



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

POSTGRADO EN
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

**PRODUCCIÓN DE FRESA EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS BAJO
CONDICIONES DE INVERNADERO**

JUAN ALBERTO ALVARADO CHAVEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

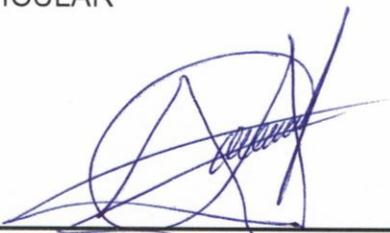
Salinas de Hgo, San Luis Potosí, México
2018

La presente tesis, titulada: **Producción de fresa en sistemas hidropónicos bajo condiciones de invernadero**, realizada por el alumno **Juan Alberto Alvarado Chavez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. ADRIÁN GÓMEZ GONZÁLEZ

ASESOR:



DR. EDUVIGES JAVIER GARCIA
HERRERA

ASESOR EXTERNO:



DR. ALFREDO LARA HERRERA

SALINAS DE HGO., SAN LUIS POTOSÍ
NOVIEMBRE 2018

PRODUCCIÓN DE FRESA EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS EN CONDICIONES DE INVERNADERO

Juan Alberto Alvarado Chavez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2018

La agricultura protegida es una tecnología que permite disminuir la presión sobre los recursos naturales, principalmente en suelo y agua. México es el tercer país productor de fresa con 3 % del volumen mundial. El cultivo tradicional de fresa en suelo no brinda las mejores condiciones para desarrollar su potencial, por lo que es posible incrementar su rendimiento hasta en 75 % con la utilización de tecnología, como la agricultura protegida y los sistemas hidropónicos. Considerando lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar en los sistemas hidropónicos piramidal y vertical los factores siguientes: (a) dos variedades de fresa, Festival y San Andreas, (b) dos y tres densidades de plantas y (c) tres y cuatro elevaciones, respectivamente. La distribución de los tratamientos fue bloques completos al azar con tres repeticiones en el sistema piramidal y seis repeticiones en el vertical. El análisis estadístico se realizó mediante un modelo general lineal y un procedimiento de regresión. En el sistema piramidal los factores variedad y densidad no mostraron diferencias entre los niveles ensayados. El factor elevación mostró diferencias significativas, concluyendo que la elevación alta tiene mayor número de hojas (10.5 Hojas planta⁻¹), diámetro de la corona (2.7 cm), diámetro de fruto (1.84 cm), número de frutos (6 frutos planta⁻¹), porcentaje de sólidos solubles (7 %) y rendimiento (547.6 g planta⁻¹) que las tres elevaciones inferiores. En el sistema vertical, la variedad mostró diferencias entre tratamientos, ya que Festival tuvo mejor comportamiento vegetativo. La producción en el sistema piramidal fue de 23.5 kg m⁻² y en el sistema vertical de 16 kg m⁻².

Palabras clave: Cultivo sin suelo, Agricultura protegida, Sistemas de producción, Sustratos, Horticultura.

STRAWBERRY PRODUCTION IN HYDROPONIC SYSTEMS UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

Juan Alberto Alvarado-Chavez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2018

Protected agriculture is a technology that allows to reduce the pressure on natural resources, mainly in soil and water. Mexico is the third producer of strawberry with 3% of the world volume. The traditional cultivation of strawberries in the soil does not provide the best conditions to develop their potential, so it is possible to increase their yield up to 75% with the use of technology, such as protected agriculture and hydroponic systems. Considering the above, the objective of the study was to evaluate the following factors in the pyramidal and vertical hydroponic systems: (a) two strawberry varieties, Festival and San Andreas, (b) two and three plant densities and (c) three and four elevations, respectively. The distribution of the treatments was completed randomly with three repetitions in the pyramidal system and six repetitions in the vertical. The statistical analysis was performed using a general linear model and a regression procedure. In the pyramid system, the factors are varied and there are no differences between the levels tested. The elevation factor showed significant differences, concluding that the highest height has greater number of leaves ($10.5 \text{ leaves}\cdot\text{plant}^{-1}$), diameter of the crown (2.7 cm), fruit diameter (1.84 cm), number of fruits ($6 \text{ fruits}\cdot\text{planta}^{-1}$), percentage of soluble solids (7%) and yield ($547.6 \text{ g}\cdot\text{plant}^{-1}$) than the three lower elevations. In the vertical system, the variety of differences between treatments, the Festival had better vegetative behavior. The production in the pyramidal system was 23.5 kg m^{-2} and in the vertical system of 16 kg m^{-2} .

Keywords: Soilless culture, protected agriculture, Production systems, Substrates, Horticulture.

DEDICATORIA

*A mi esposa Patricia S. por el apoyo y amor incondicional que me brinda
cada día para lograr mis metas.*

*A mis hijos: Darío Jonás y Eliot Obed por su amor que me dan cada
mañana.*

*A mis padres: Juan Manuel y Angélica. Por su amor y alentarme
siempre a seguir adelante.*

*A mis hermanos: Alejandro, Armando y Monserrat, compañeros de
muchas batallas, los amo.*

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo financiero para realizar la maestría.

Al **Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí**, por aceptarme y ser participe en mi proceso de aprendizaje y superación.

Al Consejo Particular: Al Dr. **Adrián Gómez González** por su tranquilidad infinita y sus consejos, al Dr. **Eduviges Javier García Herrera** por su paciencia; y en especial al Dr. **Alfredo Lara Herrera**, que ha sido un guía, ejemplo y soporte fundamental para lograr mis metas y objetivos profesionales.

A los maestros que en las aulas dedicaron su valioso tiempo compartiendo el conocimiento que ellos con trabajo arduo han adquirido.

Al **Dr. Martínez**, que sin ningún interés me a compartido el cumulo de conocimientos de años y su amistad que valoro infinitamente.

Un especial agradecimiento al Dr. **Juan Carlos Díaz Pérez** y su familia. Por su desinteresado apoyo y sus consejos valiosos, por abrirme las puertas de su hogar en esta importante etapa de mi vida.

A mis compañeros de maestría, esperando volver a encontrarlos en otra etapa de mi vida.

Al personal de apoyo y administrativo del *Campus* San Luis Potosí, por su invaluable ayuda.

Finalmente a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron o participaron en la realización de esta investigación.

Gracias

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Literatura citada	8
2. Objetivos	11
2.1 Objetivo general	11
2.2 Objetivos específicos	11
3. Hipótesis	11
CAPÍTULO 1. PRODUCCIÓN DE FRESA (<i>Fragaria x ananassa Duch.</i>) EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO PIRAMIDAL BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO	12
1.1 Introducción	14
1.2 Materiales y métodos	16
1.3 Resultados y discusión	20
1.4 Conclusiones	29
1.5 Literatura citada	30
CAPÍTULO 2. PRODUCCIÓN DE FRESA (<i>Fragaria x ananassa Duch.</i>) EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO VERTICAL BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO	35
2.1 Introducción	35
2.2 Materiales y métodos	38
2.3 Resultados y discusión	43
2.4 Conclusiones	51
2.5 Literatura citada	53
CONCLUSIONES GENERALES	56
RECOMENDACIONES	56
ANEXOS	57

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
1	Diámetro de la corona (cm) en plantas de fresa por efecto de: dos variedades, tres densidades de plantas por bolsa y cuatro niveles de elevación de bolsas horizontales en un sistema piramidal.	23
2	Diámetro de fruto de fresa (cm) por efecto de: dos variedades, tres densidades de plantas por bolsa y cuatro niveles de elevación de bolsas horizontales en un sistema piramidal.	24
3	Número de frutos de fresa por planta por efecto de: dos variedades, tres densidades de plantas por bolsa y cuatro niveles de elevación de bolsas horizontales en un sistema piramidal.	25
4	Sólidos solubles totales en los frutos de fresa producidos en dos variedades, tres densidades de plantas por bolsa y cuatro niveles de elevación de bolsas horizontales en un sistema piramidal.	26
5	Rendimiento acumulado de fresa en peso por planta y por metro cuadrado por efecto: del nivel de elevación de las bolsas horizontales, dos variedades y tres densidades de plantas en un sistema piramidal.	28
6	Coefficiente de correlación de Pearson de las variables dependientes por efecto de los factores: dos variedades, dos densidades de plantas por maceta y tres niveles de elevación en un sistema hidropónico vertical	50
7	Rendimiento acumulado de fresa en peso por planta y por metro cuadrado por efecto del nivel de elevación de las bolsas horizontales, dos variedades y tres densidades de plantas en un sistema piramidal.	51

LISTA DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Esquema del módulo hidropónico piramidal, con la estructura y las bolsas horizontales ubicadas en cuatro niveles de elevación	19
2	Número de hojas por planta de fresa en cuatro elevaciones de bolsas horizontales, en un sistema piramidal, mediante el análisis de (A) GLM y (B) Regresión lineal.	22
3	Rendimiento de frutos (g planta^{-1}) por efecto de cuatro elevaciones de las bolsas horizontales en un sistema piramidal, mediante el análisis de (A) GLM y (B) Regresión lineal.	27
4	Arreglo de macetas en un sistema hidropónico vertical	40
5	Distribución de riego en un sistema hidropónico vertical	41
6	Distribución de la temperatura diaria dentro del invernadero durante los meses Julio a Octubre del 2017.	44
7	Número de hojas por planta de fresa en dos variedades en un sistema hidropónico vertical.	45
8	Diámetro de la corona (cm) por planta de fresa en dos variedades en un sistema hidropónico vertical.	46
9	Rendimiento de frutos (g planta^{-1}) por efecto de dos cultivares en un sistema hidropónico vertical, mediante el análisis de (A) GLM y (B) Regresión lineal	47
10	Número de hojas por planta de fresa en tres elevaciones en un sistema hidropónico vertical.	48

INTRODUCCIÓN GENERAL

Hoy en día el mundo se encuentra sometido a cambios en aspectos sociales, económicos y ambientales que impactan sobre la sociedad y la naturaleza. La agricultura es una actividad inherente al desarrollo socioeconómico de la población, misma que se ve afectada por los cambios en el clima o de limitación de recursos propios para la producción. Una alternativa de solución a esta problemática es el uso de innovaciones tecnológicas en los procesos de producción agrícola.

Visto así, en México un cultivo de importancia social y económica para varias regiones del país es la fresa, ya que alcanza cerca de 10 mil hectáreas, generando en el país el 3.0 % del valor obtenido por el sector agrícola. El volumen de exportaciones de fresa se incrementó de 2012 a 2017 en 42 %, alcanzando en 2017 las 1.6 millones de toneladas, cerca del 65% de la producción nacional como principal destino EU (SIAP, 2018).

En 2017 la producción en México fue de 468,248 toneladas. En Baja California, Michoacán, Jalisco y Guanajuato se concentran aproximadamente el 96 % de la producción nacional con 8,496 ha cultivadas (SIAP, 2018). De estas sólo 5.7 % de son bajo condiciones de invernadero y la mayor concentración de producción de fresa por este sistema se encuentra en Baja California con un total de 150 hectáreas.

El 94 % de la producción en fresa es a cielo abierto, con un rendimiento promedio nacional de 47.5 t ha⁻¹ (SIAP, 2018), lo cual da la pauta para investigar otras tecnologías que permitan remplazar los sistemas de cultivo tradicionales por un sistema más productivo para un mejor aprovechamiento de los recursos naturales.

Los sistemas de producción de fresa son clasificados en función de la colocación de la fruta en el campo, inocuidad, calidad de la fresa que se obtiene y el periodo de producción. Lo anterior arroja tres sistemas tecnológicos que se describen a continuación:

El sistema tradicional, considerado de baja tecnología, se caracteriza por el aprovechamiento de agua superficial para riego y no se utilizan cubiertas protectoras, el promedio de producción se puede ubicar en 26 t ha^{-1} . La mediana tecnología tiene el uso de riego tecnificado, particularmente riego por goteo, con un ahorro de agua del 60%. Se utilizan cubiertas plásticas para el acolchado, con lo que hay un mejor uso de la radiación solar y protección a la planta de fresa. El rendimiento promedio es en el orden de 40 t ha^{-1} de fresa con calidad más uniforme en comparación con el sistema tradicional.

En la alta tecnología, se utilizan principalmente aguas subterráneas o agua superficial limpia de manantial, o de río y presas acondicionadas, se emplea el acolchado y la totalidad de la superficie está cubierta con plástico. Al haber condiciones protegidas se mejora el manejo fitosanitario y la fruta que se obtiene es de calidad de buena a excelente. Mediante este sistema se mejora el rendimiento, al obtener entre 70 y 90 t ha^{-1} . Para seleccionar una variedad, los productores de fresa responden a las diferentes orientaciones de mercado (Martínez-Bolaño, 2008). En el mundo existen alrededor de 1000 cultivares de fresa por la capacidad que tienen éstas para la hibridación (Vega, 2002).

Con lo antes expuesto, queda claro que el uso de tecnología incide de manera importante en la mejora de la producción de fresa. En este sentido uno de los desarrollos tecnológicos más importantes, en los últimos años, para el sector agrícola es la agricultura protegida, la cual se realiza bajo diferentes estructuras para proteger a los cultivos y disminuya el impacto que tienen los fenómenos que afectan la producción agrícola (Reséndez *et al.*, 2011).

En las últimas décadas se han desarrollado varios tipos de estructuras para la protección de las plantas, que plantean diferentes alternativas para recrear condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de los cultivos, como lo son los invernaderos.

Dentro del manejo en los invernaderos y con miras de mejorar los resultados está la introducción de la técnica de hidroponía, misma que permite incrementar la producción y calidad de los frutos. La hidroponía se puede cultivar en condiciones áridas o urbanas independientemente de la calidad del suelo. (Bellows *et al.*, 2003). El sistema hidropónico tiene varias ventajas tales como; conservar el agua, producir durante todo el año, aumentar el rendimiento y minimizar el uso de pesticidas (Resh y Howard, 2012). Además, se ha observado que las frutas y verduras hidropónicas tienen un mayor valor nutricional y atributos sensoriales más deseables en comparación con los productos cultivados en el suelo (Buchanan y Omaye, 2013; Gichuhi *et al.*, 2009; Selma *et al.*, 2012; Sgherri *et al.*, 2010).

