



Sexto
Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



Artículo: COMEII-21040

Hermosillo, Son., del 9 al 11 de junio de 2021

PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PARA EL CULTIVO DE FRESA

Lizdeini Soto Franco^{1*}; Juan Manuel Barrios Díaz¹; Sigfrido David Morales Fernández¹; Benjamín Barrios Díaz².

¹Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
San Juan Acataeno, Teziutlán, C.P. 73965, Puebla, México.

lizdeini@hotmail.com - 775 149 4914 (*Autor de correspondencia)

²Comprejo Regional Norte Campus Tetela de Ocampo. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
Tetela de Ocampo, C.P. 73965, Puebla, México.

Resumen

La escasez de agua es un factor limitante para la agricultura. Dentro del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa duch.*) a pesar del uso de riego localizado, todavía existe incertidumbre sobre la cantidad necesaria de riego para obtener producciones cercanas al potencial del cultivo. (Trout y Gartung, 2004). Por tal motivo el propósito del presente trabajo fue contribuir al conocimiento de las necesidades hídricas del cultivo de fresa comparando dos sistemas de producción en la variedad Albión, con la finalidad de determinar la productividad del agua. Se evaluaron tres tratamientos: sistema de producción orgánico en suelo, sistema de producción hidropónico en tezontle con granulometría menor a 3 mm y sistema de producción hidropónico con granulometría mayor a 5 mm. Los resultados indicaron que el cultivo de fresa tuvo una mayor productividad del agua con el sistema de producción orgánico en suelo, la cual fue de 16.8 kg m⁻³ en comparación con los sistemas hidropónicos en tezontle que tuvieron productividades de 2.5 y 1.8 kg m⁻³.

Palabras clave: Productividad del agua, cultivo orgánico, cultivo hidropónico.



Introducción

La agricultura es una actividad económica de alto consumo de recursos hídricos (CNA, 2006), considerada el principal usuario con una utilización del 75 % del total de agua disponible. La competitividad y rentabilidad de la industria de la fresa (*Fragaria x ananassa duch.*) en México, en el futuro, dependerá de la adopción de mejores técnicas de cultivo (Roussos *et al.* 2009). la estrategia clave se centra en mejorar la productividad del agua (Molden *et al.* 2001). El concepto de productividad del agua fue establecido por Kijne *et al.* (2003) como una medida sólida para determinar la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir el agua en alimento. Sin embargo, la determinación de tal concepto en la práctica se utiliza como una herramienta de diagnóstico para comprobar la eficiencia del uso del agua en los sistemas agrícolas. A pesar del uso de riego localizado en el cultivo de la fresa todavía existe incertidumbre sobre la cantidad necesaria de riego para obtener producciones cercanas al potencial del cultivo, trabajos realizados muestran cifras que varían entre 3 000 y 8 000 m³ ha⁻¹ (Gavilán *et al.* 2015).

Comparar sistemas productivos en un mismo cultivo ayuda a conocer sus necesidades hídricas y determinar cuál de estos es más productivo y útil para aplicar en campo, por lo cual el principal objetivo de este trabajo fue evaluar la productividad del agua en dos sistemas productivos para el cultivo de fresa, variedad Albión bajo condiciones de invernadero; tomando en cuenta su crecimiento, rendimiento, agua utilizada y la dinámica de la tensión de humedad en suelo para el caso del sistema en suelo.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó de enero a julio de 2020 bajo condiciones de invernadero en la región nororiental del Estado de Puebla en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Se evaluaron tres tratamientos, los cuales fueron: Sistema de producción orgánico en suelo, sistema de producción hidropónico en tezontle con granulometría menor a 3 mm y sistema de producción hidropónico en tezontle con granulometría mayor a 5 mm. El croquis del experimento se muestra en la Figura 1. La investigación se estableció bajo el diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos y 15 repeticiones de la unidad experimental que consistió en una planta establecida en maceta para el sistema hidropónico y una planta para el sistema orgánico en suelo. Se realizaron análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey para las variables de respuesta.

