

Cultivo de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) en sistemas hidropónicos con mezclas de sustratos

Strawberry crop (*Fragaria ananassa* Duch.) in hydroponic systems with substrate mixtures

Luis Cerero Cruz ^{1,3}, Vicente Arturo Velasco Velasco ^{1,4}, Manuel Sandoval Villa ^{2,5}, Judith Ruiz Luna ^{1,6}, José Raymundo Enríquez del Valle ^{1,7}.

¹Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México. ²Colegio de Postgraduados. México. ³✉ m21920201@voaxaca.tecnm.mx; ⁴✉ vicente.vv@voaxaca.tecnm.mx; ⁵✉ smanuel@colpos.mx; ⁶✉ judith.rl@voaxaca.tecnm.mx; ⁷✉ jose.ev@voaxaca.tecnm.mx



<https://doi.org/10.15446/acag.v72n1.110426>

2023 | 72-1 p 70-77 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2023-08-03 Acep.: 2023-09-07

Resumen

El cultivo de fresa puede establecerse en campo abierto o bajo condiciones controladas, mediante invernaderos, macrotúneles y sistemas hidropónicos. Estos últimos permiten obtener productos de mejor calidad y aumentar la eficiencia del uso de agua y fertilizantes. Existen diversos diseños de sistemas hidropónicos y sustratos en los que se han evaluado cultivos hortícolas para hacer eficiente el uso del espacio con resultados limitados para algunos sistemas. El propósito de este estudio fue evaluar variables agronómicas que influyen en el crecimiento de plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) variedad Albión, en tres sistemas hidropónicos con 4 mezclas de sustratos en invernadero. Se estableció un diseño experimental completamente aleatorio con arreglo factorial 3 x 4, esto es, 3 sistemas hidropónicos (piramidal, vertical y horizontal) y 4 mezclas de sustratos (fibra de coco+turba+perlita; fibra de coco; fibra de coco+perlita; y olote). Igualmente, se aplicó solución nutritiva de Steiner al 100 % en sistema cerrado. En el sistema horizontal, la biomasa (16.71 g), la altura de planta (20.04 cm), el diámetro de corona (21.40 mm), el número de hojas (17.72) y de coronas (4.51), el volumen de raíz (14.05 ml) y el área foliar (603.09 cm²) mostraron significativamente (Duncan, $p \leq 0.05$) mayores valores respecto a los sistemas vertical y piramidal. La mezcla fibra de coco + turba + perlita mostró considerablemente el valor más alto de las variables evaluadas. Las plantas de fresa expresaron su mayor crecimiento y desarrollo vegetativo en el sistema hidropónico horizontal con la mezcla de fibra de coco+turba+perlita.

Palabras clave: área foliar, biomasa, calidad, crecimiento, rendimiento.

Abstract

Strawberry cultivation can be established in the open field or under controlled conditions, using greenhouses, macro-tunnels and hydroponic systems. Hydroponic systems present advantages as the obtention of better-quality products and the increase of the water and fertilizer use efficiency. The purpose of this research was to evaluate agronomic variables that influence the growth of strawberry plants (*Fragaria ananassa* Duch.) of the variety Albion in three hydroponic systems with four substrate mixtures in greenhouses. A completely randomized experimental design was established with a 3 x 4 factorial arrangement, that is, 3 hydroponic systems (pyramidal, vertical and horizontal) and 4 substrate mixtures (coconut fiber+peat+perlite; coconut fiber; coconut fiber+perlite; and olote). Steiner's 100 % nutrient solution was applied in closed systems. A daily irrigation was made, renewing the solution every 7 days. In the horizontal system, biomass (16.71 g), plant height (20.04 cm), crown diameter (21.40 mm), number of leaves (17.72) and crowns (4.51), root volume (14.05 ml) and leaf area (603.09 cm²) showed significantly (Duncan, $p \leq 0.05$) higher values with respect to the vertical and pyramidal systems. The mixture of coconut fiber+peat+perlite showed the highest values of all the variables evaluated. Strawberry plants expressed their greatest growth and vegetative development in the horizontal hydroponic system and with the mixture of coconut fiber+peat+perlite.

Keywords: biomass, growth, leaf area, quality, yield.