La hidroponía puede ser definida como la técnica del cultivo de las plantas sin utilizar suelo, aplicando una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales requeridos por la planta para su normal crecimiento o desarrollo (Resh, 2001). La solución nutritiva entrega los nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta y satisface los requerimientos fisiológicos de crecimiento, contiene los macro y micronutrientes esenciales que son requeridos por las plantas, los cuales deben estar disponibles para ser absorbidos por éstas (Cooper, 2002).

A la vez, se han desarrollado varios sistemas de producción hidropónica, los cuales se clasifican por el medio en que se encuentra la raíz, este puede ser: a) directamente en agua, como los son; el NFT (técnica de la película nutritiva), NGS (nuevo sistema de crecimiento), el sistema flotante y aeropónico; o en b) sustrato, como son; grava, composta, arena, perlita, aserrín, fibra de coco y lana de roca (Resh, 2001).

Para la elección del sustrato en el cultivo de la fresa, es necesario revisar sus características físicas, para un manejo adecuado de la solución nutritiva (Cadahía *et al.* 2005).

En cuanto al manejo de la solución nutritiva se puede clasificar en: a) sistemas abiertos, cuando la solución drenada no se reutiliza y se permite la infiltración en el sitio o se conduce fuera del invernadero (Pardossi *et al.*, 2009; Massa *et al.*, 2010; Nakano *et al.*, 2010); y b) cerrados, la solución nutritiva se recoge para volverla a

usar en el cultivo, previa esterilización y ajuste del pH, CE y nutrimentos (Tüzel *et al.*, 2009; Massa *et al.*, 2010; De la Rosa-Rodríguez *et al.*, 2016).

También se ha innovado en cultivar diferentes productos agrícolas explorando los aspectos espaciales en cuanto a la distribución y acomodo de las plantas, esto a través de la utilización de diferentes estructuras, mediante los cuales se busca tener alta densidad de plantación en poco espacio, además de obtener altos rendimientos y calidad e inocuidad en los productos. De acuerdo con Christie y Nichols (2004), Despommier *et al.* (2010) y Jones (2016), existen sistemas horizontales, verticales, algunos con modificaciones que los llevan a ser piramidales o adoptan diferentes formas.

Así, los sistemas de producción vertical se comenzaron a desarrollar en Europa (Resh, 2001), uno de los motivos por los que se utiliza este sistema es el incremento de densidad, estos también contribuyen a una mejor utilización del espacio dentro de un invernadero incrementando así su rendimiento (Paraskevopoulou-Paroussi *et al.*, 1995). Furlani y Junior (2007) reportó que tienen mejor aprovechamiento interno del ambiente protegido, con reflejos positivos en el rendimiento por área y mayor facilidad en la manipulación del cultivo.

Hoy en día la fresa es un cultivo de importancia en México, manteniéndose como tercer lugar mundial en producción y como principal exportador a Estados Unidos (SIAP, 2017). Sin embargo, como ya se mencionó renglones arriba, la mayoría de la superficie de fresa se cultiva en el sistema tradicional a cielo abierto

con baja tecnología, y sólo pocas hectáreas se cultivan con tecnología más avanzada, en invernaderos y sistemas de fertirrigación. Obteniéndose rendimientos adecuados para obtener ganancias aceptables para los productores de fresa.

En el presente trabajo se plantea innovar en los sistemas de producción de fresa, a través de establecer el cultivo de diferentes variedades de fresa en sistemas hidropónicos abiertos, de tipo vertical y piramidal bajo invernadero, con la finalidad de manejar altas densidades de plantas y aumentar la calidad y los rendimientos de este cultivo. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo de investigación es evaluar dos sistemas hidropónicos en la producción de fresa probando variedades, densidades y elevaciones en condiciones de invernadero.

El trabajo se expone iniciando con una introducción general, donde se establece un marco de referencia respecto a temas como el cultivo de fresa, la agricultura protegida y los sistemas de producción en hidroponía. Planteándose la problemática al respecto, así como el supuesto que guiará la investigación y la finalidad que se persigue con el desarrollo del trabajo.

Luego se tiene un apartado donde se redacta de manera puntual el objetivo general del trabajo y los objetivos específicos que se busca lograr, así como la hipótesis sobre la cual se conduce la investigación.

Enseguida se presenta el Capítulo 1, el cual trata lo referente a la producción de fresa en un sistema hidropónico piramidal bajo condiciones de invernadero. De ahí se pasa al Capítulo 2, donde se trata lo referente a la producción de fresa en un

sistema hidropónico vertical, también bajo condiciones de invernadero. Por último, se tiene una conclusión general del trabajo y algunas recomendaciones derivadas de la investigación.

1.1 Literatura citada

- Bellows, A. C., K. Brown and J. Smit. 2003. Health Benefits of Urban Agriculture. Community Food.
- Buchanan, D. N. and Omaye, S. T. 2013. Comparative Study of Ascorbic Acid and Tocopherol Concentrations in Hydroponic- and Soil-Grown Lettuces. Food and Nutrition Sciences. 04(10):1047–1053.
- Cadahía, L. C. 2005. Fertirrigación: Cultivos Hortícolas y Ornamentales Mundi-Prensa.
- Christie, C. and M. Nichols. 2004. “Aeroponics: A Production System and Research Tool.” In South Pacific Soilless Culture Conference – SPSCC, M. Nichols, ed., 648: 185–190.
- Cooper, A. 2002. The ABC of NFT Nutrient Film Technique “The World's first method of Crop Production without a solid rooting medium”. Casper Publications. Australia. 35.
- De la Rosa-Rodríguez, R., A. Lara-Herrera, J. Lozano-Gutiérrez, L.E. Padilla-Bernal, J.J. Avelar-Mejía y R. Castañeda-Miranda. 2016. Rendimiento y calidad de tomate en sistemas hidropónicos abierto y cerrado. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 17(12): 3439-3452.
- Despommier, D. 2010. The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century. New York: Picador.
- Furlani, P. R. and F.F. Junior. 2007. Hidroponía vertical para la producción de fresa. Universidad Estatal de Campiñas Sao Pablo, Brasil. *Red Hidroponía.* 36:8-14.
- Gichuhi, P. N., D. Mortley, E. Bromfield and A.C. Bovell-Benjamin. 2009. Nutritional, physical, and sensory evaluation of hydroponic carrots (*Daucus carota* L.) from different nutrient delivery systems. *Journal of Food Science.* 74(9), 403–412.

- Jones, J. 2016. *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Martínez-Bolaños, M., D. Nieto-Angel, D. Téliz-Ortiz, J. Rodríguez-Alcazar, M.T. Martínez-Damian, H. Vaquera-Huerta and O. Carrillo Mendoza. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 14(2): 113-119.
- Massa, D. L., R. Incrocci, G. Maggini, C.A. Carmassi, C.A. Campiotti and A. Pardossi. 2010. Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless culture of greenhouse tomato. *Agric. Water Manage.* 97: 971-980.
- Nakano, Y., H. Sasaki, A. Nakano, K. Suzuki and M. Takaichi. 2010. Growth and yield of tomato plants as influenced by nutrient application rates with quantitative control in closed rockwool cultivation. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 79: 47-55.
- Paraskevopoulou-Paroussi, G., M. Grafiadellis and E. Paroussis. 1995. Precocity, plant productivity and fruit quality of strawberry plants grown in soil and soilless culture. *Acta Horticulturae*. <<http://agris.fao.org/agris>>
- Pardossi, A., L. Incrocci, D. Massa, G. Carmassi and R. Maggini. 2009. The influence of fertigation strategies on water and nutrient efficiency of tomato grown in closed soilless culture with saline water. *Acta Hort.* 807: 445-450.
- Reséndez, M.A., J. A. Duron y A. L. González. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 15 (29):763-774
- Resh, H. M. 2001. *Cultivos hidroponicos* (5a ed.).
- Resh, H. M. and M. Howard. 2012. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. In Santa Bárbara, California EUA (Sixth).

- Selma, M. V., M.C. Luna, A. Martínez-Sánchez, J.A. Tudela, D. Beltrán, C. Baixauli and M.I. Gil. 2012. Sensory quality, bioactive constituents and microbiological quality of green and red fresh-cut lettuces (*Lactuca sativa* L.) are influenced by soil and soilless agricultural production systems. *Postharvest Biology and Technology*. 63(1):16–24.
- Sgherri, C., S. Cecconami, C. Pinzino, F. Navari-Izzo and R. Izzo. 2010. Levels of antioxidants and nutraceuticals in basil grown in hydroponics and soil. *Food Chemistry*. 123(2):416–422.
- SIAP. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. 2018. <<https://www.gob.mx/siap>>.
- Tüzel, I. H., U. Tunali, Y. Tüzel and G. B. Öztekin. 2009. Effects of salinity on tomato in a closed system. *Acta Hort*. 807: 457-462.
- Vega del Río., R. 2002. Historia de la introducción del cultivo de la fresa del valle de Zamora, Michoacán, 1938-2000. Fundación Produce Michoacán, A. C.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar dos sistemas hidropónicos para la producción de fresa en agricultura protegida.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de los factores variedad, densidad de plantas y nivel de elevación en los sistemas hidropónicos piramidal y vertical en el cultivo de fresa.
- Medir las variables de crecimiento de la planta y de calidad de fruto de las variedades de fresa en los sistemas hidropónicos.
- Determinar cual tiene el mejor rendimiento por m².

3. Hipótesis

El sistema hidropónico con diseño vertical es el que tiene la mejor respuesta respecto a las variables agronómicas y de calidad para el cultivo de la fresa, y por lo tanto un mejor rendimiento.

CAPÍTULO 1. PRODUCCIÓN DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO PIRAMIDAL BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

RESUMEN

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) es un cultivo de importancia en el mercado nacional e internacional. Respecto a la producción, años atrás, se exploraron varias formas de incrementar el rendimiento en el cultivo de fresa a cielo abierto y actualmente en sistemas hidropónicos. El objetivo del presente estudio fue evaluar dos variedades de fresa, en tres densidades de plantación y cuatro elevaciones de las plantas en un sistema de plantación piramidal. La elevación mostró efecto significativo en el nivel alto, se tuvo mayor crecimiento, 38 % más hojas, 10 % mayor diámetro de corona, 33 % mayor número de frutos, 17 % más sólidos solubles totales y 28 % mayor rendimiento. Sólo este factor tuvo efecto significativo y se debe probablemente a la mayor radiación solar que recibieron las plantas. Las plantas de los niveles más bajos tuvieron una menor productividad, probablemente debido al sombreado producido por las plantas colocadas a mayor altura. La densidad de plantación y las variedades de fresa ensayadas no tuvieron efecto significativo en el crecimiento de planta o en el rendimiento y calidad de fruta. El sistema piramidal demostró tener una alta productividad obteniendo un rendimiento de 23.5 kg m⁻² en el nivel de elevación alto.

Palabras Clave: Cultivo sin suelo, Variedades, Sistemas de producción, Horticultura.

STRAWBERRY PRODUCTION (*Fragaria x ananassa* Duch.) IN A PIRAMIDAL HYDROPONIC SYSTEM UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

Abstract

The strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) is an important crop to the consumption national and international. Regarding the production, years ago, several ways to increase the yield in open cut strawberry cultivation and currently in hydroponic systems were explored. The objective of the present study was to evaluate two strawberry cultivars, three planting densities and four plant elevations in a pyramidal plantation system. The elevation factor showed statistical differences, the high elevation level had greater growth, 38% more leaves, 10% greater crown diameter, 33% greater number of fruits, 17% more total soluble solids and 28% higher yield. This significant effect is probably due to the greater solar radiation received by the plants. Plants on the inferior levels had a lower productivity, probably due to the shading produced by the plants placed higher. Plant density and strawberry cultivars tested had no significant effect on plant growth or on fruit yield and quality. The pyramid system proved to have a high productivity obtaining a yield of 23.5 kg·m⁻² at the high elevation level.

Keywords: Soilless culture, Variety, Production system, Horticulture.

1.1 Introducción

El cambio climático incide de manera importante sobre la producción de alimentos. La población mundial crece de manera constante y se espera que llegue a 9,600 millones de personas en 2050 (FAO, 2018), para cubrir la demanda de alimentos tan alta, los sistemas agrícolas y alimentarios tienen que adaptarse (Pant *et al.*, 2018) y hacerse más productivos y sostenibles (FAO, 2018). Una alternativa a esta problemática son los sistemas intensivos de producción de hortalizas bajo la técnica de hidroponía (Hernanz *et al.*, 2008).

En hidroponía los sistemas pueden clasificarse en: a) medio líquido, donde la solución se recircula, en las que se ubican a las técnicas de película nutritiva (NFT), hidroponía en flotación y aeroponía; y b) sustrato, clasificados en: inorgánico como lo son arena, grava (rocas porosas de origen volcánico, como tezontle y perlita); de origen orgánico como la fibra de coco, y sintéticos como lo es la espuma de poliuretano y el poliestireno expandido donde la solución se suministra a cada planta por medio de sistemas de riego por goteo (Adams, 1991; Recamales *et al.*, 2007). Utilizados con sus distintas variaciones (Cantliffe *et al.*, 2007; Treftz y Omaye, 2015; Claire *et al.*, 2018) para hacerlos productivos y adaptarlos a las necesidades de cada región.