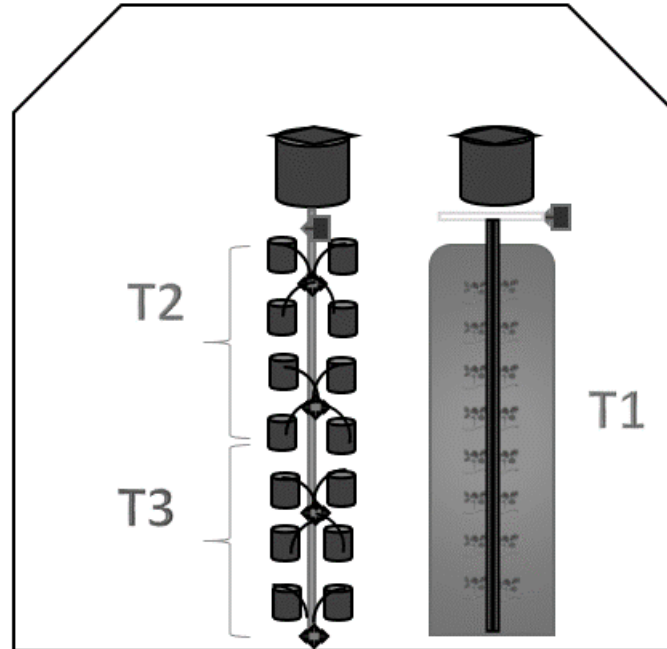


Figura 1. Distribución de tratamientos.

Riego del tratamiento 1

Para el sistema de riego se utilizó cinta de goteo calibre 6 000, con emisores cada 20 cm y caudal de 2.8 L h⁻¹. El nivel de humedad del suelo se monitoreó con el uso de sensores de matriz granular y las lecturas se visualizaron con un medidor digital Watermark[®]. El riego se aplicó de acuerdo al Cuadro 1.

Cuadro 1. Dosis de riego establecida para el cultivo de fresa en suelo.

Fase fenológica (DDT)	Dosis de agua por planta (mL)	Eventos de riego por día
Etapa vegetativa		
0 -50	72	50
50 - 100	145	12
Etapa reproductiva		
100-120	145	12
Etapa productiva		
120 - 150	360	19

DDT: días después de trasplante.



Riego de los tratamiento 2 y 3

El riego se aplicó mediante un sistema estaca-gotero, dividiendo la dosis en varios eventos por día. Este sistema suministró 30 mL de agua por planta por minuto y tuvo un caudal de 1.8 L h⁻¹. Los eventos de riego se programaron de acuerdo a los requerimientos de agua establecidos en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Dosis de riego establecida para el sistema hidropónico en tezontle

Fase fenológica (DDT)	Dosis de agua por planta (mL)	Eventos de riego por día
0 - 20	60	2
20 - 50	180	4
60- 100	450	5

DDT: días después de trasplante.

Solución nutritiva

Para los tratamientos 2 y 3 se utilizó la solución Steiner al 50% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Solución Steiner al 50% para 480 litros de solución

Fertilizante	g L ⁻¹
Nitrato de potasio, KNO ₃	72.72
Fosfato monopotásico, KH ₂ PO ₄	32.64
Sulfato de potasio, K ₂ SO ₄	62.64
Nitrato de calcio, Ca(NO ₃) ₂	254.88
Sulfato de magnesio, SO ₄ 7H ₂ O	118.08

Productividad del agua

El concepto de productividad del agua fue establecido por Kijne *et al.* (2003) como una medida sólida para determinar la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir el agua en alimento. La definición de productividad, es decir un cociente, donde el numerador se encuentra la cantidad de producto físico (toneladas por hectárea), económico (ganancia por hectárea) o social (empleos generados por hectómetro); mientras que en el denominador se registra la cantidad de agua medida en litros, metros cúbicos, hectómetros o millones de metros cúbicos (L, m³, hm³, o Mm³), obteniéndose la siguiente fórmula para determinar la productividad del agua:

$$\text{Productividad del agua} = \frac{\text{Producción (kg)}}{\text{Cantidad de agua utilizada (m}^3\text{)}}$$

Resultados y Discusión

Factores ambientales

El registro de las variables climáticas dentro del invernadero se realizó por medio de una estación meteorológica electrónica de la marca Davis®, modelo Vantage Pro 2.0.

Temperatura

Dinamarca (2005) indica que el intervalo óptimo de temperatura para el cultivo de fresa, dependiendo los cultivares, es de 20 a 30 °C que junto con las temperaturas diurnas entre 18 y 25 °C, y nocturnas de 8 a 13 °C condicionan el desarrollo vegetativo y la floración. Dentro del invernadero donde se llevó a cabo el experimento la temperatura mínima fue de 11.8 °C, mientras que la máxima fue de 27.1 °C y la temperatura promedio de 18 °C. En la Figura 2 se muestra la fluctuación de la temperatura presentada en el invernadero durante el ciclo del cultivo de fresa.