Introducción

La fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) es un cultivo importante por su alto nivel de consumo, sabor y aportaciones nutrimentales. En México, el 95 % de la superficie total sembrada con fresa se localiza en Michoacán, Guanajuato y Baja California (SIACON, 2023). El cultivo puede establecerse en campo abierto o bajo condiciones controladas mediante invernaderos, macrotúneles, sustratos y sistemas hidropónicos; en el primero, el rendimiento puede llegar a 26 t ha⁻¹, mientras que en hidroponía hasta 80 t ha⁻¹. Además, este ofrece la ventaja de aprovechar sitios que no cuentan con las características ideales (clima, espacio y manejo) para la producción agrícola, la obtención de productos de mejor calidad y el aumento de la eficiencia en el uso de agua y fertilizantes. En hidroponía, el agua y los minerales se suministran a través de soluciones nutritivas, con o sin un medio de cultivo (Goddek *et al.*, 2019). El sustrato tiene las funciones de almacenar y mantener disponibles los minerales, proporcionar soporte físico (Beltrano *et al.*, 2015) y protección al sistema radical de la planta, por lo que se considera un factor importante para el éxito de los cultivos en contenedores.

Por otro lado, algunos sustratos que se utilizan para la producción de hortalizas son: carbón-biochar, corteza de pino, aserrín, fibra de coco y turba (Yang *et al.*, 2022), y mezclas de estos materiales con otros inorgánicos (López *et al.*, 2020), que por sus propiedades físicas, químicas y biológicas presentan diferentes periodos de degradación microbiológica, lo cual está relacionado con su naturaleza recalcitrante (Awad *et al.*, 2017). Se han reportado evaluaciones de diferentes sustratos y mezclas en diferentes proporciones para el cultivo de fresa, para obtener plántulas (Juárez *et al.*, 2019) y para obtener frutas de calidad (Juárez, *et al.*, 2007).

Para el cultivo de fresa en México, se han hecho estudios de sistemas hidropónicos en los que se ha evaluado el nivel en que se ubican las plantas (Alvarado *et al.*, 2020) con diferentes sustratos. Por lo anterior, el propósito de este estudio fue evaluar el efecto del sistema hidropónico y los sustratos en variables agronómicas inherentes al crecimiento en plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) variedad Albión.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en un invernadero tipo túnel de 100 m², cubierto con plástico color blanco (lechoso) y malla antiáfidos en los costados a una altura de 2 m, con ventilación natural; estuvo orientado de este-oeste y localizado en el municipio de la Villa

de Zaachila del Estado de Oaxaca, México, con coordenadas de 16°57'02' LN y 96°45'02' LO, a una altitud de 1506 m s. n. m. Este lugar presenta un clima templado húmedo (C) con lluvias en verano (w) (García, 2004) y con precipitación de 600 a 800 mm (Vásquez y Rodríguez, 2018).

Material vegetal

Se utilizaron plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) variedad Albión de 28 días al trasplante en cepellón con turba, y tratada con fungicida a base de N-triclorometiltio-4-ciclohexeno-1.2- dicarboximida, cuya altura promedio fue de 10 cm y 2 a 3 hojas completamente extendidas.

Diseño experimental

Se estableció un diseño experimental completamente aleatorio, con arreglo factorial incompleto 3 x 4, con el factor tipo de sistema hidropónico en 3 niveles: piramidal, vertical y horizontal. El factor tipo de sustrato se trabajó en 4 niveles: fibra de coco+turba+perlita (2:1:1); fibra de coco (1); fibra de coco+perlita (1:1); y olote (1). En el tratamiento "horizontal-olote" no se obtuvieron datos, por lo que se generó un arreglo factorial incompleto con 11 tratamientos. Se consideraron 4 repeticiones. La unidad experimental estuvo formada por 3 plantas.

Sustratos

A los materiales fibra de coco y olote se les aplicó un lavado con agua corriente antes de llenar los contenedores, para ajustar así su conductividad eléctrica (CE) a 1.5 dS m⁻¹ (Hanna, modelo 98130).

Instalación de los sistemas hidropónicos

Para el sistema hidropónico vertical se utilizaron 5 macetas de plástico de 20 x 20 cm por 18 cm de profundidad. Las macetas se apilaron verticalmente, y la parte central de las macetas se perforó, para colocar un tubo (1.5") de policloruro de vinilo (PVC) de 1.6 m de altura, que quedó fijo en el suelo para asegurar la estabilidad de la columna. Las macetas se apilaron de tal manera que las esquinas quedaron libres para colocar una planta (Figura 1).