La fresa es un cultivo de importancia en el mercado a nivel global (Hummer y Hankok, 2009). La FAO (2018) reporta que la superficie mundial cultivada en 2006 fue de 339,174 ha con una producción de 5,805,915 t; diez años después se incrementó la superficie a 401,862 ha (18 %↑), con una producción de 9,118,336 t (56

%↑) anuales. Actualmente México es el tercer país productor después de China y Estados Unidos, con un 3 % del volumen mundial. En 2016 la producción en México fue de 468,248 t en una superficie de 11,091 ha en Baja California, Michoacán, Jalisco y Guanajuato, estados que concentran aproximadamente 93 % de la producción nacional (SIAP, 2018). De esta superficie, sólo 7 % es cultivada en invernadero, la mayor concentración de producción de fresa en este sistema se encuentra en Baja California con 150 ha de producción (SIAP, 2018).

Respecto a la producción, años atrás, se exploraron varias formas de incrementar el rendimiento en el cultivo de fresa a cielo abierto (López-Pérez *et al.*, 2005), más recientemente en sistemas hidropónicos (Paranjpe *et al.*, 2003; Lopez-Aranda *et al.*, 2009; Al-raisy *et al.*, 2010; Pant *et al.*, 2018). Ya que en los sistemas hidropónicos no hay problemas de malezas (Cantliffe *et al.*, 2007), se hace un uso racional de los fertilizantes y plaguicidas (Keutgen y Pawelzik *et al.*, 2007), y un uso más eficiente del agua (Van Ginkel *et al.*, 2017), para obtener mayores rendimientos (Paranjpe *et al.*, 2008; Tariq *et al.*, 2013), y mejor calidad y tamaño de fruto (Caruso *et al.*, 2011).

Aun cuando Oliveira y Shivitaro (2011) consideran una producción de 300 g plantas⁻¹ como satisfactoria a campo abierto y el incremento en la producción por unidad de superficie ha sido de 35 t ha⁻¹ en 2009 a 47.7 t ha⁻¹ en 2016 (FAO, 2018), se necesita mejorar los sistemas de producción en fresa y una manera de hacerlo es el aumento de densidades. Según lo reportado por Paranjpe *et al.* (2003) se obtuvieron rendimientos de 90 t ha⁻¹ en Florida. EUA, bajo condiciones de invernadero, con

bolsas de sustrato y con poligal®, con invernaderos sin control de clima, con densidades altas de 20 plantas m⁻². Furlani y Junior (2007) en un sistema hidropónico vertical con bolsas obtuvieron rendimientos de 8 kg m⁻².

'Festival' es de fotoperiodo corto con fruta en forma cónica, el color externo de la fruta madura es rojo intenso (Chandler *et al.*, 2000). La variedad 'San Andrea' de fotoperiodo moderadamente neutro, con poca necesidad de frío en vivero (Eurosemillas, 2018).

En este sentido, es posible que en un sistema piramidal con hidroponía y en invernadero se pueda cultivar fresa, obteniendo buenos resultados en cuanto a su desarrollo fenológico, aumentando la calidad del fruto y los rendimientos.

El objetivo del presente estudio fue evaluar dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa*, Duch), en tres densidades de plantación y cuatro niveles de elevación en un sistema de plantación piramidal.

1.2 Materiales y métodos

El estudio se realizó en un invernadero bitúnel, con superficie de 756 m², sin climatización controlada, ubicado en el municipio de Salinas de Hidalgo, San Luis potosí, México; con coordenadas geográficas 22° 37' 39" Latitud N, 101° 42' 52" Longitud O, Altitud de 2,070 m (INEGI, 2018). El trabajo experimental se realizó de marzo a octubre del 2017. Se colocó un datalogger marca "Hobo" de dos canales, los

cuales midieron temperatura y humedad relativa, se analizaron los datos por medio del programa HOBOWare, después se exportaron al programa Excel.

La planta a raíz desnuda se mantuvo en refrigeración a 3 °C durante 60 días antes del trasplante. Para establecer el experimento se comenzó con la construcción del sistema hidropónico y la colocación de las bolsas horizontales con fibra de coco. Posteriormente se colocó la cintilla de riego y se perforaron las bolsas de fibra de coco con la distancia para las densidades que se evaluaron. Se plantó el día 10 de marzo del 2017 de manera directa sobre las bolsas con fibra de coco. La planta fue previamente desinfectada, se podó la raíz y se eliminaron las hojas dañadas, se seleccionaron las plantas más homogéneas.

En cuanto al riego y manejo de la solución nutritiva, durante los primeros tres días se regó sólo con agua de lluvia, posteriormente se regó con la solución nutritiva inicial. Se colocaron las bandejas para recabar el drenaje y los goteros de control en cada una de las elevaciones, las mediciones del volumen, pH y conductividad eléctrica de la solución nutritiva se llevaron a cabo dos veces por semana del 15 de abril al 6 de octubre de 2017. Con esta información se controló la concentración de la solución en el sustrato para evitar la salinización que se puede dar en la fibra de coco por mal manejo de riego y nutrición (Depardieu *et al.*, 2016).

Se utilizó la solución nutritiva de Hewitt y Smith (1974) y Caruso *et al.* (2011). El pH de la solución nutritiva se mantuvo en 6.0 ± 0.3 , y una conductividad eléctrica de 1.3 dS m^{-1} en la etapa vegetativa (1 a 20 semana después del trasplante, SDT) y

1.5 dS m⁻¹ en la etapa reproductiva, 21 a 30 SDT) aplicada en un rango de 100 - 400 ml planta⁻¹. El suministro de nutrientes se manejó con un sistema abierto.

Las variables de crecimiento medidas fueron: número de hojas, diámetro de corona que en este estudio según lo reportado por Cantliffe *et al.* (2007) se consideró a las múltiples coronas de la planta como una sola (medida en la parte más ancha con un vernier digital), número de estolones, número de flores, número de frutos, peso fresco y peso seco de la planta. Las variables se midieron cada 15 días a partir del día 5 de mayo al 6 de octubre de 2017.

Después de la cosecha se midió el peso y diámetro de fruto, el rendimiento de frutos (por planta y metro cuadrado) y sólidos solubles con un refractómetro óptico ATAGO Brix 0.0 a 33.0 % a partir del jugo de la fresa, según la norma NMX-FF-062-SCFI-2002. La cosecha de frutos se realizó cada semana a partir del día 28 de julio y terminó el día 6 de octubre de 2017.

Para control de plagas, cada 15 días se realizaron podas de saneamiento, en la cual se retiraron hojas viejas y con daños por plaga. Durante los meses de mayo a agosto se controló químicamente el insecto plaga *Tetranychus urticae*, utilizando abamectina alternando con cipermetrina en dosis de 1 ml L⁻¹, ya que se comenzó a observar el inicio de infestación en la planta de fresa.

El sistema piramidal está formado por una estructura de acero, fabricada con tres tubos de metal de 1.5 m de largo cada uno; los triángulos tienen ocho tubos cortos de 0.22 m, soldados a los lados a cuatro alturas cada 0.5 m, los cuales sirven

para colocar dos tramos de tubo de 1 m de largo, que funcionan como base para colocar las bolsas (Figura 1). Cada repetición se conformó por tres módulos. Las bolsas con fibra de coco horizontales son germinaza®, mezcla 50 % y polvo 50 % fibra, de 1 m de largo por 0.20 m de ancho con un volumen de 18 L, se utilizaron 24 bolsas horizontales por repetición.

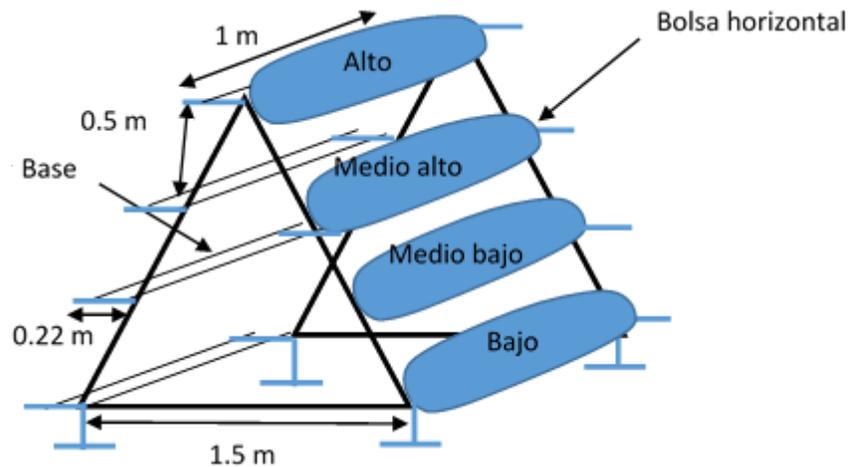


Figura 1. Esquema del módulo hidropónico piramidal, con la estructura y las bolsas horizontales ubicadas en cuatro niveles de elevación.

El sistema de riego consistió en cintilla de flujo de 0.5 L h^{-1} y una distancia entre goteros de 10 cm, conectada a una bomba de 0.18 kW por medio de manguera de 16 mm. El sistema de riego estaba abastecido por un reservorio de 2500 L.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con 24 tratamientos y tres repeticiones con un arreglo factorial. Los factores ensayados fueron: (a) dos variedades de fresa (Festival y San Andrea), (b) tres densidades de plantas por bolsa horizontal (6, 8 y 10, correspondientes a 33.2, 25 y 20 cm lineales entre planta con

doble hilera de planta en tresbolillo y equivalentes a 32, 43 y 53 plantas m⁻², respectivamente) y (c) cuatro niveles de elevación en el sistema piramidal (alto, medio alto, medio bajo y bajo). Se tomaron datos de dos plantas por tratamiento experimental con un total de 72 datos de cada variable. El análisis estadístico se realizó mediante un modelo general lineal y un procedimiento de regresión por medio del programa estadístico SAS versión 9.4. Cuando se encontraron diferencias significativas, se realizó una prueba de medias de Tukey con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

1.3 Resultados y discusión

1.3.1 Crecimiento de la planta

El inicio de la floración se presentó a partir de las 20 SDT, sin embargo, Hidak *et al.* (2017) reportaron inicio de floración al mes y medio, la razón del retraso puede ser atribuible a las altas temperaturas relacionado con el fotoperiodo; esto concuerda con lo reportado por Cocco *et al.* (2010), Medrano *et al.* (2010) y Durner (2016) que mencionan que una de las fases cruciales en el desarrollo de la planta de fresa es el cambio de la fase vegetativa, la cual se caracteriza por una producción principalmente de hojas, a la fase reproductiva que inicia con la floración de las plantas, influenciado directamente por el fotoperiodo y la temperatura. La temperatura en los meses de marzo a junio fue de 35 °C como máxima promedio y la mínima promedio 15 °C, de julio a octubre la temperatura máxima promedio fue de 32 °C y la mínima promedio de 14.5 °C. Durante los meses de julio a octubre la humedad relativa (HR) mínima promedio fue de 32.1 % y la máxima de 91.1 %.

Las plantas iniciaron la etapa de floración en el mes de julio, en la primera etapa del experimento (8 a 19 SDT) estadísticamente no hubo diferencias significativas entre tratamientos, en ninguna de las variables evaluadas, similar a lo que sucedió en el número de hojas (Figura 2A).

A partir del 28 de julio del 2017 (20 SDT), se comenzaron a observar diferencias estadísticas en número de hojas por planta (Figura 2), diámetro de la corona por planta (Cuadro 1), diámetro de fruto (Cuadro 2), número de fruto por planta (Cuadro 3), sólidos solubles totales (Cuadro 4) y rendimiento parcial (Figura 3) y total (Cuadro 5).

Respecto a los factores variedad (Festival y San Andrea) y densidad de plantas por bolsa (6, 8 y 10) no mostraron diferencias entre los niveles de elevación y para ninguna de las variables evaluadas (Cuadros 1 a 5). Con relación a la elevación, el nivel alto, mostró mayor número de hojas en comparación con las demás elevaciones (Figura 2A), el análisis de regresión muestra que con el nivel alto después de la semana 30 la tendencia es de incrementar el número de hojas, contrario a las tres elevaciones inferiores (Figura 2B).

El número de hojas en el nivel de elevación alto fue de 13 hojas a los 30 SDT, menor número que lo reportado por Juárez-Rosete *et al.* (2007) en un sistema NFT a las 10 SDT, con 16 hojas por planta. El nivel que desarrolló menor número de hojas fue el medio alto con un total de siete; Furlani y Junior (2007) mencionan que el sombreado que se tiene en los sistemas verticales afecta a los estratos inferiores cau-

sando menor productividad del cultivo, esto concuerda con los resultados obtenidos en el sistema piramidal con un menor desarrollo en la variable número de hojas y diámetro de la corona del cultivo en los estratos más sombreados. La inclinación del sistema piramidal por su naturaleza pudo ocasionar que las plantas del nivel inferior se sombrearán en menor medida que las plantas en elevaciones intermedias. Esto a su vez ocasiona que las plantas del estrato más bajo tengan mayor exposición a la luz, ya que la inclinación evita que las plantas con menor desarrollo, en este caso las plantas de los estratos intermedios afecten el desarrollo de la planta del nivel de elevación bajo. Díaz-Pérez (2013) menciona que demasiado sombreado reducen la temperatura de la hoja, así como la transpiración y la fotosíntesis de la hoja.