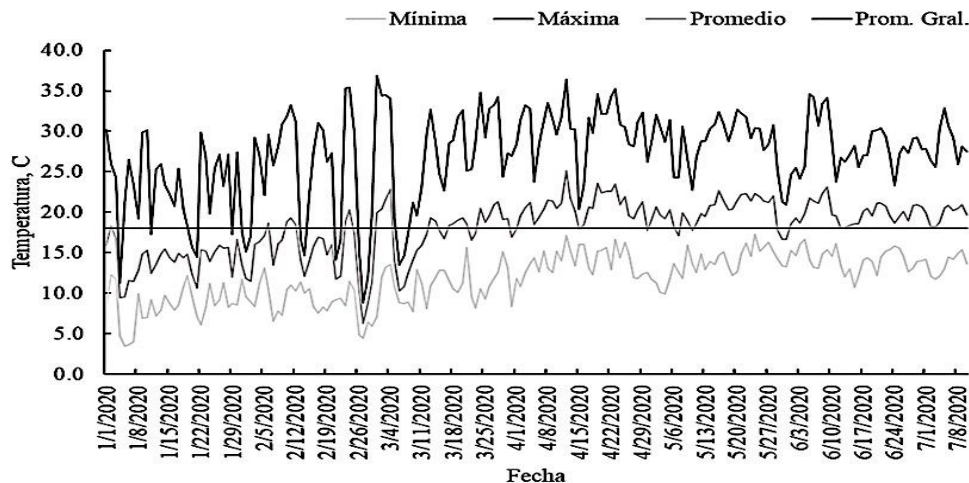


Figura 2. Temperaturas mínimas, máximas y promedio (°C) presentadas en el invernadero durante el ciclo del cultivo de fresa variedad Albión.

Humedad relativa

Honcock (1999) reporta que la temperatura y la humedad relativa afectan la viabilidad y la germinación de los granos de polen. Leech *et al.* (2002) menciona que el intervalo óptimo de humedad relativa es de 50 a 60 % y señala que hubo una gran reducción en el porcentaje de germinación de polen en los cultivares de fresa Marmolada, Tamella, Pegaus y Florence, cuando estuvieron expuestas a 30 °C y humedad relativa de 75 a 85 %. El rendimiento en el cultivo de fresa se puede ver afectado por las condiciones ambientales. En la Figura 3 se muestra la humedad relativa que se presentó en el invernadero fue de 61.3 % la mínima, 94.7 % la máxima y 82 % en promedio.

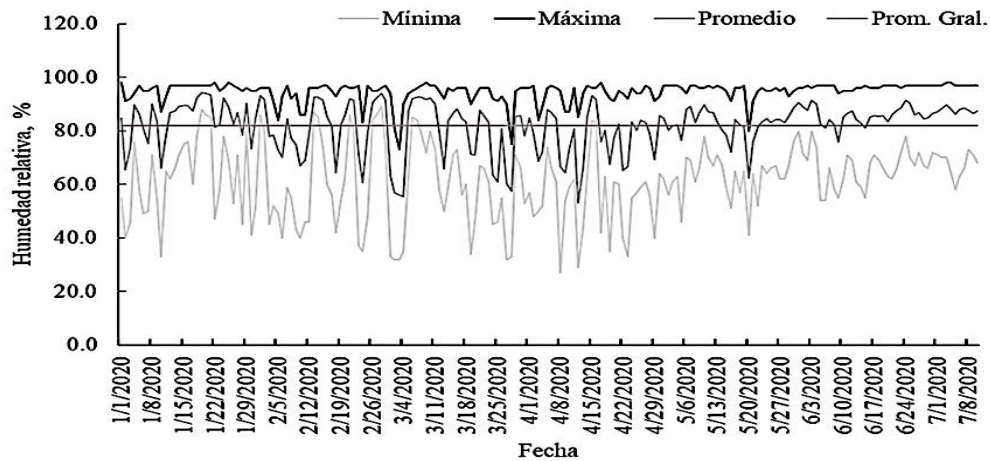


Figura 3. Humedad relativa mínimas, máximas y promedio (%), presentadas en el invernadero durante el ciclo del cultivo de fresa variedad Albión.