En la parte superior de la columna se colocó la cintilla de riego con un gotero y distribuidor de cuatro salidas. Luego, en los extremos del distribuidor se acopló una extensión de microtubo que suministró la solución nutritiva a las 4 macetas superiores; la última (inferior) se regó por escurrimiento de las 4 macetas superiores.

El sistema hidropónico piramidal se construyó con 6 canaletas (tubos de PVC de 4") de 2.6 m de longitud colocadas horizontalmente con una pendiente de 2 % (Figura 2). Los extremos de cada tubo se sellaron con



Figura 1. Sistema hidropónico vertical.

tapas elaboradas del mismo material. A lo largo del tubo en la parte superior se realizaron perforaciones de 5 cm de diámetro espaciadas cada 20 cm, en los que se sembró cada planta. Los 2 niveles inferiores se colocaron a una altura de 0.50 m y el tercer nivel a 1.00 m. En la tapa del extremo del nivel inferior de cada tubo se realizó una perforación de 1.8 cm de diámetro, donde se puso un conducto para drenar la solución nutritiva hacia el depósito.

El sistema horizontal se construyó con 8 contenedores (tubos de PVC de 4") de 2.60 m de longitud con perforaciones circulares de 5 cm de diámetro y 20 cm de distancia entre ellas (Figura 3). Posteriormente, fueron acomodados por pares sobre una base de 1.00 m de altura con una pendiente de 2 %; la distancia entre cada par fue de 0.20 m, y en cada perforación se estableció una planta.

Después de la instalación de cada sistema hidropónico y del acondicionamiento de los sustratos, se llenaron los contenedores con las mezclas a evaluar y al final se realizó un riego con agua corriente.

Fertirriego

El sistema de riego se formó con un depósito con capacidad de 200 l para la solución nutritiva, una bomba eléctrica de 0.5 hp (Hyundai) para succión y una línea de distribución con cintilla de riego de 16 mm. La solución nutritiva utilizada para todos los tratamientos fue la solución universal de Steiner (1984) al 100 %, (12.0 me l⁻¹ de NO₃⁻, 1.0 me l⁻¹ de



Figura 2. Sistema hidropónico piramidal.

H₂PO₄⁻, 7.0 me l⁻¹ de SO₄⁻, 7.0 me l⁻¹ de K⁺, 9.0 me l⁻¹ de Ca²⁺ y 4.0 me l⁻¹ de Mg²⁺), para los micronutrientes con base en la metodología propuesta por Hewitt (1966). El suministro de solución nutritiva se realizó mediante líneas de distribución con cintilla de riego de 16 mm, con goteros cada 20 cm, de donde se distribuía de forma individual para cada planta. Cada semana se renovó la solución nutritiva y se aplicó un riego de lavado al sistema con agua corriente. Los riegos se realizaron diariamente previo ajuste de la solución a pH 5.5.

Registro de variables

Transcurridas 28 semanas desde del trasplante, se registraron los siguientes datos por planta: altura, desde la base de la corona hasta la hoja más alta con un flexómetro; diámetro de la corona con un vernier digital; número de hojas; y número de coronas. El volumen de la raíz se determinó por desplazamiento de agua con una probeta de cristal de 1.0 l, previo lavado con abundante agua para evitar residuos de sustratos. Además, se registró la longitud de la raíz, desde la base de la corona hasta el extremo con mayor longitud; y el área foliar con el software IMAGEJ 1.53t a partir imágenes digitales. También se determinó la biomasa al registrar el peso fresco con una balanza analítica, después se colocaron las muestras dentro de una estufa de convección (Memmert modelo 100-800), donde se mantuvieron a 70 °C hasta peso constante, para determinar el peso seco.



Figura 3. Sistema hidropónico horizontal.

Para el registro de las variables ambientales (humedad relativa y temperatura), se utilizó un registrador de datos (Hobo connect), que se programó para registrar los datos cada hora a partir de la fecha del establecimiento del cultivo.

Análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete computacional Statistical Analysis System® (SAS versión 9.4), se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Shapiro-Wilk y Bartlett ($\alpha = 0.05$), respectivamente. Al no cumplir con los supuestos, las variables altura, diámetro y número de coronas, número de hojas, volumen y longitud de raíz se transformaron a $\log(x)$. Se realizaron los análisis de varianza correspondientes y se efectuó la prueba de medias de Duncan ($p \leq 0.05$). Se hicieron análisis de correlación de Pearson (r), se obtuvieron los modelos de regresión y los coeficientes de determinación (R^2) para las variables en estudio.