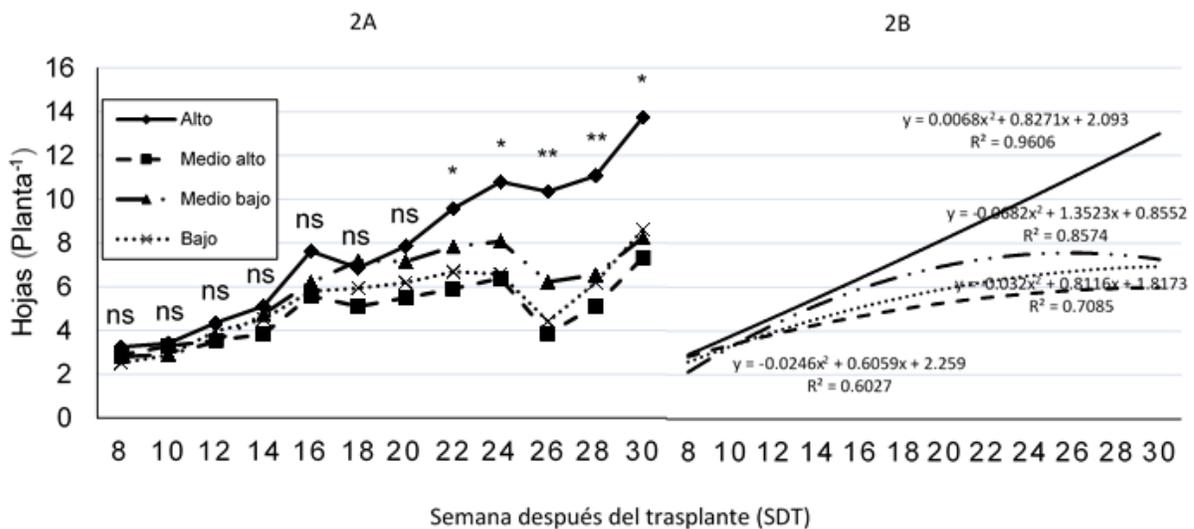


Figura 2. Número de hojas por planta de fresa en cuatro elevaciones de bolsas horizontales en un sistema piramidal, mediante el análisis de (A) GLM y (B) Regresión Lineal.

ns= No significativo, *= significativo a $P \leq 0.05$, **=significativo a 0.01. Prueba de Tukey $\alpha=0.05$.

El diámetro de la corona concuerda también con el comportamiento del número de hojas, en la mayoría de los casos, el mayor diámetro se presentó en el nivel de elevación alto de las plantas respecto a los niveles intermedios, donde fue menor (Cuadro 1). El diámetro de la corona fue mayor que lo reportado por Tariq *et al.* (2013) donde se obtuvieron diámetros de 1.06 a 1.40 cm probando diferentes densidades de plantas y sustratos en hidroponía en fresa.

Cuadro 1. Diámetro de la corona (cm) en plantas de fresa por efecto de: dos variedades, tres densidades de plantas por bolsa y cuatro niveles de elevación de bolsas horizontales en un sistema piramidal.

Factor/Nivel	Semanas después del trasplante					
	20	22	24	26	28	30
Cultivar	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Festival	1.93	2.04	2.23	2.21	2.38	2.49
San Andreas	1.98	2.40	2.15	2.21	2.21	2.32
Densidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns
6	2.04	2.19	2.41	2.47	2.48	2.71
8	2.04	2.17	2.25	2.26	2.39	2.53
10	1.78	2.29	1.91	1.91	2.01	1.98
Elevaciones	0.0004	0.0213	0.0042	0.0017	0.0008	0.0001
Alto	2.43 a ^z	2.61 ab	2.66 a	2.63 a	2.77 a	3.09 a
Medio alto	1.81 bc	1.96 ab	2.03 ab	2.06 ab	2.04 ab	2.15 bc
Medio bajo	1.48 c	1.53 b	1.69 b	1.50 b	1.54 b	1.46 c
Bajo	2.10 ab	2.77 a	2.37 ab	2.65 a	2.82 a	2.93 ab

ns= No significativo

^z Cifras seguidas con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales. (Prueba de Tukey $\alpha=0.05$).

1.3.2 Calidad y rendimiento de fruto

Las variables de calidad y rendimiento de fruto tienen un comportamiento similar a las variables del crecimiento presentadas en los cuadros 1 y 2, es decir, sólo el factor elevación de las plantas tuvo efecto significativo. Las plantas ubicadas en la parte superior respecto a las plantas de nivel de elevación intermedia presentaron mayor diámetro de fruto (Cuadros 2).

Cuadro 2. Diámetro de fruto de fresa (cm) por efecto de: dos variedades, tres densidades de plantas por bolsa y cuatro niveles de elevación de bolsas horizontales en un sistema piramidal.

Factor/Nivel	Semanas después del trasplante					
	20	22	24	26	28	30
Cultivar	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
Festival	0.84	1.16	1.28	1.20	1.43	1.38
San Andreas	1.03	1.06	1.15	1.14	1.16	1.21
Densidad	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
6	1.05	1.08	1.46	1.20	1.61	1.60
8	1.08	1.33	1.30	1.11	1.25	1.28
10	0.68	0.91	0.88	1.19	1.03	1.01
Elevación	0.0561	0.006	0.0001	0.0283	0.0337	0.0107
Alto	1.48 a ^z	1.88 a	2.11 a	1.84 a	1.79 a	1.95 a
Media alto	0.58 a	0.65 b	0.82 b	0.94 ab	1.09 ab	1.08 ab
Media bajo	0.62 a	0.73 b	0.51 b	0.67 b	0.68 b	0.69 b
Bajo	1.07 a	1.16 ab	1.41 ab	1.22 ab	1.62 ab	1.47 ab

ns= no significativo

^z Cifras seguidas con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Prueba de Tukey $\alpha=0.05$).

En número de frutos existió diferencia altamente significativa, para las plantas de la parte superior se produjo el mayor número, seguida del nivel bajo para las 22, 24 y 26 SDT, respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de frutos de fresa por planta por efecto de: dos variedades, tres densidades de plantas por bolsa y cuatro niveles de elevación de bolsas horizontales en un sistema piramidal.

Factor/Nivel	Semanas después del trasplante					
	20	22	24	26	28	30
Cultivar	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
Festival	2.00	3.27	4.38	4.27	5.05	5.83
San Andreas	2.38	3.11	3.88	3.55	3.61	4.22
Densidad	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
6	2.41	3.83	5.25	4.25	6.08	6.50
8	2.50	3.16	4.50	4.33	3.91	5.16
10	1.66	2.58	2.66	3.16	3.00	3.41
Elevación	0.0561	0.002	0.0071	0.0042	0.1805	0.2595
Alto	3.33 a ^z	5.88 a	7.00 a	6.66 a	6.77 a	6.44 a
Medio alto	1.22 a	1.33 b	2.66 b	2.66 b	2.88 a	3.33 a
Medio bajo	1.33 a	2.00 b	2.22 b	1.88 b	3.77 a	4.00 a
Bajo	2.88 a	3.55 ab	4.66 ab	4.44 ab	3.88 a	6.33 a

ns= no significativo.

^z Cifras seguidas con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Prueba de Tukey $\alpha=0.05$).

El porcentaje de sólidos solubles totales también presentó una respuesta significativa por efecto de los niveles de elevación, con el nivel alto se tuvieron los mayores resultados (Cuadro 4), con rangos menores que lo reportado por Thakur y Shylla (2018) manejando un rango de 8 % a 10 % en la variedad de fresa Chandler y lo reportado por Jafarnia y Hatamzadehifar (2010) con rangos de 6.3 % a 7.9 % en un

sistema vertical y diferentes combinaciones de sustratos en las variedades de fresa: Fresno, Selva y Kordestan.

Cuadro 4. Sólidos solubles totales (Grados Brix) en los frutos de fresa producidos en dos variedades, tres densidades de plantas por bolsa y cuatro niveles de elevación de bolsas horizontales en un sistema piramidal.

Factor/Nivel	Semanas después del trasplante					
	20	22	24	26	28	30
Cultivar	ns ^z	ns	Ns	ns	ns	ns
Festival	3.25	4.51	4.97	5.02	5.25	5.01
San Andreas	3.64	6.23	4.24	3.99	4.51	5.16
Densidad	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
6	4.00	4.26	5.34	5.12	6.00	6.12
8	3.77	8.25	4.93	4.79	4.77	5.15
10	2.57	3.60	3.56	3.62	3.87	3.98
Elevación	0.0600	0.5704	0.0002	0.0061	0.0369	0.0132
Alto	5.67 a ^z	7.31 a	8.08 a	7.42 a	6.75 a	7.30 a
Medio alto	2.19 a	6.96 a	3.16 b	2.82 b	3.81 a	4.50 ab
Medio bajo	2.51 a	2.86 a	1.97 b	2.84 b	2.80 a	2.48 b
Bajo	3.42 a	4.36 a	5.21 ab	4.95 ab	6.16 a	6.06 ab

ns= no significativo.

^z Cifras seguidas con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Prueba de Tukey $\alpha=0.05$).

La variable de rendimiento, sólo en el factor elevación presentó efecto significativo. Los mayores rendimientos por planta y el rendimiento acumulado se presentaron en las plantas de la parte superior de la pirámide, pero significativamente fueron diferentes sólo respecto a las plantas de niveles intermedios, los demás factores no tuvieron efecto en estas variables (Figura 3A), en el análisis de regresión la tendencia de la elevación bajo tuvo un incremento en el rendimiento, lo contrario al nivel de elevación alto el cual la curva tuvo un rendimiento decreciente al final del ensayo

(Figura 3B). Las condiciones ambientales de los meses en los cuales se llevó a cabo el experimento también afectaron el rendimiento de fruto por planta, esto ha sido reportado para plantas de fresa por Caruso *et al.* (2011). De acuerdo con Adams (2002) y Ledesma *et al.* (2008) la temperatura y duración del día juegan un papel fundamental afectando la producción de frutos.

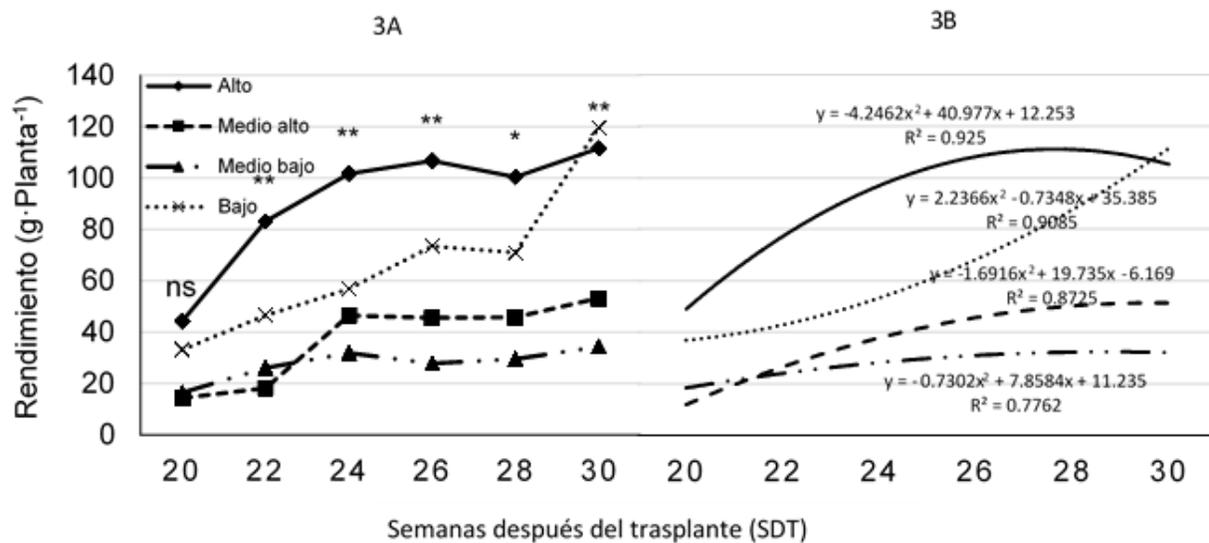


Figura 3. Rendimiento de frutos (g planta⁻¹) por efecto de cuatro elevaciones de las bolsas horizontales en un sistema piramidal, mediante el análisis de (A) GLM y (B) Regresión Lineal.

ns= No significativo, *= significativo a P < 0.05, **=significativo a 0.01. Prueba de Tukey $\alpha=0.05$

Los rendimientos por planta obtenidos en el sistema hidropónico piramidal en el presente estudio fueron menores a los reportados por Miranda *et al.* (2014) en bolsas y canales de fibra de coco obteniendo de 684 g planta⁻¹ a 1,407 g planta⁻¹ manejando una densidad de 10 y 13 plantas m⁻², respectivamente.

Cuadro 5. Rendimiento acumulado de fresa en peso por planta y por metro cuadrado por efecto: dos variedades, tres densidades de plantas y cuatro elevaciones de bolsas horizontales, en un sistema piramidal.

Factor/Nivel	Rendimiento de frutos	
	(g planta ⁻¹)	(kg m ⁻²)
Cultivares	ns	ns
Festival	342.44	14.7
San Andreas	325.88	14.0
Densidades	ns	ns
6	390.16	12.5
8	381.84	16.4
10	206.48	10.7
Elevación	0.0007	0.0007
Alto	547.63 a ^z	23.5 a
Medio alto	223.49 b	9.6 b
Medio bajo	165.99 b	7.1 b
Bajo	400.41 ab	17.2 ab

ns= no significativo.

^z Cifras seguidas con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Prueba de Tukey $\alpha=0.05$).

Pero el rendimiento por metro cuadrado fue mayor en este estudio, ya que al manejar una densidad 43 plantas m⁻² se tiene una producción de 23.5 kg m⁻² en el nivel de elevación alto (Cuadro 5), superior a la reportada por Paranjpe *et al.* (2003) quienes mencionan que, con un buen manejo de cultivo en hidroponía en Florida, EUA, obtuvieron rendimientos de 7 a 9 kg m⁻².

1.4 Conclusiones

Las variedades de fresa Festival y San Andreas cultivadas bajo el sistema piramidal mostraron que el nivel de elevación alto es el que tiene el mayor: número de hojas, diámetro de la corona, número de frutos, diámetro de frutos, contenido de sólidos solubles y fue el más productivo; probablemente sea atribuible a la mayor exposición a la luz solar.

La densidad de plantación, las variedades de fresa y la interacción entre éstos no tuvieron un efecto significativo en el crecimiento de planta o en el rendimiento de fruta.