Variables de fruto

Numero de frutos por planta

El número de frutos presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 4). T1 fue el tratamiento con mayor número de frutos (14.9), mientras que T2 y T3 obtuvieron 7.3 y 5.9 frutos, respectivamente. Moreno (2011) reportó un número mayor a 20 frutos, lo cual supera significativamente al dato reportado por Arellano (2013) de 4 frutos en un periodo de enero a mayo y estos resultados también son inferiores a los obtenidos en el presente estudio (5.9 a 14.9 frutos), el cual se llevó a cabo en un periodo de tiempo similar.

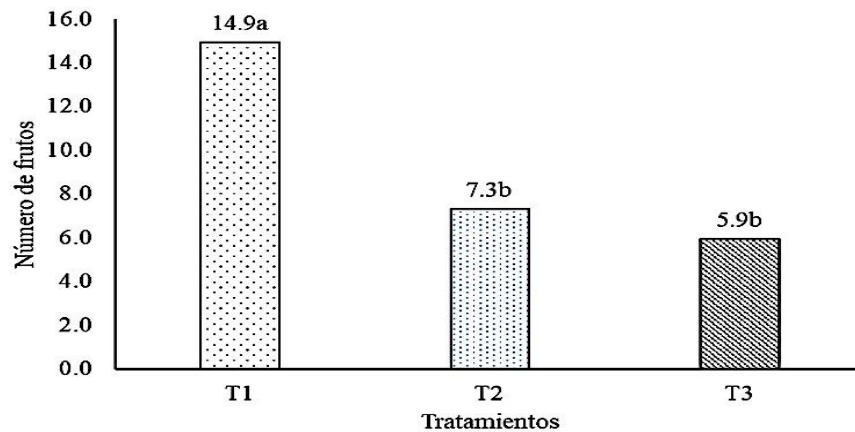


Figura 4. Número de frutos promedio por tratamiento. Tratamientos con la misma letra no difieren significativamente ($p \leq 0.05$). T1: Sistema en suelo con manejo orgánico; T2: Sistema hidropónico con tezontle y granulometría menor de 3 mm; T3: Sistema hidropónico con tezontle y granulometría mayor a 5 mm.

Peso de frutos

El peso promedio de frutos no presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 5). Los pesos de los tratamientos estudiados en este experimento variaron de 11.0 a 16.5 g y fueron superiores a los reportados por Verdugo (2011), quien obtuvo pesos de 8.13 a 14.53 g por bajo la aplicación de cuatro diferentes biofertilizantes.

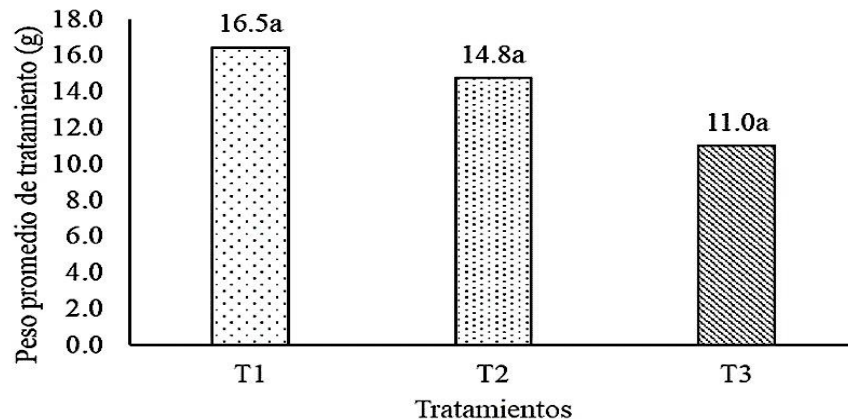


Figura 5. Peso promedio de frutos por tratamiento. Tratamientos con la misma letra no difieren significativamente ($p \leq 0.05$). T1: Sistema en suelo con manejo orgánico; T2: Sistema hidropónico con tezontle y granulometría menor de 3 mm; T3: Sistema hidropónico con tezontle y granulometría mayor a 5 mm.

El comportamiento del peso promedio de frutos de fresa variedad Albión por tratamiento en cada fecha de corte se muestra en la Figura 6, en esta podemos observar que T1 tuvo mayor número de cortes y con mejor peso promedio de los frutos en comparación con T2 Y T3.

