sin embargo, el tezontle, producto de las erupciones volcánicas, se utiliza en mayor proporción en invernaderos comerciales y de investigación en México, principalmente en el centro, pero su costo se incrementa por el transporte hacia el norte o sur de México. Ante la escasez de tezontle en estas partes, la fibra de coco se constituye en el sustrato indicado para el desarrollo de tomate en invernadero, a pesar del riesgo que representan las sales en la conductividad eléctrica (Cruz-Crespo et al., 2013).

Índice de clorofila

La concentración de clorofila, indirectamente obtenida por la coloración verde de la hoja de tomate fue afectada estadísticamente ($p \leq 0,01$) debido al efecto simple del sustrato a los 77, 85 y 97 dep. Por otra parte, la combinación de factores no provocó cambios significativos en esta variable (Cuadro 1).

En las tres fechas de lectura del índice de clorofila; 77, 85 y 97 dep, donde se presentó efecto estadístico significativo, los valores alcanzados por el sustrato fibra de coco fue superior en 13,6, 18,2 y 14,6% respectivamente, con respecto del tezontle; además, la mayor concentración se presentó a los 85 dep, con 42,38 uS (Cuadro 2). La fibra de coco como sustrato tiende a adquirir mayor cobertura, pero se recomienda lavarlo antes de emplearlo por el contenido de sodio y cloruros que alteran el potencial osmótico de la solución nutritiva (Abad et al., 2002). Por otro lado, el tezontle en una proporción porcentual de 75 (partículas finas: < 2 mm)/25 (partículas gruesas: > 2 mm y $< 12,5$ mm/grueso) retiene hasta 40% el agua suministrada (Ojodeagua et al., 2008) una condición que pudo favorecer el color verde reflejado en la clorofila medida con el SPAD-501 y mantener un balance apropiado entre fuente-demanda y mejor absorción y contenido de nutrimentos en la hoja de tomate (Zhang et al., 2015). En este contexto, de acuerdo con Ortega-Torres et al. (2020) en México se prefiere el tezontle como sustrato para cultivar tomate en hidroponía y otras hortalizas redituables.

Por otro lado, la variación en la concentración de la solución nutritiva de 75 a 150% condujeron a valores que fueron significativamente iguales, al variar de 38,5 a 43,5 uS de clorofila. La reducción de la solución nutritiva hasta 50% trajo consecuencias severas en la clorofila de la hoja de tomate, al registrar sólo 26,5 uS (Cuadro 2). Los índices de reflectancia de la vegetación son útiles para identificar el estado nutricional de un cultivo (Bhushan et al., 2017). El principio de los valores *Spad*, se basa en la medición de la proporción de la radiación solar recibida por el follaje, que es efectivamente absorbida por la clorofila; el resto se detecta por el dispositivo y después convertida en una señal eléctrica (Dong et al., 2019).

Número de racimos de frutos

Esta característica no presentó efecto estadístico significativo para ninguno de los factores estudiados; sustrato y solución nutritiva, así como en su forma combinada (datos no mostrados). Aunque se afirma que la deficiencia de nutrimentos en la solución Steiner representa una desventaja importante, pues estadísticamente se forma el menor número de racimos con una solución diluida al 50% (Cuadro 3), debido a un retraso del crecimiento por las deficiencias nutricionales a las que se somete a la planta de tomate (lo mismo ocurre en la iniciación floral y formación de fruto), particularmente nitrógeno, fosforo o potasio (Liu et al., 2019).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de la producción de fruto del tomate saladette “Cid F₁” registrados en diferentes días de edad de la planta (dep). Celaya, Guanajuato, México. Fuente: elaborado por los autores.

Fuente de variación	GL	Producción de fruto		
		97	108	120
Sustrato (S)	1	67687,5 ^{ns}	1080151,9 ^{ns}	12301,9 ^{ns}
Solución nutritiva (C)	4	92947103,4 ^{**}	23064723,7 [*]	87493928,4 ^{**}
S x C	4	76654,7 ^{ns}	8640948,7 ^{ns}	4242972,2 ^{ns}
Error	20	10536787,5	5729373,8	13024640,6
CV (%)	---	17,3	13,2	21,1

*, ** significativo al 0,05 y 0,01 de probabilidad, respectivamente. ns, no significativo, GL, grados de libertad; CV, coeficiente de variación.