1.5 Literatura citada

- Adams, P. 1991. Hydroponic systems for winter vegetables. *Acta Hortic.* 287:181-188.
- Adams, P. 2002. Nutritional control in hydroponics. In: Savvas, D., Passam, H.C.(Eds.), *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. EmbryoPublications, Athens, Greece, pp. 211–261.
- Al-Raisy, F. S., Al-Said, F. A., Al-Rawahi, M.S., Khan, I. A., Al-Makhmari, S.M., and Khan, M.M. 2010. Effects of column sizes and media on yield and fruit quality of strawberry under hydroponic vertical system. *European J. of Scientific Research.* 43:48–60.
- Caruso, G., Villari, G., Melchionna, G. and Conti, S. 2011. Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. *Sci. Hortic.* 129:479–485.
- Cantliffe, D.J., Castellanos, J.Z. and Paranjpe, A.V. 2007. Yield and quality of greenhouse-grown strawberries as affected by nitrogen level in coco coir and pine bark media. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 120:157-161.
- Chandler, C. K., Legard, D. E., Dunigan, D.D., Crocker T.E. and Sims, C.A. 2000. “Strawberry Festival” strawberry. *Hortscience.* 35:1366–1367.
- Claire, D., N. Watters, L. Gendron, C. Boily, S. Pépin, and J. Caron. 2018. High productivity of soilless strawberry cultivation under rain shelters. *Scientia Hort.* 232:127-138.
- Cocco, C., Andriolo, J. L., Erpen, L., Cardoso, F. L. and Casagrande, G. S. 2010. Development and fruit yield of strawberry plants as affected by crown diameter and plantlet growing period. *Pesquisa Agropecuária Brasileira.* 45:730-736.

- Depardieu, C., Prémont, V., Boily, C. and Caron, J. 2016. Sawdust and bark-based substrates for soilless strawberry production: irrigation and electrical conductivity management. *PloS one*. 11(4).
- Díaz-Pérez, J. C. 2013. Bell pepper (*Capsicum annum* L.) crop as affected by shade level: Microenvironment, plant growth, leaf gas exchange, and leaf mineral nutrient concentration. *HortScience*. 48:175-182.
- Durner, E. F. 2016. Photoperiod and temperature conditioning of 'Sweet Charlie' strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) plugs enhances off-season production. *Scientia horticultrae*. 201:184-189.
- Eurosemillas. 2018. 20 April 2018. <<http://www.eurosemillas.com/es/>>.
- FAO. 2018. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. 5 Noviembre 2018. <<http://faostat3.fao.org2>>
- Furlani, P.R. and Junior, F.F. 2007. Hidroponía vertical para la producción de fresa. Universidad Estatal de Campiñas Sao Pablo, Brasil.
- Hernanz, D., Recamales, Á. F., Meléndez-Martínez, A. J., González-Miret, M. L. and Heredia, F. J. 2008. Multivariate Statistical Analysis of the Color– Anthocyanin Relationships in Different Soilless-Grown Strawberry Genotypes. *Journal of agricultural and food chemistry*. 56:2735-2741.
- Hewitt, E. J. and Smith, T. A. 1974. *Plant mineral nutrition*. English Universities Press Ltd.
- Hidaka, K., Dan, K., Imamura, H. and Takayama, T. 2017. Crown-cooling treatment induces earlier flower bud differentiation of strawberry under high air temperatures. *Environmental Control in Biology*. 55:21-27

- Hummer, K. E. and Hancock, J. 2009. Strawberry genomics: botanical history, cultivation, traditional breeding, and new technologies. *Genetics and genomics of Rosaceae*. Springer, New York. 413-435.
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) san Luis potosí. 2018. <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=24>>.
- Jafarnia, S. and Hatamzadehifar, A. 2010. Effect of substrate and variety on some important quality and quantity characteristics of strawberry production in vertical hydroponics system. *Advances in Environmental Biology*. 3:360-363
- Juárez-Rosete, C. R., Rodríguez-Mendoza, M. N., Sandoval-Villa, M. and Muratalla-Lúa, A. 2007. Comparación de tres sistemas de producción de fresa en invernadero. *Terra Latinoamericana*. 25:17-23.
- Keutgen, A.J. and Pawelzik, E. 2007. Cultivar-dependent cell wall modification of strawberry fruit under NaCl salinity stress. *J. Agr. Food. Chem.* 55:7580–7585.
- Ledesma, N. A., Nakata, M. and Sugiyama N. 2008. Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs. ‘Nyoho’ and ‘Toyonoka’. *Scientia Horticulturae*.116:186-193.
- López-Aranda, J. M., Miranda, L., Medina, J. J., Soria, C., de los Santos, B., Romero, F., and Santos, B. M. 2009. Methyl bromide alternatives for high tunnel strawberry production in southern Spain. *HortTechnology*. 19(1):187-192.
- López-Pérez, L., Cárdenas-Navarro, R., Lobit, P., Martínez-Castro, O. and Escalante-Linares, O. 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28:171-174.
- Medrano, E., Lorenzo, P., Sánchez-Guerrero, M. C., Alonso, F. J., Briones, P. A., Parra, A. and Roldán, A. 2010. Producción integrada de fresa en sustrato con

sistema recirculante en condiciones mediterráneas. I Congreso virtual iberoamericano de producción integrada en horticultura. 1-11.

Miranda, F. R. D., Silva, V. B. D., Santos, F. S. R. D., Rossetti, A. G. and Silva, C. D. F. B. D. 2014. Production of strawberry cultivars in closed hydroponic systems and coconut fibre substrate. *Revista Ciência Agronômica*. 45:833-84.

Oliveira, R. P. and Scivittaro, W. B. 2011. Desempenho produtivo de cultivares de morangueiro. *Scientia Agraria*. 12: 69-74.

Pant, T., Agarwal, A., Bhoj, A. S., Prakash, O. and Dwivedi, S. K. 2018. Vegetable Cultivation under Hydroponics in Himalayas: Challenges and Opportunities. *Defence Life Science Journal*. 3:111-119.

Paranjpe, A. V., Cantliffe, D. J., Lamb, E. M., Stoffella, P. J. and Powell, C. 2003. Winter strawberry production in greenhouses using soilless substrates: an alternative to methyl bromide soil fumigation. *Proceedings of the Florida State for Horticultural Science*. 116:98-105.

Paranjpe, A. V., Cantliffe, D. J., Stoffella, P. J., Lamb, E. M. and Powell, C. A. 2008. Relationship of plant density to fruit yield of 'Sweet Charlie' strawberry grown in a pine bark soilless medium in a high-roof passively ventilated greenhouse. *Scientia Horticulturae*. 115:117-123.

Recamales, A. F., Medina, J. L. and Hernanz, D. 2007. Physicochemical characteristics and mineral content of strawberries grown in soil and soilless system. *Journal of food quality*. 30:837-853.

SAGARPA. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. 2018. <<http://www.gob.mx/sagarpa>>

SIAP. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. 2018. <<https://www.gob.mx/siap>>

- Tariq, R., Qureshi, K. M., Hassan, I., Rasheed, M. and Qureshi, U. S. 2013. Effect of planting density and growing media on growth and yield of strawberry. *Pakistan J. of Agricultural Research*. 26:113-123.
- Thakur, M. and Shylla, B. 2018. Effect of Different Soilless Substrates on Flowering, Yield and Fruit Quality of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Chandler under Protected Conditions. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*. 7:2830-2836.
- Treftz, C., and Omaye, S. T. 2015. Nutrient analysis of soil and soilless strawberries and raspberries grown in a greenhouse. *Food and Nutrition Sciences*. 6(09): 805.
- Van Ginkel, S. W., Igou, T. and Chen, Y. 2017. Energy, water and nutrient impacts of California-grown vegetables compared to controlled environmental agriculture systems in Atlanta, GA. *Resources, Conservation and Recycling*. 122: 319-325.

CAPÍTULO 2. PRODUCCIÓN DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO VERTICAL BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

Resumen

El modelo actual basado en las grandes superficies de cultivo ejerce presión sobre los recursos naturales agua y suelo, en las próximas décadas se volverá insostenible. El cultivo de fresa ha incrementado su superficie en estos últimos años, convirtiendo a México en uno de los productores más importantes a nivel mundial. La fresa se ha convertido en un cultivo factible de producirse dentro de un sistema vertical por sus características fisiológicas. El objetivo del presente estudio fue evaluar dos variedades de fresa, en dos densidades de plantación y tres elevaciones de las plantas en un sistema de plantación en macetas vertical. El factor variedad Festival mostró efecto significativo en número de hojas hasta los 126 DDT, en diámetro de la corona mostró diferencias entre los dos cultivares durante el ciclo, no teniendo influencia en el rendimiento de frutos. Existió una correlación positiva entre el número de frutos ($r^2=0.89$), diámetro de frutos ($r^2=0.54$) y peso de fruto ($r^2=0.40$) con el rendimiento total. La densidad de plantación no tuvo efecto significativo en el crecimiento de planta o en el rendimiento y calidad de fruta. El sistema vertical en macetas no presentó diferencias entre los niveles de elevación. Demostró tener una alta productividad de 16 kg m^{-2} .

Palabras clave: maceta, sustrato, cultivo sin suelo, producción intensiva, hortalizas

STRAWBERRY PRODUCTION (*Fragaria x ananassa* Duch.) IN A VERTICAL HYDROPONIC SYSTEM UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

Abstract

The current model based on large crop areas is likely to be threatened in the coming decades and will become unsustainable. Strawberry cultivation has increased its surface in recent years, making Mexico one of the most important producers worldwide. The strawberry has become a crop that is produced within a vertical system for its physiological characteristics. The objective of the present study was to evaluate two strawberry varieties in two planting densities and three plant elevations in a vertical potting system. In the factor cultivating variety 'Festival' showed significant effect in number of leaves up to 126 DDT, diameter of the crown showed differences between two cultivars during the cycle, having no influence on yield of fruits. There was a positive correlation between the number of fruits ($r^2 = 0.89$), fruit diameter ($r^2 = 0.54$) and fruit weight ($r^2 = 0.40$) with total yield. Planting density did not have a significant effect on plant growth or fruit yield and quality. The vertical system in pots did not present differences between the elevations, proved to have a high productivity of 16 kg·m⁻².

Keywords: flowerpot, substrate, soilless cultivation, intensive production, vegetables

2.1 Introducción

Hasta mediados del siglo XX, el crecimiento de la demanda de productos agrícolas se pudo satisfacer a través de la expansión de las áreas bajo cultivo. También se tiene que a pesar del crecimiento exponencial de la población, el área cultivada aumentó solo 11 % en las últimas cuatro décadas, por lo tanto, la tierra cultivada por persona disminuyó en un 40 % de 4.300 a 2,600 m² (FAO, 2017).

El modelo agrícola actual basado en las grandes superficies de cultivo y el uso excesivo de agua, probablemente este amenazado en las próximas décadas y se volverá insostenible. Una solución a este problema puede ser la agricultura vertical (Despommier, 2010; Benke y Bruce, 2017). En la cual se han estudiado diferentes arreglos arquitectónicos, utilizando la técnica de la hidroponía, tales como arreglos piramidales, bastidores metálicos y arreglos en bolsas verticales (Resh, 2001), pudiendo producir la mayoría de los cultivos hortícolas tales como lechuga, tomates y fresas (Frazier, 2017).

En estos sistemas se puede utilizar sólo con agua como medio de cultivo o diferentes sustratos, tales como lana de roca, fibra de coco o perlita, proporcionando la nutrición adecuada mediante una solución nutritiva (Kratky, 2005; Jones, 2016). Sánchez del Castillo (2014) menciona que una de las ventajas de los sistemas hidropónicos es la utilización altas densidades y un adecuado balance de nutrientes y agua. La densidad de fresa que se utiliza tradicionalmente en suelo es de 6.5 a 8 plantas

m², con los sistemas hidropónicos verticales se puede aumentar hasta tres veces la densidad de plantación (Ozeker *et al.*, 1999).

El cultivo de fresa ha incrementado su superficie en estos últimos años, convirtiendo a México en uno de los productores más importantes a nivel mundial (SIAP, 2017). La fresa es un cultivo que se puede producir en un sistema vertical por sus características fisiológicas (Despommier, 2010).

Las variedades de fresa más utilizadas en México son: Festival, Sweet Charlie, Galexia, Camino Real, Albión, Camarosa, Aromas, Ventana y Diamante. (SAGARPA, 2018). La variedad San Andreas es nueva y se está comenzando a utilizar en el país (Eurosemillas, 2018).

Por lo tanto se considera que, el sistema hidropónico vertical de macetas puede ser una opción para la producción de fresa en ambiente protegido incrementando la densidad plantas y por lo tanto la producción.

El objetivo de este trabajo es evaluar dos variedades de fresa, dos densidades de plantación y tres niveles de elevación en un sistema hidropónico vertical en condiciones de invernadero sin control de clima.

2.2 Materiales y métodos

El estudio se realizó en un invernadero bitonel, con superficie de 756 m², con ventilación pasiva, perteneciente al Colegio de Postgraduados, campus San Luis Potosí, ubicado en el municipio de Salinas de Hidalgo, en las coordenadas geográficas

22° 37' 39" Latitud N y 101° 42' 52" Longitud O y se encuentra a una altitud de 2,070 m (INEGI, 2018). El trabajo experimental se realizó del mes de marzo a octubre del 2017. Se colocó un datalogger marca "Hobo" de dos canales, los cuales midieron temperatura y humedad relativa, se analizaron los datos por medio del programa HOBOWare, después se exportaron al programa Excel.

La planta a raíz desnuda se mantuvo en refrigeración a 3 °C durante 60 días antes del trasplante. Se plantó de manera directa sobre las macetas con fibra de coco. La planta fue previamente desinfectada, se podó la raíz y se eliminaron las hojas dañadas, se seleccionaron las plantas más vigorosas y de tamaño homogéneo.