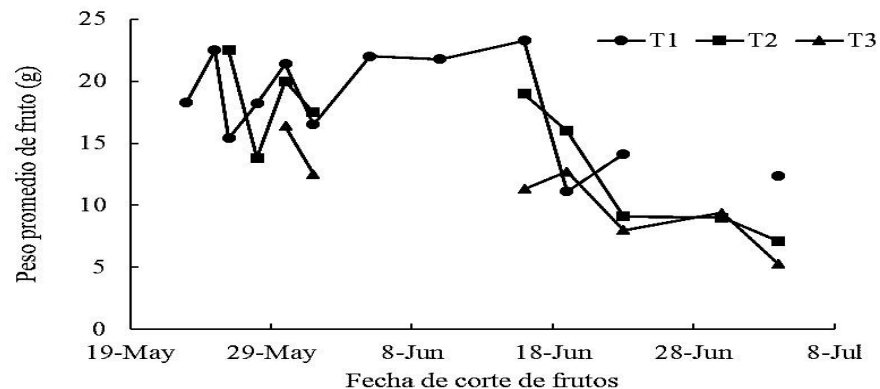


Figura 6. Fluctuación del peso promedio de frutos de fresa variedad Albión por tratamiento en diferentes fechas de corte. T1: Sistema en suelo con manejo orgánico; T2: Sistema hidropónico con tezontle y granulometría menor de 3 mm; T3: Sistema hidropónico con tezontle y granulometría mayor a 5 mm.

Índice de forma de fruto

El índice de forma del fruto resulta de dividir el diámetro polar entre el diámetro ecuatorial (Gaona-García *et al.* 2008; Alia-Tejacal *et al.* 2012). Los resultados de esta relación fueron utilizados para determinar las formas de los frutos; valores menores a 1 fueron considerados como frutos achatados, mayores a 1 como frutos alargados y valores de 1 como frutos redondos. Al observar los resultados mostrados en la Figura 7, el índice de forma varió de 1.08 a 1.14 y por lo tanto los frutos fueron considerados como alargados.

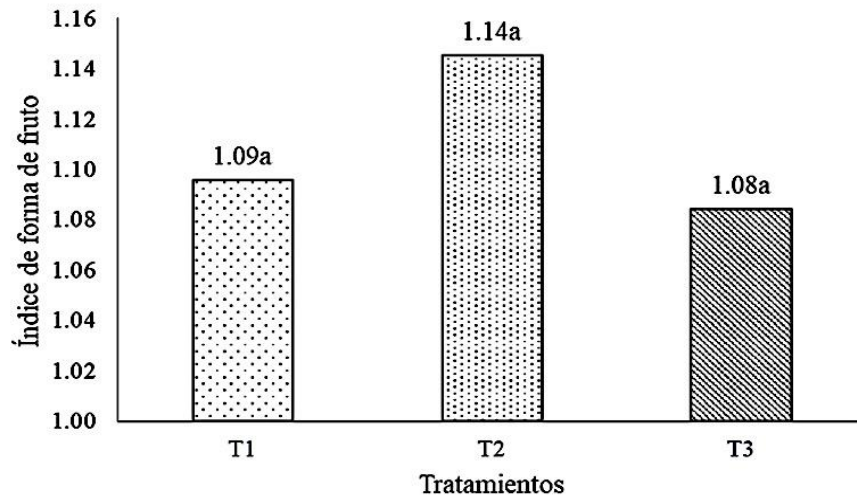


Figura 7. Índice de forma de los frutos de fresa variedad Albión. Tratamientos con la misma letra no difieren significativamente ($p \leq 0.05$). T1: Sistema en suelo con manejo orgánico; T2: Sistema hidropónico con tezontle y granulometría menor de 3 mm; T3: Sistema hidropónico con tezontle y granulometría mayor a 5 mm.

Dinámica de tensión de humedad del suelo

En la Figura 8 se muestra la tensión de humedad del suelo medida con los sensores de matriz granular en el sistema de cultivo orgánico. En la gráfica se observa que el comportamiento de la humedad medida por los sensores es similar en los primeros dos meses de desarrollo del cultivo, pero a partir del tercer mes después del trasplante se comienzan a ver datos de humedad diferentes, lo cual fue debido probablemente a las altas temperaturas presentadas en los meses mayo y junio (28 °C) y a la escasez de agua provocada por un problema en el sistema de riego lo que afectó más al sensor número 2, no así al sensor 1 debido a que fue colocado en la parte final del invernadero donde había un efecto de sombreo de la estructura metálica.