Resultados y discusión

Variables ambientales

La temperatura osciló entre 21.28 a 25.43 °C durante el periodo evaluado del cultivo. La humedad relativa en el sitio fue de 51.63 a 71.83 %; los registros cambiaron gradualmente de acuerdo con la época del año. Mohan *et al.* (2019) mencionan que los valores óptimos para el cultivo de fresa son de 25 °C a 30 °C. Las plantas muestran su mejor crecimiento de hojas y peciolas a los 25 °C. Las temperaturas más altas afectan el proceso fotosintético y aceleran la maduración, lo que puede reducir la duración del ciclo productivo del cultivo.

Crecimiento vegetativo

Los análisis de varianza para los factores sistemas hidropónicos, sustratos y sus interacciones mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para biomasa, altura y número de coronas. El diámetro de corona presentó diferencia significativa para el sustrato y la interacción sustrato-sistema hidropónico. El volumen de raíz tuvo diferencias significativas para el sistema hidropónico y para el sustrato, pero no para su interacción. El número de hojas y área foliar fueron significativas para el sustrato; a su vez, la longitud de la raíz solo lo fue para sistema hidropónico.

Los resultados indican que el factor tipo de sustrato presentó mayor diferencia significativa en todas las variables, a excepción de la longitud de raíz. Esto se puede deber a sus propiedades físicas (porosidad, capacidad de retención de humedad, densidad, etc.) y químicas (pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, etc.), que influyen en la disponibilidad de nutrientes, temperatura de sustrato y oxigenación para el crecimiento de las plantas (Martínez y Roca, 2011).

Las plantas de fresa que se establecieron en los tratamientos horizontal-fibra de coco; vertical-fibra de coco + perlita; y horizontal - fibra de coco + turba + perlita presentaron los valores más altos en biomasa sin diferencia significativa entre ellos (Duncan, $p \leq 0.05$). La mayor altura se obtuvo en el sistema horizontal-fibra de coco y además presentó diferencia significativa respecto a los demás tratamientos. El mayor diámetro de corona lo presentaron los 3 sistemas evaluados con el sustrato fibra de coco + turba + perlita. El mayor número de hojas se obtuvo en el sistema hidropónico horizontal con el sustrato fibra de coco + turba + perlita.

Los resultados indican que el tratamiento horizontal-fibra de coco + turba + perlita presentó los valores más altos, con diferencia significativa para biomasa (21.9 ± 5.8), número de hojas

(28.2±7.5), volumen de raíz (21.3±3.8), y área foliar (1004.8±283.9). Lo anterior pudo deberse a que los factores ambientales como la intensidad lumínica, la calidad de luz, el fotoperiodo, la temperatura, la disponibilidad de agua y los nutrientes fueron favorables. El número de hojas es una variable importante, ya que en la parte superior de cada hoja existe una yema axilar que puede generar coronas laterales o estolones (Kirschbaum, 2021).

El tratamiento horizontal-fibra de coco presentó el mayor número de coronas (7.0±0.0), lo cual es favorable para el rendimiento, ya que cada corona que se forma produce sus propias inflorescencias y frutos. Mohan *et al.* (2019) atribuyen el aumento de coronas a los días cortos y frescos y al tamaño de la copa, por lo que un número adecuado de coronas puede ser menor a 6 coronas por planta.

Efecto del tipo de sistema hidropónico

El sistema hidropónico horizontal mostró en todas las variables evaluadas los valores mayores, seguido por el sistema vertical y piramidal; sin embargo, con diferencias significativas en biomasa (Duncan, $p \leq 0.05$), número de coronas, volumen de raíz y área foliar (Tabla 1). Estos resultados pudieron deberse a que las plantas del sistema horizontal se encontraban a una misma altura. Al respecto, Van Os *et al.* (2019) describen que, por el diseño de los sistemas hidropónicos, las plantas que se encuentran en niveles inferiores reciben menos luz, y como consecuencia el comportamiento del crecimiento no es homogéneo. Además, colocar las plantas arriba del nivel del suelo permite una mejor circulación del aire y reduce la incidencia de enfermedades, por lo que en los diseños hidropónicos de esta investigación se modificaron el número de niveles.