Para establecer el experimento se comenzó con la construcción del sistema hidropónico. El sistema de macetas vertical consta de una unidad con seis macetas redondas, cada maceta con un volumen de 15 L, colocadas una encima de otra, perforadas en el centro, en las cuales está incrustado un tubo para sostenerlas. Este tubo se fija, haciendo un orificio en el suelo, colocando el tubo, y después rellenando con concreto donde va colocada cada columna de macetas. En el fondo de cada columna se coloca la mitad de un tubo de 10" para que se utilice como drenaje y de este modo evitar encharcamientos entre las líneas de producción. Se colocan las macetas con el sustrato fibra de coco, una sobre otra dentro del tubo como se muestra en la Figura 4. Para evitar que las macetas estén colocadas sobre el sustrato y lo compriman, entre cada maceta se colocaron dos soleras que funcionan como base entre ellas.

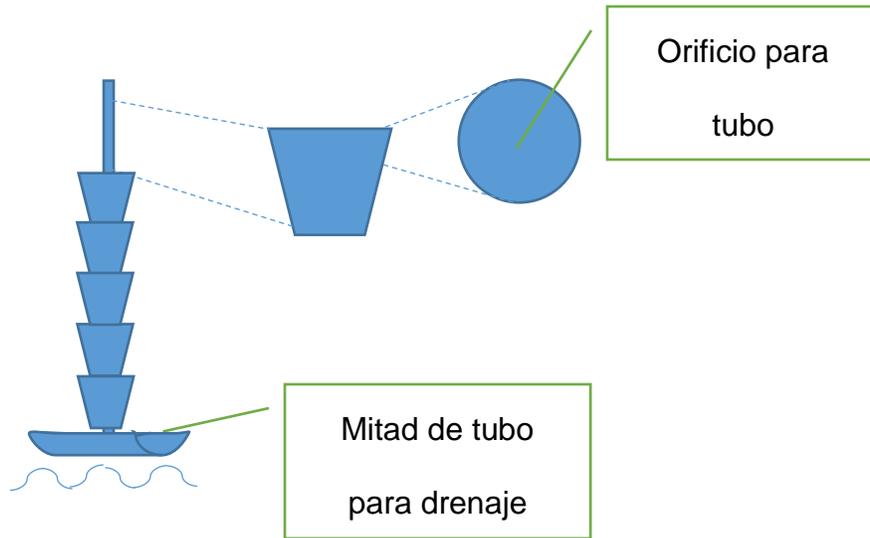


Figura 4. Arreglo de macetas en un sistema hidropónico vertical

La separación entre columnas es de 0.50 m entre ellas en fila y entre surco es de 1 m, colocadas en posición tresbolillo.

El sistema de riego cuenta con una línea de distribución principal que funciona con una bomba de $\frac{1}{4}$ HP, la cual distribuye por medio de manguera de 16 mm conectada a un tinaco de 2500 L, el cual se llena de agua de lluvia para el suministro de la solución nutritiva. De esta línea se colocan tres goteros auto-compensantes de 4 L h^{-1} para cada una de las columnas, con una cruz de distribución, cada una de ellas conectadas a los microtubos y al final a una estaca de goteo. Cada gotero auto-compensante es para dos macetas, de las cuales la maceta inferior es regada por medio del drenaje de la maceta superior como lo muestra la Figura 5. Por la

distancia que existe entre la altura de cada maceta, los microtubos son cortados en tres longitudes diferentes: 0.25 m, 0.60 m y 1.10 m.

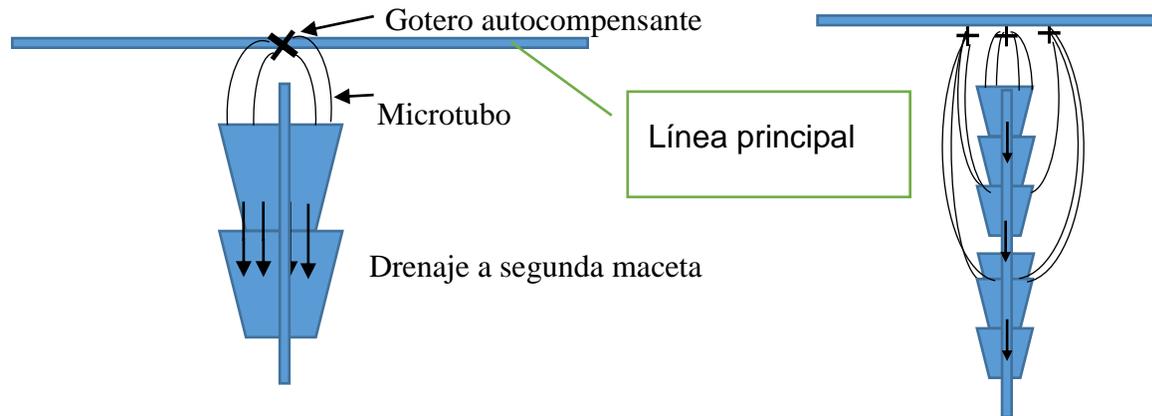


Figura 5. Distribución de riego en un sistema hidropónico vertical

En cuanto al riego y manejo de la solución nutritiva, durante los primeros tres días se regó sólo con agua de lluvia, posteriormente se regó con la solución nutritiva inicial. Se colocaron las bandejas para recabar el drenaje y los goteros de control en cada una de las elevaciones, las mediciones del volumen, pH y conductividad eléctrica se llevaron a cabo dos veces por semana. Con esta información se controló la concentración de la solución en el sustrato para evitar la salinización que se puede dar en la fibra de coco por mal manejo de riego y nutrición (Depardieu *et al.*, 2016).

Se utilizó la solución nutritiva de Hewitt y Smith (1974) y Caruso *et al.* (2011). El pH de la solución nutritiva se mantuvo en 6.0 ± 0.3 , y una conductividad eléctrica de 1.3 dS m^{-1} en la etapa vegetativa, 1 a 140 Días después del trasplante (DDT) y

1.5 dS m⁻¹ en la etapa reproductiva (141 a 210 DDT) aplicada en un rango de 100 - 400 mL planta⁻¹. El suministro de nutrientes se manejó con un sistema abierto.

Las variables de crecimiento medidas fueron: número de hojas, diámetro de corona que en este estudio según lo reportado por Cantliffe *et al.* (2007) se consideró a las múltiples coronas de la planta como una sola (medida en la parte más ancha con un vernier digital), número de estolones, número de flores, número de frutos, peso fresco y peso seco de la planta. Las variables se midieron cada 15 días.

Después de la cosecha se midió el peso y diámetro de fruto, el rendimiento de frutos (g planta⁻¹ y kg m²) y sólidos solubles con un refractómetro óptico ATAGO Brix 0.0 a 33.0 % a partir del jugo de la fresa, según la norma NMX-FF-062-SCFI-2002. La cosecha de frutos se realizó cada semana.

Para control de plagas, cada 15 días se realizaron podas de saneamiento, en la cual se retiraron hojas viejas y con daños por plaga. Durante los meses de mayo a agosto se controló químicamente el insecto plaga *Tetranychus urticae*, utilizando abamectina alternando con cipermetrina en dosis de 1 ml L⁻¹, ya que se comenzó a observar el inicio de infestación en la planta de fresa.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con 12 tratamientos y seis repeticiones con un arreglo factorial. Los factores ensayados fueron: (a) dos cultivares de fresa ('Festival' y 'San Andrea'), (b) dos densidades de plantas por maceta (tres y cuatro plantas por maceta; 54 plantas m² y 40 plantas m², respectivamente).

(c) tres niveles de elevación en el sistema vertical (alto, medio y bajo). Se tomaron datos de una planta por tratamiento experimental. El análisis estadístico de los resultados se realizó mediante un modelo general lineal, un procedimiento de regresión y un análisis de correlación por medio del programa estadístico SAS versión 9.4. Con una prueba de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$).

2.3 Resultados y discusión

Las plantas presentaron un buen desarrollo vegetativo durante los primeros 45 días, pero se observó un retraso en la producción de flores ya que se presentó hasta los 98 días después del trasplante (DDT). La temperatura durante los meses de marzo a junio fue de 35 °C como máxima promedio y la mínima promedio 15 °C, de julio a octubre la temperatura máxima promedio fue de 32 °C y la mínima promedio de 14.5 °C. Durante los meses de julio a octubre la humedad relativa (HR) mínima promedio fue de 32.1 % y la máxima de 91.1 %. Según lo reportado por Hidaka *et al.* (2017) y Radin *et al.* (2011). con una diferencia mínima de tres grados en la temperatura media en el cultivar de fresa ocasiona que la planta tenga una menor producción. Pero se ha reportado que existen cultivares de fresa que genéticamente tienen mayor tolerancia al estrés por altas temperaturas como los es la variedad 'Nyoho' (Ledesma y Sugiyama, 2005).

Según lo reportado por Hidaka *et al.* (2017) la floración se inicia a los 45 DDT, la razón del retraso puede ser atribuible a las altas temperaturas relacionado con el fotoperiodo, ya que la baja temperatura y los días cortos inducen la diferenciación del

brote floral (Miyoshi *et al.*, 2013). Las temperaturas menores a 2 °C y mayores a 35°C por periodos prolongados, provocan desvitalización de polen, aborto floral y malformaciones de fruto (Bianchi, 1999). Ledesma y Kawbata (2016) mencionan que existe una disminución en tamaño y peso de fruto por estrés por altas temperaturas (mayor a 32 °C por más de 4 horas) en las variedades de fresa.

Probablemente las variedades Festival y San Andreas respondieron favorablemente a este estrés, ya que de julio a octubre se tuvieron temperaturas máximas de 38 °C, pero de una duración menor a las 4 horas (Figura 6).

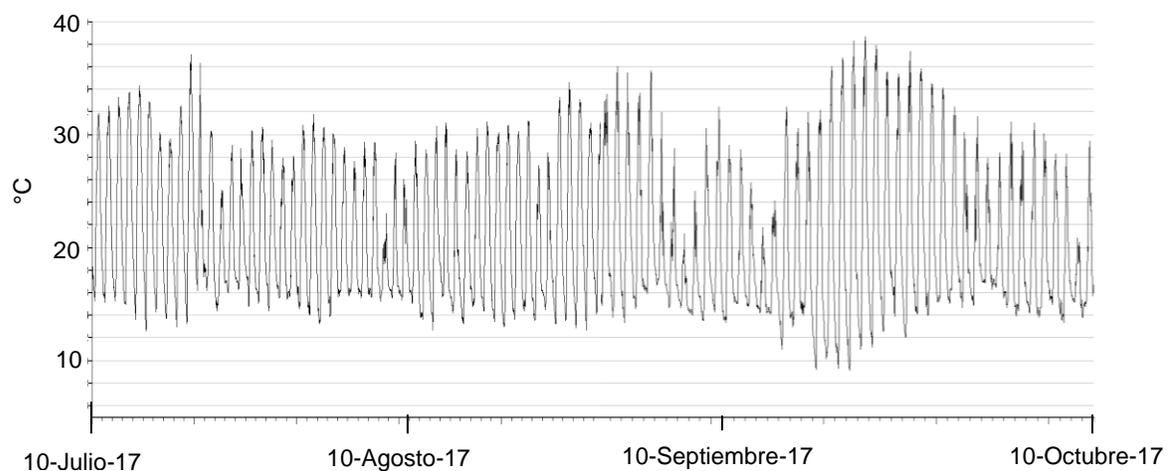


Figura 6. Distribución de la temperatura diaria dentro del invernadero durante los meses Julio a Octubre del 2017.

Las mediciones de las variables de crecimiento iniciaron el día 26 de abril, 42 DDT, mostrando diferencias entre el número de hojas por variedad de fresa con diferencias significativas entre ellas de los 42 DDT hasta los 126 DDT (Figura 7). Esto se

puede atribuir a la poda de rejuvenecimiento que se realizó a los 140 DDT, eliminando parte de hojas, hojas dañadas, hojas viejas y secas, lo cual estimuló a la planta a la formación de hojas y flores, con esto también se homogenizó el número de hojas por planta en las dos variedades evaluadas y no mostró diferencias entre tratamientos (Figura 6). Contrario a lo reportado por Casierra-Posada *et al.* (2012), que indican que las podas en cv. Chandler, mayor al 38 %, el crecimiento se ve seriamente comprometido.

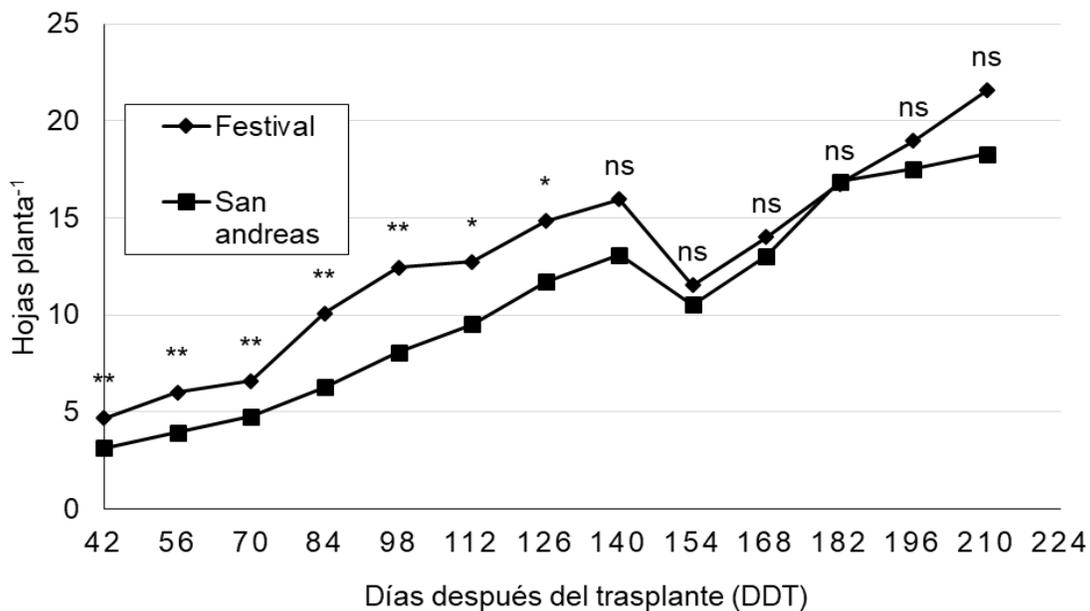


Figura 7. Número de hojas por planta de fresa en dos variedades en un sistema hidropónico vertical.

ns= No significativo, *= significativo a $P < 0.05$, **=significativo a 0.01. Prueba de Duncan $\alpha=0.05$.