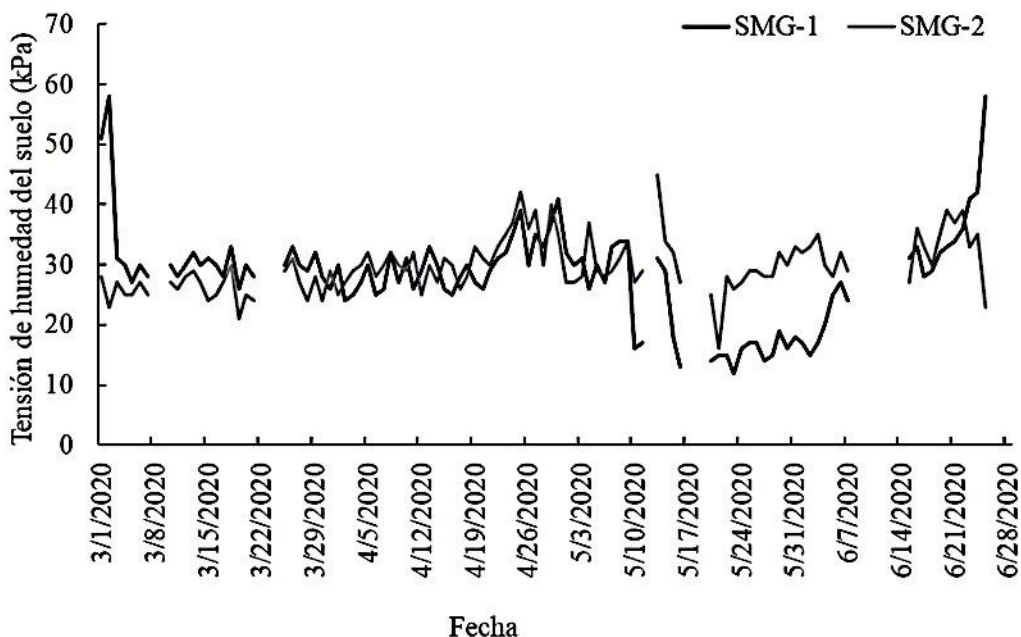


Figura 8. Dinámica de la tensión de humedad del suelo en el sistema de producción orgánico en fresa.

Productividad del agua

En la Figura 9 se observa que para la variedad Albión en T1 se obtuvo la mayor productividad del agua (16.8 kg m^{-3}), valor inferior a los reportados por Martínez-Ferri (2014) en sistemas de canaletas hidropónicas con sustrato y para las variedades Santa Clara (17.2 kg m^{-3}), Antilla (18.44 kg m^{-3}), Sabrina (19.07 kg m^{-3}) y Camarosa (19.63 kg m^{-3}).

En los tratamientos hidropónicos T2 y T3 se obtuvieron valores de 1.8 a 2.5 kg m^{-3} , respectivamente, los cuales pueden compararse con los reportados por Donovan (2013) quien obtuvo en sistema hidropónico con sustrato una productividad de 3.7 kg m^{-3} , en sistema NFT reportó 1.95 kg m^{-3} y en sistema aeropónico 1.1 kg m^{-3} .