Tabla 1. Efecto del factor tipo de sistema hidropónico en variables agronómicas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) en la variedad Albión

Variable	Sistemas hidropónicos		
	Horizontal	Vertical	Piramidal
Biomasa (g)	16.71±4.92 a	9.16±2.41 b	7.40±1.86 b
Altura (cm)	20.04±3.44 a	17.56±1.36 ab	15.15±1.89 b
DCorona (mm)	21.40±4.85 a	18.12±3.13 a	16.36±2.21 a
NHojas	17.72±6.42 a	11.42±2.09 ab	10.04±2.22 b
NCoronas	4.51±1.69 a	2.21±0.24 b	1.77±0.34 b
VRaíz (mL)	14.05±4.15 a	5.91±1.31 b	8.31±1.68 b
LRaíz (cm)	11.41±0.87 b	17.08±1.07 a	12.81±0.79 b
AFoliar (cm ²)	603.09±243.38 a	285.32±81.33 b	272.38±91.38 b

*Los datos con letras distintas dentro de cada fila presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p \leq 0.05$). La media se acompaña de error estándar (\pm). DCorona= diámetro de corona; NHojas= número de hojas; NCoronas= número de coronas; VRaíz= volumen de raíz; LRaíz= longitud de raíz; AFoliar= área foliar.

La longitud de raíz fue significativamente mayor en el sistema vertical (Duncan, $p \leq 0.05$) respecto a los sistemas horizontal y piramidal. Este resultado puede deberse a que los recipientes del sistema vertical (macetas de 20 x 20 x 18 cm) duplicaron en altura a los recipientes de los sistemas piramidal y horizontal (tubos PVC 4" de diámetro).

El número de hojas en el sistema horizontal fue de 17.72±6.42, es decir, superior al sistema vertical que presentó 11.42±2.09 y al sistema piramidal, que tuvo 10.04±2.22. El valor de esta variable en el sistema piramidal fue similar a lo que reportaron Alvarado *et al.* (2020) 30 semanas después de su trasplante, con 13 hojas por planta en el estrato más alto de un sistema piramidal a una altura de 2 m.

Efecto del sustrato

Las plantas establecidas en la mezcla fibra de coco+turba+perlita mostraron los valores significativamente más altos para las variables biomasa, número de hojas, volumen de raíz y área foliar, similar a lo reportado por Juárez *et al.* (2019), quienes, al utilizar turba, obtuvieron mayores valores de altura de planta y número de hojas en comparación con otros sustratos.

En los sustratos a base de fibra de coco+turba+perlita y fibra de coco comercial, el número de coronas fue significativamente mayor respecto a los sustratos fibra de coco+perlita y olote (Tabla 2).

El volumen de raíz presentó el valor más alto en el sustrato a base de fibra de coco+turba+perlita, posiblemente debido a su capacidad de retención y hacer fácilmente disponible la solución nutritiva, condiciones que favorecen el crecimiento de raíces primarias y ramificadas (Kubota, 2019; Ellis *et al.*, 2006). Los valores más bajos los presentó el sustrato olote (1.51±0.16), seguido de la fibra de coco (7.05±0.86) y el sustrato a base de fibra de coco+perlita (6.25±1.37), en estos 2 últimos sustratos no hubo diferencia significativa. Los resultados sugieren que estos sustratos no permiten una buena retención de humedad; por su parte, García *et al.* (2019) demostraron que la fibra de coco presentó mayor demanda de riegos para mantener una humedad del 80 %.

La longitud de raíz no presentó diferencias significativas entre los sustratos, esto puede deberse a que los sustratos brindaron la suficiente porosidad para que esta parte de la planta creciera, como lo reportan similarmente Juárez *et al.* (2019) en los sustratos pumita, perlita+turba a los 72 días después de plantado el cultivo de fresa.