El diámetro de la corona durante el desarrollo del experimento tuvo diferencias altamente significativas, desde los 42 DDT hasta los 210 DDT, la variedad Festival fue mayor. San Andreas tiene un rango de diámetro de la corona de 1.1 cm a 3.3 cm y en el cultivar Festival de 1.4 cm a 4.3 cm notando una diferencia significativa de un cm al final (Figura 8).

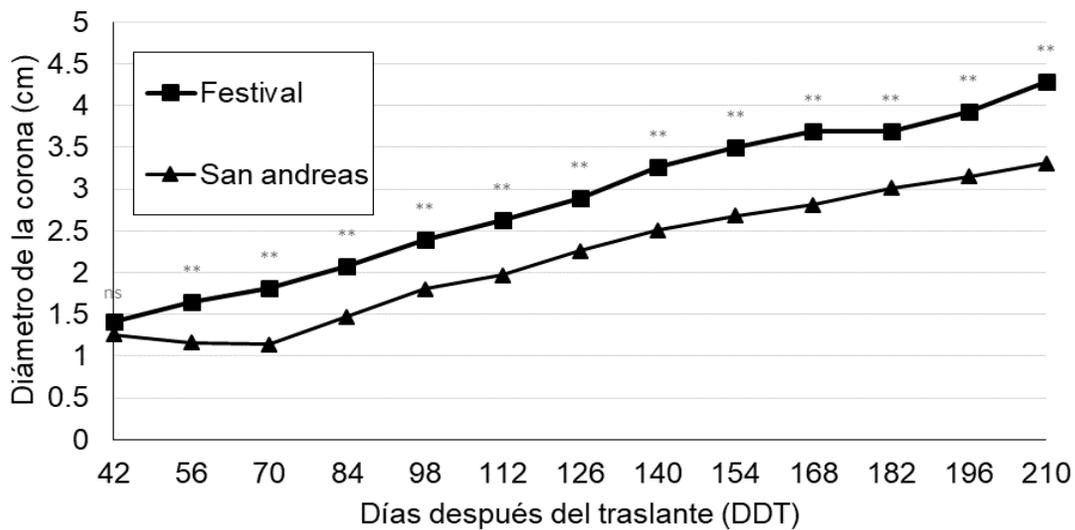


Figura 8. Diámetro de la corona (cm) por planta de fresa en dos variedades en un sistema hidropónico vertical.

ns= No significativo, *= significativo a $P < 0.05$, **=significativo a 0.01. Prueba de Duncan $\alpha=0.05$

En las dos variedades evaluadas, para la variable rendimiento no hubo diferencias entre ellas como se muestra en la Figura 9. En la gráfica de regresión la variedad Festival tiene la tendencia a disminuir su rendimiento al final del ensayo, por el contrario, San Andrea tiene una ligera tendencia a incrementar su producción al fina-

lizar el ciclo de la planta. Festival muestra a los 168 DDT su máxima producción por planta de 77.5 g, después la producción empieza a decaer, como se mencionó anteriormente. Mientras que la variedad San Andrea muestra su máxima producción a los 210 DDT con 63.7 g planta⁻¹. También se puede observar la baja de producción a los 140 DDT debido a la poda realizada para estimular la floración.

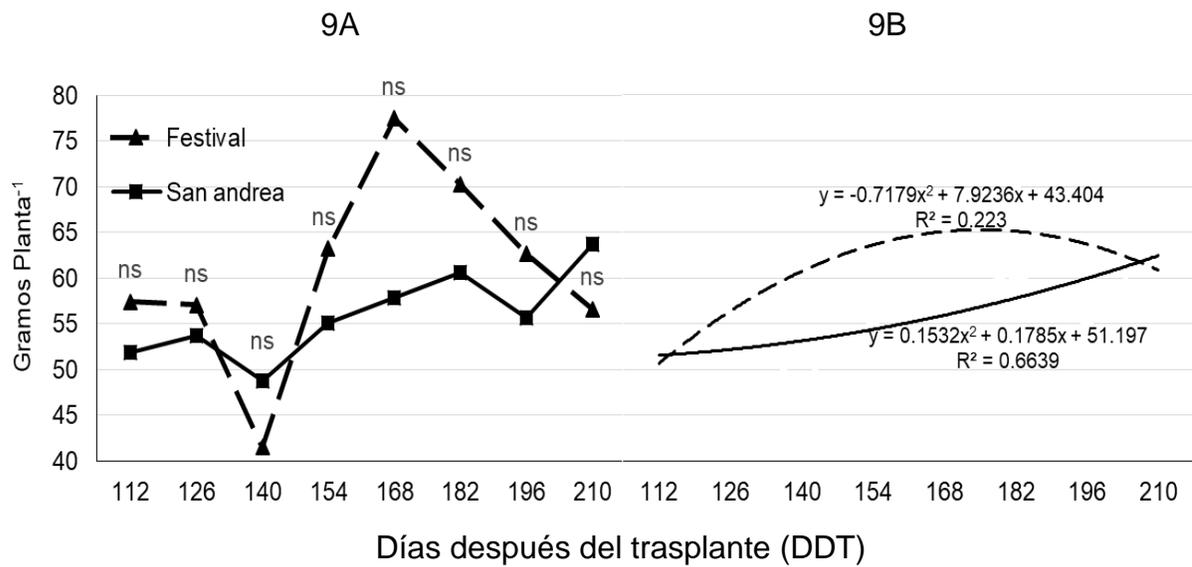


Figura 9. Rendimiento de frutos (gramos planta⁻¹) por efecto de dos variedades en un sistema hidropónico vertical, mediante el análisis de (A) GLM y (B) Regresión Lineal.

ns= No significativo, *= significativo a P < 0.05, **=significativo a 0.01. Prueba de Duncan $\alpha=0.05$

El factor densidad no mostro diferencias significativas en los niveles ensayados en ninguna de las variables medidas.

En el factor nivel de elevación, el número de hojas mostró una diferencia entre el nivel de elevación alto después de 112 DDT con respecto al nivel de elevación medio y bajo. Manteniendo tal diferencia hasta el fin del experimento (Figura 10).

De los 140 a los 154 DDT se puede observar la disminución en el número de hojas, provocado por una poda, siendo significativo el nivel alto. Esto puede ser ocasionado por ser la parte de mayor exposición a la luz del sol, beneficiando a la producción de más hojas en la parte superior que concuerda por lo reportado por Furlani y Junior (2007) con un sistema de bolsas vertical con un comportamiento similar al obtenido en el presente estudio.

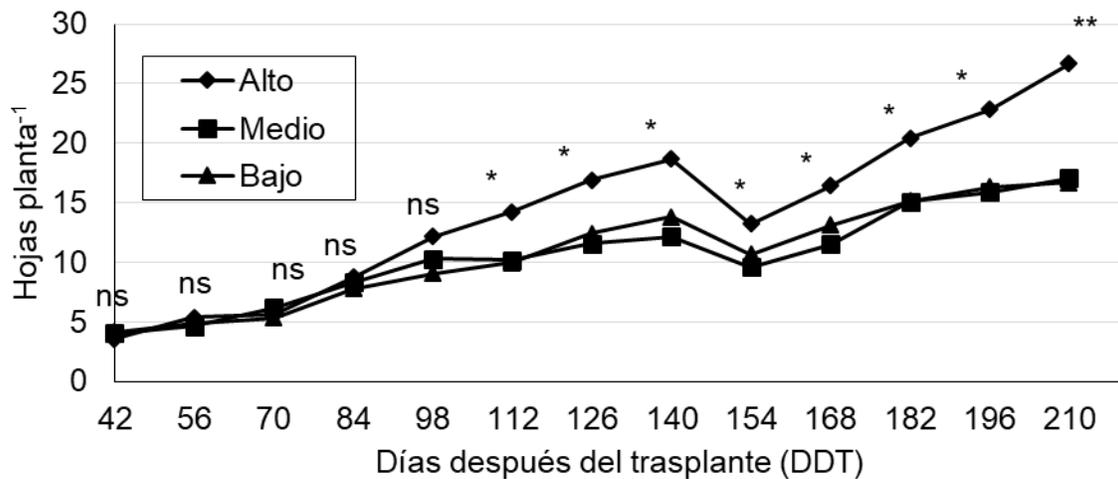


Figura 10. Número de hojas por planta de fresa en tres niveles de elevación en un sistema hidropónico vertical.

ns= No significativo, *= significativo a $P < 0.05$, **=significativo a 0.01. Prueba de Duncan $\alpha=0.05$.

En el análisis de correlación de Pearson el índice de correlación muestra una alta correlación entre la variable rendimiento total con el número de frutos, con una $r^2=0.898$, que concuerda con lo reportado por Grijalba (2015), con Albión y Monterrey donde encontró el mayor índice de correlación de 0.89 y 0.93 en estas dos variables, ya que el número de frutos influye en el rendimiento total de forma positiva. Para la variable diámetro de frutos contra peso de frutos se tiene $r^2=0.729$ teniendo una correlación positiva entre estas dos variables que concuerda con Furlani y Junior (2007) que menciona que estas dos variables están relacionadas, ya que a mayor diámetro de fruto se tiene mayor tamaño y por lo tanto mayor peso de fruto.

La variable número de hojas contra diámetro de la corona se tiene una correlación media de $r^2=0.552$, esto indica que el número de hojas está en parte influido por el diámetro de la corona. Por último, el rendimiento total contra diámetro de frutos y peso de frutos se tiene una $r^2=0.545$ y $r^2=0.405$, respectivamente. Esto indica que el rendimiento total esta medianamente relacionado con el diámetro de frutos y menos para peso de frutos.

Cuadro 6. Coeficiente de correlación de Pearson de las variables dependientes por efecto de los factores: dos variedades, dos densidades de plantas por maceta y tres niveles de elevación en un sistema hidropónico vertical.

	nhoj	nflr	dcor	nest	nfru	dfru	Pfru	cfriu	gbrx	Rtot
Nhoj	1.000	0.241	0.552	0.003	0.014	-0.104	-0.079	0.097	-0.125	-0.018
Nflr	0.241	1.000	0.215	0.022	0.335	-0.022	-0.011	0.032	-0.048	0.276
Dcor	0.552	0.215	1.000	0.060	0.133	-0.022	0.025	-0.041	-0.181	0.112
Nest	0.003	0.022	0.060	1.000	-0.261	0.060	0.002	0.128	0.044	-0.205
Nfru	0.014	0.335	0.133	-0.261	1.000	0.171	0.133	-0.146	-0.074	0.898
Dfru	-0.104	-0.022	-0.022	0.060	0.171	1.000	0.729	-0.446	0.132	0.545
Pfru	-0.079	-0.011	0.025	0.002	0.133	0.729	1.000	-0.381	0.103	0.405
Cfru	0.097	0.032	-0.041	0.128	-0.146	-0.446	-0.381	1.000	-0.214	-0.276
Gbrx	-0.125	-0.048	-0.181	0.044	-0.074	0.132	0.103	-0.214	1.000	-0.032
Rtot	-0.018	0.276	0.112	-0.205	0.898	0.545	0.405	-0.276	-0.032	1.000

nhoj = número de hojas, nflr = número de flores, dcor = diámetro de la corona, nest = número de estolones, nfru = número de frutos, dfriu = diámetro de frutos, pfru = peso de frutos, cfriu = calidad de frutos, gbrx = sólidos solubles totales, rtot = rendimiento de frutos.

En cuanto al rendimiento acumulado de fresa los factores variedades, densidad y nivel de elevación, se tiene una tendencia favorable para la variedad Festival. Este comportamiento del rendimiento se presentó tanto en g planta⁻¹ como en kg m⁻² (Cuadro 7). De acuerdo con lo reportado por Fernández *et al.* (2001) no encontró correlación entre el rendimiento de tres variedades de fresa en el norte de Carolina E.U. con el número de hojas por planta, lo cual concuerda con lo encontrado en este ensayo en el cual existieron diferencias entre número de hojas pero no en rendimiento.

El rendimiento más alto, por planta fue de 492 g menor a lo reportado por Menzel y Smith (2014) a cielo abierto durante 4 meses y medio de producción, alcanzando de 650 a 960 g planta⁻¹ con la variedad Festival en Australia. A diferencia

de Karimi *et al.* (2013) que alcanzó un rendimiento de 281.8 g planta⁻¹ comparando tres sistemas de producción con la misma variedad (Festival) menor a lo registrado en este ensayo.

Cuadro 7. Rendimiento acumulado de fresa en peso por planta y por metro cuadrado por efecto del nivel de elevación de las macetas verticales, dos variedades y dos densidades de plantas en un sistema vertical.

Factor/Nivel	Rendimiento de frutos	
	g planta ⁻¹	kg m ⁻²
Variedades	ns	ns
Festival	486.04	22.8
San Andrea	447.26	21.0
Densidades	ns	ns
3	482.02	22.6
4	454.70	21.3
Elevaciones	ns	ns
Alto	492.74	23.1
Medio	490.94	23.1
Bajo	425.33	20.0

ns= No significativo. Prueba de Duncan $\alpha=0.05$.

2.4 Conclusiones

La variedad Festival mostró ser la que tiene mejor desarrollo en diámetro de la corona. En cuanto rendimiento Festival mostró una ligera tendencia a ser mejor que San Andreas.