Producción de fruto

La producción de fruto fue afectada significativamente por la solución nutritiva a los 97, 108 y 120 dep (Cuadro 4). El sustrato; tezontle y fibra de coco y la interacción sustrato por solución nutritiva (S x C) no modificaron estadísticamente esta característica. En la primera fecha (97 dep), los dos grupos de medias formados tuvieron como punto de corte a la solución nutritiva Steiner original; el primero de esos grupos varió de 18,46 a 22,76 t ha⁻¹ de fruto al cambiar desde 100 a 150% la solución nutritiva; en tanto que, el segundo grupo se formó al tener de 14,25 a 18,46 t ha⁻¹ de fruto con las soluciones que fueron de 50 a 100% de los componentes químicos (Cuadro 4). A los 108 dep también se formaron dos grupos: el primero de ellos fue de 17,92 a 20,46 t ha⁻¹ de fruto producido, en respuesta a la solución nutritiva establecida desde 75 a 150%; mientras que, en el segundo grupo la producción fue de 15,08 a 18,89 t ha⁻¹ de fruto de tomate con las soluciones concentradas de 50 a 100 y 150%. Finalmente, a los 120 dep la respuesta en la producción de fruto tiende dispersarse entre las distintas concentraciones de la solución nutritiva (Cuadro 4).

De esta manera, se formaron tres grupos de medias; donde el primero fue de 16,28 a 21,66 t ha⁻¹ de fruto por efecto de un cambio de solución de 100 a 150%; el segundo de ellos varió de 15,43 a 19,98 t ha⁻¹ de fruto con las soluciones concentradas de 75 a 125% y, el tercer grupo se conformó al tener una producción que cambió de 12,03 a 16,28 t ha⁻¹ por efecto de las soluciones nutritivas preparadas desde 50 a 100%. En este contexto, Ojodeagua et al. (2008) tuvieron una producción de 30,4 t ha⁻¹, con el uso de la solución nutritiva de 125% y tezontle como sustrato. Mientras que, Mata-Vázquez et al. (2010) obtuvieron 58,9 t ha⁻¹ de fruto del híbrido de tomate “Toro”, tipo saladette, con tezontle como sustrato y solución nutritiva Steiner. Adicionalmente, Jerónimo (2015) menciona que hay reducción de consumo de agua hasta 40% y otras ventajas de la producción bajo hidroponía e invernadero. Por otro lado, Ortega et al. (2016) afirman que cultivar en sustrato suele ser una herramienta efectiva para aumentar el rendimiento del cultivo, el uso eficiente del agua y reducir el impacto ambiental. Además, Jasso et al. (2011) afirman que el rendimiento de jitomate en hidroponía supera al que se cultiva en campo hasta en un 500%.

Cuadro 4. Comparación de medias para la producción de fruto ($t\ ha^{-1}$) registrado en diferentes momentos de cosecha (dep) del híbrido de tomate Cid tipo saladette. Celaya, Guanajuato, México. Fuente: elaborado por los autores.

Sol. Nut.	97	108	120
50	14,251 b	15,081 b	12,039 c
75	15,598 b	17,929 ab	15,429 bc
100	18,459 ab	17,989 ab	16,279 abc
125	22,698 a	20,466 a	19,983 ab
150	22,765 a	18,891 ab	21,666 a
DSH	5,608	4,1353	6,235
Sustrato			
Tezontle	18,707 a	17,8805 a	17,098 a
Fibra de coco	18,802 a	18,2600 a	17,058 a
DSH	2,4724	1,8231	2,748

Valores con literales distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey, 0,05). DSH: diferencia significativa honesta.

CONCLUSIONES

El estudio experimental comprobó que las concentraciones diseñadas a partir de la solución nutritiva Steiner tienen mayor relevancia que la función desempeñada por el sustrato en altura de planta y producción de frutos de tomate en hidroponía e invernadero. No obstante, la fibra de coco representa una alternativa por influir positivamente en altura de planta y provocar mayor concentración de clorofila.

Concentraciones de la solución Steiner superiores al testigo comercial (125 y 150%) condujeron a la mayor altura de planta y tienen mayor impacto en la producción de fruto de tomate el cid, cultivado en hidroponía en condiciones de invernadero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad M et al (2002). Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerized ornamental plants. *Bioresource Technology*, 82(3): 241-245. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00189-4](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00189-4)
- ACEA, Asesores en Construcción y Extensión Agrícola (2020). Ventajas y Desventajas del Uso de Invernaderos. <https://www.acea.com.mx/articulos-tecnicos/alex-j-pacheco/43-i-introduccion-114-ventajas-y-desventajas-del-uso-de-invernaderos>
- Arnon DI; Hoagland DR (1940). Crop production in artificial culture solution and in soil with special referent to factor influency yield and absorption of inorganic nutrient. *Soil Science*, 50: 463-485. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Arnon%2C+D.+I.%2C+%26+Hoagland%2C+D.+R.+%281940%29&btnG=
- Bhushan KS et al. (2017). Spectral reflectance dynamics for nutrient stress assay. A brief review. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 6(2): 215-219. <http://www.bepls.com>