El área foliar presentó diferencia significativa en el sustrato a base de fibra de coco+turba+perlita (Duncan, $p \leq 0.05$), con el mayor valor (762.41±114.48 cm²), esto representa 68.3 % más área foliar que el obtenido en el sustrato con fibra de coco+perlita; 85 % más

Tabla 2. Efecto del factor tipo de sustrato en variables agronómicas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) variedad Albión

Variable	Sustratos			
	FC+T+P	FC+P	FC	Oloste
Biomasa(g)	17.25±2.21 a	14.25±5.19 a	6.18±3.17 b	1.95±0.11 b
Altura (cm)	22.68±0.47 a	17.52±2.41 b	17.11±2.91 b	9.83±0.91 c
DCorona (mm)	28.08±2.07 a	21.47±2.50 b	13.07±1.99 c	7.48±0.74 c
NHojas	22.10±2.96 a	11.20±1.82 b	7.78±1.34 b	3.16±0.42 b
NCoronas	3.25±0.30 a	2.17±0.18 b	3.45±1.79 a	1.03±0.03 b
VRaíz (mL)	15.79±1.85 a	7.05±0.86 b	6.25±1.37 b	1.51±0.16 c
LRaíz (cm)	13.70±1.26 a	13.27±1.15 a	15.81±1.65 a	14.17±1.25 a
AFoliar (cm ²)	762.41±114.48 a	241.75±65.05 b	121.51±19.85 b	25.86±3.58 b

*Los datos con letras distintas en la misma fila presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p \leq 0.05$). La media se acompaña de su error estándar (\pm). FC= fibra de coco; T= turba; P= perlita. DCorona= diámetro de corona; NHojas= número de hojas; Ncoronas= número de coronas; VRaíz= volumen de raíz; LRaíz= longitud de raíz; AFoliar= área foliar.

Tabla 3. Correlaciones, modelos de regresión y coeficientes de determinación entre las variables evaluadas

Variables	Correlación	Modelo de regresión	r ²
Biomasa-Altura	0.8664	$Y = -0.016 x^2 + 0.4007 x + 2.1055$	0.7517
Biomasa-Dcorona	0.9055	$Y = -0.0529 x^2 + 0.7286 x + 1.6311$	0.8249
Biomasa-Nhojas	0.8499	$Y = 0.014 x^2 + 0.6537 x + 0.9071$	0.7226
Biomasa-Ncoronas	0.8213	$Y = 0.043 x^2 + 0.3417 x - 0.1232$	0.6777
Biomasa-Vraíz	0.8622	$Y = -0.0671 x^2 + 0.604 x - 0.0561$	0.7590
Biomasa-Lraíz	-0.1300	$Y = -0.0368 x + 2.6856$	0.0195
Biomasa-Afoliar	0.8857	$Y = -0.0929 x^2 + 1.5414 x + 2.6428$	0.7873
Altura-Dcorona	0.8149	$Y = 1.2209 x - 0.6522$	0.6641
Altura-Nhojas	0.8101	$Y = -0.5065 x^2 + 4.4128 x - 6.0794$	0.6625
Altura-Ncoronas	0.7629	$Y = 1.7628 x^2 - 8.283 x + 9.8062$	0.7217
Altura-Vraíz	0.7813	$Y = 0.0548 x^2 + 0.5319 x - 1.1532$	0.6107
Altura-Lraíz	0.0624	$Y = 2.4965 e^{0.0151x}$	0.0032
Altura-Afoliar	0.873	$Y = 0.8198 x^{1.7606}$	0.7732
Dcorona-Nhojas	0.9064	$Y = 0.224 x^2 + 0.0967 x + 0.1468$	0.8315
Dcorona-Ncoronas	0.7937	$Y = 0.1006 x^2 + 0.2855 x - 0.8735$	0.6337
Dcorona-Vraiz	0.8667	$Y = 0.0499 x^2 + 0.3508 x - 0.5991$	0.7532
Dcorona-Lraíz	-0.0031	$Y = 0.0398 \ln(x) + 2.58$	0.0013
Dcorona-Afoliar	0.9334	$Y = 0.2091 x^2 + 1.0485 x + 0.5488$	0.8746
Nhojas-Ncoronas	0.7341	$Y = 0.0069 x^2 + 0.5082 x - 0.4451$	0.5390
Nhojas-Vraiz	0.8395	$Y = 0.4237 x - 0.1692$	0.7048
Nhojas-Lraíz	0.0594	$Y = 2.5681 e^{0.0062x}$	0.0024
Nhojas-Afoliar	0.9502	$Y = 0.0641 x^2 + 1.2918 x + 1.8985$	0.9042
Ncorona-Vraíz	0.7752	$Y = -0.31 x^2 + 1.1154 x + 0.2518$	0.7604
Ncoronas-Lraíz	-0.1880	$Y = -0.0819 x + 2.6751$	0.0355
Ncoronas-Afoliar	0.7311	$Y = 1.6405 x + 3.9041$	0.5345
Vraíz-Lraíz	-0.1528	$Y = -0.0963 x + 2.6904$	0.0234
Vraíz-Afoliar	0.8865	$Y = 2.8821 x + 2.8869$	0.786
Lraíz-Afoliar	-0.0155	$Y = -0.0802 x + 5.2436$	0.0002