La densidad de plantación no mostró diferencias entre tres y cuatro plantas por maceta para ninguna de las variables en estudio.

En el factor nivel de elevación mostró diferencias entre los tres niveles de elevación al inicio del ciclo del cultivo, pero no mostró ser decisivo para que existieran diferencias en las demás variables estudiadas.

El rendimiento por metro cuadrado de ambas variedades fue de 16 kg m^{-2} , concluyendo que el sistema de macetas vertical tiene un buen rendimiento promedio por m^{-2} , mayor que los sistemas tradicionales a campo abierto.

2.5 Literatura citada

- Benke, K. and T. Bruce. 2017. Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture, *Sustainability: Science, Practice and Policy*. 13.1:13-26.
- Bianchi P.G. 1999. *Guía complete del cultivo de la fresa*. España: Ed. De Vecchi.
- Cantliffe, D.J., Castellanos, J.Z. and Paranjpe, A.V. 2007. Yield and quality of greenhouse-grown strawberries as affected by nitrogen level in coco coir and pine bark media. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 120:157-161.
- Caruso, G., Villari, G., Melchionna, G. and Conti, S. 2011. Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. *Sci. Hortic.* 129:479–485.
- Casierra-Posada, F., I.D.Torres and D.H. Riascos Ortiz. 2012. Crecimiento en plantas de fresa parcialmente defoliadas cultivadas en los altiplanos tropicales. *Revista UDCA.* 15 (2): 349-355.
- Depardieu, C., Prémont, V., Boily, C. and Caron, J. 2016. Sawdust and bark-based substrates for soilless strawberry production: irrigation and electrical conductivity management. *PloS one.* 11(4).
- Despommier, D. 2010. *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. New York: Picador.
- Eurosemillas. 2018. 20 April 2018. <<http://www.eurosemillas.com/es/>>.
- FAO. 2017. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. 22 April 2018. <<http://faostat3.fao.org2>>
- Frazier, I. 2017. "The Vertical Farm." *The New Yorker*, 9 January.

- Fernández G.E., L.M. Butler and F.J. Louws. 2001. Strawberry growth and development in an annual plasticulture system. *HortScience*. 36: 1219–1223.
- Furlani, P.R. and Junior, F.F. 2007. Hidroponía vertical para la producción de fresa. Universidad Estatal de Campiñas Sao Pablo, Brasil.
- Grijalba, C.M., M.M. Pérez-Trujillo, D. Ruiz and A.M. Ferrucho. 2015. Strawberry yields with high-tunnel and open-field cultivations and the relationship with vegetative and reproductive plant characteristics. *Agronomía Colombiana*, 33(2): 147-154.
- Hewitt, E. J. and T.A. Smith. 1974. *Plant mineral nutrition*. English Universities Press Ltd.
- Hidaka, K., Dan, K., Imamura, H. and Takayama, T. 2017. Crown-cooling treatment induces earlier flower bud differentiation of strawberry under high air temperatures. *Environmental Control in Biology*. 55:21-27
- Jones, J. 2016. *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Karimi, F., Arunkumar, B., Asif, M., Murthy, B. and Venkatesha, K. 2013. Effect of different soilless culture systems on growth, yield and quality of strawberry cv. STRAWBERRY FESTIVAL. *International Journal of Agricultural Sciences*. 9:366-372.
- Kratky, B.A. 2005. Growing lettuce in three non-aerated, non-circulated hydroponic systems. *J. Vegetable Crop Prod*. 11(2), 35-41.
- Ledesma, N., and N. Sugiyama. 2005. Pollen quality and performance in strawberry-plants exposed to high-temperature stress. *J. Am. Soc. Hortic. Sci*. 130:341–347.

- Ledesma, N., and S. Kawabata. 2016. Responses of two strawberry cultivars to severe high temperature stress at different flower development stages. *Scientia Horticulturae*. 211: 319-327.
- Menzel, C. M., and L. Smith. 2014. The growth and productivity of 'Festival' strawberry plants growing in a subtropical environment. *New Zealand journal of crop and horticultural science*. 42(1): 60-75.
- Miyoshi, Y., K. Hidaka, T. Okayasu, O. Hirano, D. Yasutake, M. Kitano. 2013. Application of the constant soil temperature layer for energy-saving control of the local environment of greenhouse crops. I. Local control of the ambient environment of strawberry. *Environ. Control Biol*. 51: 89-94.
- Ozeker, E., R.Z. Eltez, Y. Tuzel, Gula, K. Onal, A. Tanrysever. 1999. Investigation on the effects of different growing media on the yield and quality of strawberries grown in vertical bags. *Acta Hort.*, 486: 409-414.
- Radin, B., B.B. Lisboa, S. Witter, V. Barni, C. Reisser-junior, R. Matzenauer, M.H. Fermino. 2011. Desempenho de quatro cultivares de morangueiro em duas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul. *Hort. Brasileira* 29:287-291.
- Resh, H. M. (2001). *Cultivos hidroponicos* (5a ed.).
- SAGARPA Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2018. 22 April 2018. <<http://www.gob.mx/sagarpa>>
- Sánchez del Castillo, F., L. González-Molina, E.D.C. Moreno-Pérez, J. Pineda-Pineda, and C.E. Reyes-González. 2014. Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Rev. Fitotec. Mex.* 37(3): 261-269.
- SIAP. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. 2017. 22 June 2017. <<https://www.gob.mx/siap>>.

CONCLUSIONES GENERALES

Los sistemas hidropónicos piramidal y vertical, para el caso del cultivo de fresa, muestran un aumento en la producción y mejoran la calidad de los frutos, respecto de los sistemas tradicionales de cultivo en suelo, ya que se incrementa de manera importante los rendimientos por unidad de superficie.

El sistema hidropónico en macetas vertical demostró ser más productivo y más estable en comparación con el sistema hidropónico piramidal.

RECOMENDACIONES

- La producción de fresa en México ha aumentado bajo el sistema de producción actual. Sin embargo es necesario seguir trabajando en sistemas de producción con media o alta tecnología en fresa, como los sistemas piramidal y vertical que permitan el incremento de rendimientos y calidad.
- En los sistemas intensivos de producción de fresa en invernadero (sistemas piramidal y vertical) es necesario seguir investigando aspectos como la intensidad y la duración de la incidencia de la radiación solar.
- Es necesario evaluar el efecto de la poda en el cultivo de la fresa.

ANEXOS

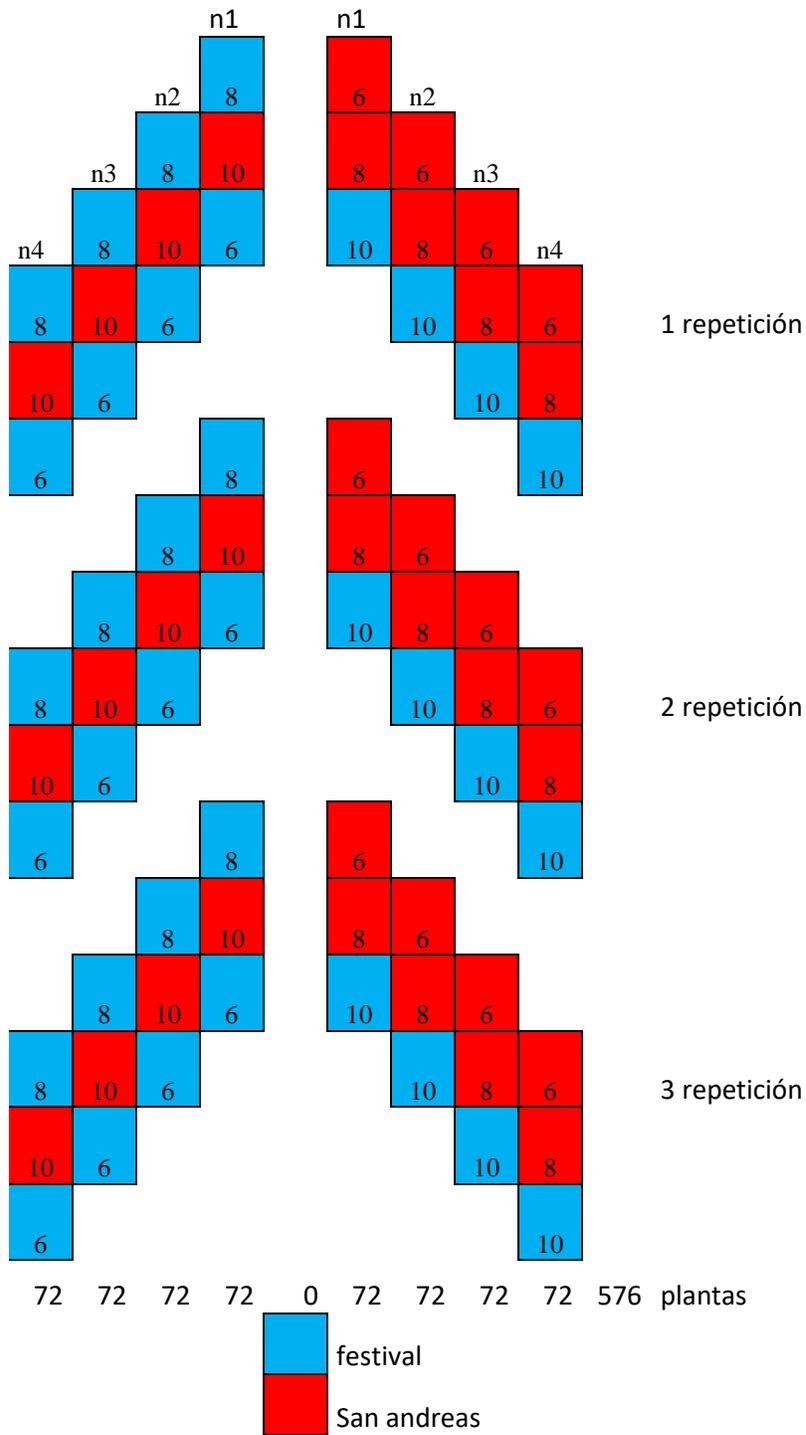


Figura 1 A. Croquis del sistema piramidal

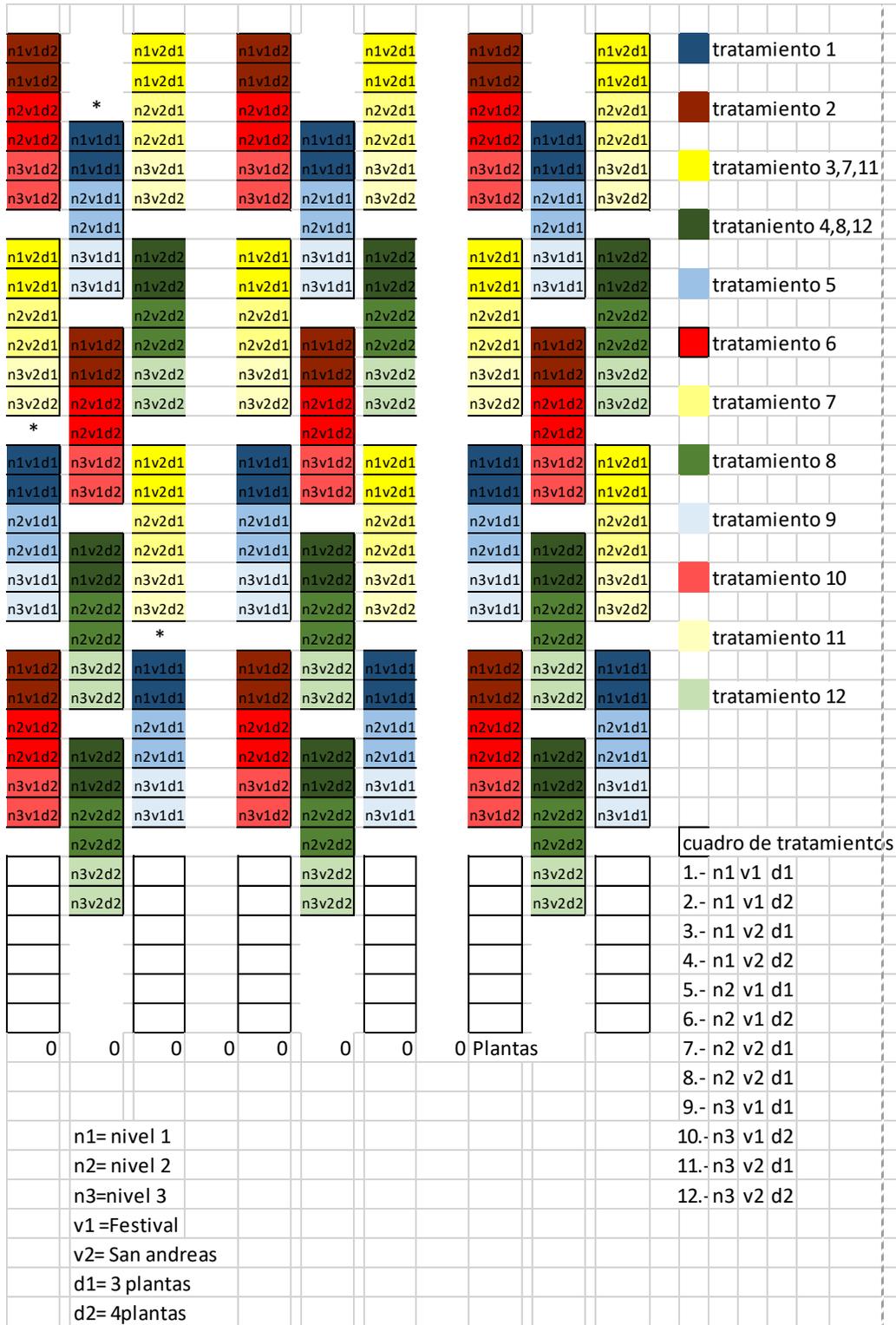


Figura 2 A. Croquis del sistema de macetas