- Castellanos RJ (2004). Manual de Producción de Tomate Bajo Invernadero. (2ª. Edición). México: INTAGRI.
- Castellanos RJ; Vargas TP (2003). El Uso de Sustrato en la Horticultura bajo Invernadero. En: Castellanos JZ (org). Manual de Producción Hortícola en Invernaderos. (2^{da}. Edición). INTAGRI. México. 124-150p.
- Cruz-Crespo E et al (2013). Sustratos en la horticultura. Revista Bio Ciencias. 2(2): 17-26. <http://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/issue/view/9/showToc>
- De la Rosa-Rodríguez R et al. (2017). Agentes fitopatógenos en la solución nutritiva para el cultivo de jitomate en un sistema hidropónico cerrado. Interciencia, 42(4): 236-241. <https://www.interciencia.net/volumen-42/numero-04/>
- Delaide B et al. (2019). Effect of water from a pikeperch (*Sander luciperca* L.) recirculated aquaculture system on hydroponic tomato production and quality. Agricultural Water Management, 226: 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105814>
- Dong T et al. (2019). Assesment of portable chlorophyll meter for measuring crop leaf chlorophyll concentration. Remote Sensing, 11(22): 2706e. <https://doi.org/10.3390/rs11222706>
- FAO (2017). Productividad Agrícola e Innovación. Tendencia 5. En FAO (org.), El Futuro de la Alimentación y la Agricultura. Tendencias y Desafíos. Versión resumida. Roma, Italia. 20-21p. [En línea]. Disponible: <https://www.fao.org/3/a-i6881.pdf>.
- FIRA (2019). Tomate rojo 2019. Panorama Agroalimentario. México: Dirección de Investigación y Evaluación Económica Sectorial. 25 p. <https://www.inforural.com.mx/fira-panorama-agroalimentaria-tomate-rojo-2019/>.
- Islam MZ et al. (2018). Iron, iodine and selenium effects on quality, shelf life and microbial activity of cherry tomatoes. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 46(2): 388-392. <https://doi.org/10.15835/nbha46211012>
- Jasso ChC et al. (2011). Guía para Cultivar Jitomate en Condiciones Hidropónicas de Invernadero en San Luis Potosí. Folleto Técnico No. 41. INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis. 44 p. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/881.pdf>
- Jerónimo VB (2015). Proyecto de Inversión para la Producción de Jitomate Hidropónico en la Comunidad de Santiago Apóstol, Ocotlán, Oaxaca. Universidad Iberoamericana Puebla. Puebla, México. 114 p. <https://www.remeri.org.mx/portal/REMERI.jsp?id=oai:repositorio.iberopuebla.mx:20.500.11777/938>.
- Liu J et al. (2019). Tomato yield and water use efficiency change with various soil moisture and potassium levels during different growth stages. PLoS ONE, 14(3): e0213643. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213643>

- Mata-Vázquez H et al. (2010). Producción de tomate en sistema hidropónico con solución nutritiva reciclable en sustrato de tezontle. *CienciaUAT*, 4(4): 50-54.
<https://revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/256/122>
- Ojodeagua AJL et al. (2008). Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4): 367-374.
<https://www.revistafitotecniamexicana.org/31-4.html>
- Ortega, LD et al. (2016). Eficiencia de sustratos en el Sistema hidropónico y de suelo para la producción de tomate en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3): 643-653.
<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/publicaciones>
- Ortega-Torres AE (2020). Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6): 1447-1455.
<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/publicaciones>
- Ramírez VC; Nienhuis J (2012). Evaluación del crecimiento y productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo cultivo protegido en tres localidades de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 25(1): 3-15. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/172/170
- Santos C B; Ríos MD (2016). Cálculo de Soluciones Nutritivas en Suelo y Sin Suelo. Cabildo Insular de Tenerife, Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural. Area de Agricultura y Pesca, España, 113 p. http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf
- Segura S (2003). Divergencias Morfológicas Interespecíficas del Subgénero Tacsonia (Passiflora). En: Franco TL; Hidalgo R (org.). *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín Técnico No. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (PGRI). Cali, Colombia, 79-84p.*
https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/An%C3%A1lisis_estad%C3%ADstico_de_datos_de_caracterizaci%C3%B3n_morfol%C3%B3gica_de_recursos_fitogen%C3%A9ticos_894.pdf
- Statistical Analysis System [SAS] (2002). *SAS/STAT Guide for Personal Computer (Ver. 9.2.) [Computer Software]*. Cary, United States of America: SAS Institute Inc.
- Steiner AA (1984). The universal nutrient solution. *Proceedings of the Sixth International Congress on Soilless Culture. Wageningen, Netherlands: International Society of Soilless Culture, 633-649p.*
https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Steiner%2C+A.+A.+%281984%29&btnG=
- Suvo T et al. (2017). Impact of substrate on soilless tomato cultivation. *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology*, 6(2): 82-86.
<https://doi.org/10.3329/ijarit.v6i2.31710>