*DCorona= diámetro de corona; NHojas= número de hojas; Ncoronas= número de coronas; VRaíz= volumen de raíz; LRaíz= longitud de raíz; AFoliar= área foliar.

que en la fibra de coco comercial; y 96.6 % más que en olote. El área foliar y el número de hojas son importantes debido a que en las hojas es donde la planta realiza la fotosíntesis (Rodríguez *et al.*, 2019) y se generan la sacarosa y el almidón (Nakai *et al.*, 2022). Medina *et al.* (2016) señalan que, a mayor área foliar, es mayor el aprovechamiento de la energía lumínica, lo que se refleja en la cantidad de fotoasimilados generados, los cuales son translocados a órganos de las plantas (León *et al.*, 2021), como los frutos, raíces (Aluko *et al.*, 2021) y otras estructuras de almacenamiento que influyen en el rendimiento del cultivo (Hidaka *et al.*, 2019). La respuesta a un número menor de hojas repercute en el rendimiento, como lo reportan Vázquez *et al.* (2022), cuyas plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) que fueron defoliadas disminuyeron en 17 % su producción.

Correlaciones

La variable longitud de raíz mostró correlaciones < a 0.2 positivas y negativas con las variables evaluadas; las correlaciones de las otras variables fueron > a 0.7 (Tabla 3).

Todas las variables de crecimiento evaluadas, a excepción de la longitud de raíz, presentaron una correlación alta ($r \geq 0.73$). La correlación más alta la presentó el área foliar-número de hojas, seguida por el diámetro de corona-área foliar.

Conclusiones

El sustrato es un elemento que influye significativamente en el establecimiento de cultivos hidropónicos, sus propiedades físicas y químicas participan en el desarrollo vegetativo de las plantas de fresa. La mezcla recomendable para un mayor número de coronas y asegurar la mayor producción de inflorescencias, y por consecuencia frutos, se obtuvo integrando fibra de coco+turba+perlita (2:1:1).

El sistema hidropónico con un diseño horizontal favoreció el crecimiento en área foliar, número de hojas y número de coronas al recibir mayor luz y circulación de aire en las plantas.

Referencias

- Aluko, O. O.; Li, C.; Wang, Q. y Liu, H. (2021). Sucrose utilization for improved crop yields: A review article. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 1-29. <https://doi.org/10.3390/ijms22094704>
- Alvarado, C. J. A.; Gómez, G. A.; Lara, H. A.; Díaz, P. J. C. y García, H. E. J. (2020). Rendimiento y calidad de fruto de fresa cultivada en invernadero en sistema hidropónico piramidal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8). <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2460>
- Awad, Y. M.; Lee, S. E.; Ahmed, M. B. M.; Vu, N. T.; Farooq, M.; Kim, I. S.; Kim, H. S.; Vithanage, M.; Usman, A. R. A.; Al-Wabel, M.; Meers, E.; Kwon, E. E. y Ok, Y. S. (2017).

- Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. *Journal of Cleaner Production*, 156, 581-588. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.070>
- Beltrano, J.; Giménez, D. O. y Ruscitti, M. F. (2015). Cultivo en hidroponía. En *Cultivo en hidroponía* (1a. ed. adaptada). Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata.
- Ellis, M. A.; Funt, R. C.; Wright, S.; Demchak, K.; Wahle, E.; Doohan, D.; Ecologist, E. W.; Welty, C. y Williams, R. N. (2006). *Midwest strawberry production* (vol. 926). Columbus: Communications and Technology - The Ohio State University.
- García, C. E. F.; Moyano, A. J. C.; Martínez, N. H. F.; Orozco, R. J. M. y Santillán, M. C. J. (2019). Sistemas embebidos open source para la caracterización de la humedad en un cultivo hidropónico de fresa por la variación climática. *Polo del Conocimiento*, 4(4), 153-171. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i4.941>
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. En *Cartas de climas de la República Mexicana* (Quinta). México D. F.: Instituto de Geografía - UNAM.
- Goddek, S.; Joyce, A.; Kotzen, B. y Gavin, M. B. (2019). *Aquaponics food production systems combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. European Cooperation in Science & Technology. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-15943-6>
- Hewitt, E. J. 1966. Sand and water culture methods. CAB. *Technical Communication*, 22. Londres.
- Hidaka, K.; Miyoshi, Y.; Ishii, S.; Suzui, N.; Yin, Y. G.; Kurita, K.; Nagao, K.; Araki, T.; Yasutake, D.; Kitano, M. y Kawachi, N. (2019). Dynamic analysis of photosynthate translocation into strawberry fruits using non-invasive ¹³C-labeling supported with conventional destructive measurements using ¹³C-labeling. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01946>
- Juárez, R. C. R.; Aguilar, C. J. A.; Bugarín, M. R.; Aburto, G. C. A. y Alejo, S. G. (2019). Medios de enraizamiento y aplicación de auxinas en la producción de plántulas de fresa. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(1), 1-13. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1319
- Juárez, R. C. R.; Rodríguez, M. M.; Sandoval, V. M y Muratalla, L. A. (2007). Comparison of three strawberry production systems in greenhouse. *Terra Latinoamericana*, 25(1), 17-23.
- Kirschbaum, D. S. (2021). Cultivo, poscosecha, procesado y comercio de berries. En Namesny, A., Conesa, C., Olmos, L. M. y Papasseit, P. (eds.), *Cultivo, poscosecha, procesado y comercio de berries*. Valencia: SPE 3.
- Kubota, C. (2019). Growth, development, transpiration, and translocation as affected by abiotic environmental factors. En *Plant factory: An indoor vertical farming system for efficient quality food production* (2° ed.) (pp. 207-220). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00013-3>
- León, B. A. F.; Beltrán, C. G. Y.; Barragán, P. A. L. y Balaguera, L. H. E. (2021). Distribución de fotoasimilados en los órganos vertederos de plantas solanáceas, caso tomate y papa. Una revisión. *Ciencia y Agricultura*, 18(3), 79-97. <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021.13566>
- López, G. R.; Calderón, Z. G.; Alvarado, R. H.; Jaen, C. D. y Vaquera, H. H. (2020). Producción y acumulación de materia seca en fresa (*Fragaria × ananassa* Duch.) con sustratos tratados con metam sodio o micorrizas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802020000400379&script=sci_arttext

- Martínez, P. F. y Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En Martínez P. F. y Roca D. (eds.), *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (pp. 37-77) Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Medina, B. J. S.; Pinzón, S. E. H. y Cely, G. E. (2016). Efecto de sustratos orgánicos en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) cv 'Albion' bajo condiciones de campo. *Ciencia y Agricultura*, 13(2). <https://www.redalyc.org/journal/5600/560062851002/html/>
- Mohan, S. R.; Yamdagni, R.; Kumar, D. A. y Pandey, V. (2019). *Strawberries production, postharvest management and protection* (1° ed., vol. 1). CRC Press.
- Nakai, H.; Yasutake, D.; Kimura, K., I. K.; Hidaka, K.; Eguchi, T.; Hirota, T.; Okayasu, T.; Ozaki, Y. y Kitano, M. (2022). Dynamics of carbon export from leaves as translocation affected by the coordination of carbohydrate availability in field strawberry. *Environmental and Experimental Botany*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104806>
- Rodrigues, J.; Inzé, D.; Nelissen, H. y Saibo, N. J. M. (2019). Source-sink regulation in crops under water deficit. *Trends in Plant Science*, 24(7), 652-663. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.04.005>
- SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta). (2023). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Información consultada el 10 de mayo de 2023. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. en Steiner, A. A. (ed.), *Sixth International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-650).
- Van Os, E. A.; Gieling, T. H. y Heinrich Lieth, J. (2019). Technical equipment in soilless production systems (capítulo 13). En *Soilless culture: Theory and practice* (pp. 587-635). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00013-X>
- Vásquez, R. P. S. y Rodríguez, O. G. (2018). Los suelos de los valles centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(2), 156-167.
- Vázquez, G. G.; Livera, M. M.; González, H. V. A. y Muratalla, L. A. (2022). Efecto de la eliminación de órganos sobre la producción y calidad de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Fern. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 23(2). <https://doi.org/10.35196/rfm.2000.2.355>
- Yang, T.; Altland, J. E. y Samarakoon, U. C. (2022). Evaluation of substrates for cucumber production in the Dutch bucket hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, 308.