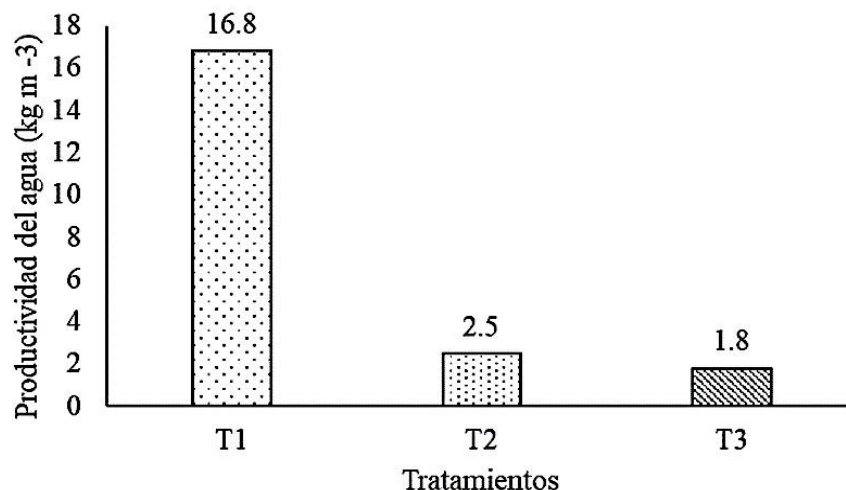


Figura 9. Productividad del agua (kg m⁻³) en el cultivo de fresa variedad Albión. T1: Sistema en suelo con manejo orgánico; T2: Sistema hidropónico con tezontle y granulometría menor de 3 mm; T3: Sistema hidropónico con tezontle y granulometría mayor a 5 mm.

Conclusiones

El sistema de producción orgánico fue el tratamiento con mayor productividad del agua, índices de crecimiento y calidad del fruto en el cultivo de fresa variedad Albión. El cultivo de fresa debe tener un suministro mayor a 6 633 m³ ha⁻¹ para obtener buenos rendimientos.

Se pueden usar 12 546 m³ ha⁻¹ para obtener rendimientos adecuados cuando se trata de sistemas de cultivo en suelo y 15 444 m³ ha⁻¹ en sistemas hidropónicos con sustrato.

El sistema hidropónico con sustrato y solución Steiner al 50% no es adecuado para la producción de frutos de fresa, pero si para la producción de plantas nuevas.

Referencias Bibliográficas

Arrellano Velázquez Salvador. 2013. Rendimiento de frijol fresa y ajo en cultivo asociado con la aplicación de un biofertilizantes. Tesis. Licenciado en biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. pp 5-88.

Comisión Nacional del Agua (CNA). (2006). El Agua en México. México, D. F. 35 p.

Donovan, Z. N. (2013). Evaluación de técnicas hidropónicas en el cultivo de fresa (fragaria x ananassa) bajo invernadero. Tesis de licenciatura.

Gaona-García, A.; Alia-Tejacal, I.; López-Martínez, V.; Andrade-Rodríguez, M.; Colinas-León, M. T. y Villegas-Torres, O. 2008. Caracterización de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) en el Suroeste del estado de Morelos. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 14(1):41-47.



- Gavilán, Pedro & Ruiz, Natividad & Bohórquez, Juan & Lozano, David & Miranda, Luis & Dominguez Morales, Pedro & Medina-M'inguez, Juan & Martinez-Ferri, Elsa & Muriel, Jose. (2015). Ahorro de agua en el cultivo de la fresa sin comprometer la producción. Mejora de la eficiencia y productividad del agua de riego. *Vida rural*. 16. 28-33.
- Hancock, J. F. 1999. *Strawberries*. CABI Puublishing. Cambridge, U. K., 209p.
- Kijne, J. W., Barker, R., & Molden, D. (Eds.) (2003). *Water productivity in agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, CABI Publication, Wallingford UK. 332p. Recuperado el 29 de octubre de 2015 de <http://www.cabi.org/cabebooks/ebook/20033158264/>
- Leech, L., Simpson D. W. and WhitehouseA. B.. 2002. Effect of temperatura and relative humidity on pollen germination in four strawberry cultivars. *ActaHorticulturae*, 567:261-263
- Martinez-Ferri, E., Muriel-Fernández, J.L. & Rodríguez Díaz, J.A. (2013). Soil water balance modelling using SWAP: an application for irrigation water management and climate change adaptation in citrus. *Outlook on Agriculture* 42 (2), 93-102.
- Moreno Castillo Walter E.2011. Aplicacion de fosfito artesanal en el cultivo de *Fragaria vesca* L.
- Roussos, P. A. N_K. Denaxa, and T Damvakaris. (2009). Strawberry fruit quality attributes after application of plant growth stimulating compounds. *Sci. Horttic*. 138-146.
- Verdugo G. Wilmer L.2011. Introducion de dos variedades de fresa (*Fragaria vesca* L.) y técnicas de fertirrigación empleando cuatro biofertilizantes líquidos en San Pablo Sexto-Morena Santiago. Tesis para a la obtención del Grado Académico de Magister en Gestión de la Producción de Flores y Frutas Andinas para Exportación. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. pp94, 96, 97, 100, 105,121