- Valenzuela M et al. (2014). Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 807-818. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n5/v5n5a7.pdf>
- Vargas-Tapia,P et al. (2008). Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México*, 34(3): 323-331. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000300007
- Zhang Y et al. (2015). Influence of nutrient concentration and composition of the growth, uptake patterns of nutrient elements and fruit coloring disorder for tomatoes grown in extremely low-volume substrate. *The Horticulture Journal*, 84(1): 37-45. <https://doi.org/10.2503/hortj.MI-003>

Índice

B

Bacillus cereus, 34, 35
Biomasa aérea, 124, 129, 130

C

Canopy temperature, 118
Carbono, 130
Criopreservación, 27

D

densidad aparente, 7, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 18

E

El Fuerte, 124, 125, 126, 130
Endophytic bacteria, 48, 62

F

Fibra de coco, 80
Fusarium, 23, 24, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 64, 65,
66, 67, 68, 69, 70, 71

M

manglar, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 17
materia orgánica, 7, 8, 9, 11, 14, 16, 17, 18
Mezquite, 125

N

Nitrogen, 96, 97, 99, 103, 104

P

parámetros físico-químicos, 7, 9
Panaeus vannamei, 84, 85, 91
PGPR, 48

S

Salinidad, 84
sedimento, 7, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17
Solanum lycopersicum, 74
Solución nutritiva, 79

T

Tezontle, 77, 80

Y

Yaqui Valley, 95, 96, 97, 98, 101, 102, 103, 104,
105

Sobre los organizadores



Dr. Leandris Argentel Martínez

Profesor e Investigador Titular "C" del Tecnológico Nacional de México, Campus Valle del Yaqui (ITVY). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel 1. Profesor Perfil Deseable (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública de México, Líder del Cuerpo Académico ITVAYA-CA-3. Líneas de investigación: Fisiología Vegetal, Bioquímica, Biología Celular y Molecular en plantas y microorganismos. Doctorado en Ciencias Biotecnológicas. Desarrollo de investigaciones sobre mecanismos fisiológicos, rutas anapleróticas y mecanismos moleculares activados por los organismos durante su adaptación a estreses abióticos.

Uso de marcadores moleculares de tolerancia de los organismos al estrés abiótico (salinidad, sequía y calor). Manejo de técnicas de isótopos estables para el seguimiento de reacciones bioquímicas en células y tejidos. Aplicación de técnicas experimentales univariadas y multivariadas para el procesamiento de datos. Entre sus principales proyectos, se encuentra vigente en 2022 “Aplicaciones del microbioma y el metaboloma de la *Parkinsonia aculeata* L. Sp. Pl. para la mitigación de estreses biótico y abiótico en el semidesierto y en especies de interés agrícola en México” correo electrónico para contacto: oleinismora@gmail.com



Dra. Ofelda Peñuelas Rubio

Profesor e Investigador Titular "C" del Tecnológico Nacional de México, Campus Valle del Yaqui (ITVY). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel 1. Profesora con Perfil Deseable (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública de México, miembro del Cuerpo Académico ITVAYA-CA-3. México. Realizó dos estancias posdoctorales (Enero 2016 - Diciembre 2017) dentro del programa de Estancias Nacionales de CONACYT en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Sinaloa del Instituto Politécnico Nacional en el área de Ecología Molecular de la Rizósfera. Es Doctora en Ciencias especialidad en Biotecnología. Su

quehacer científico lo desarrolla en el área agrícola, principalmente en el manejo sustentable de los recursos implicados en los agroecosistemas y el aprovechamiento de la microbiota del suelo. Ha participado en colaboración con distintos grupos de investigación lo que le ha permitido participar en proyectos multidisciplinarios y en publicaciones científicas. Email para contacto: ofeperub@gmail.com



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br