

Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por efecto del régimen nutrimental

Gabriela Mixquititla-Casbis¹
Oscar Gabriel Villegas-Torres^{1§}
María Andrade-Rodríguez¹
Héctor Sotelo-Nava¹
Alexandre Toshirrico Cardoso-Taketa²

¹Universidad Autónoma del Estado de Morelos-Facultad de Ciencias Agropecuarias. Av. Universidad 1001, Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. CP. 62209. (kasbis.kasbis@hotmail.com; maria.andrade@uaem.mx; hector.sotelo@uaem.mx). ²Universidad Autónoma del Estado de Morelos-Centro de Investigación en Biotecnología. Av. Universidad 1001, Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. CP. 62209. (ataketa@uaem.mx).

§Autor para correspondencia: voscar66@yahoo.com.mx.

Resumen

El objetivo de la investigación fue determinar el régimen nutrimental que favorece el crecimiento, rendimiento y calidad física y bioquímica de fresa producida en hidroponía bajo cubierta plástica. En 2017 se realizó un experimento en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, en el que se evaluaron 27 regímenes nutrimentales conformados por la combinación de variaciones de la concentración de NO_3^- en la fase vegetativa (10, 12 y 14 meq L^{-1}), H_2PO_4^- en la fase reproductiva (0.75, 1 y 1.25 meq L^{-1}) y K^+ en la fase de fructificación (5, 7 y 9 meq L^{-1}). Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental bloques completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue un contenedor de polietileno negro (15.14 L), con tezontle rojo como sustrato y una planta de fresa. Los resultados indicaron que las plantas de fresa producidas en hidroponía con régimen nutrimental manifestaron respuesta significativamente diferente en el contenido relativo de clorofila, área foliar, biomasa seca de hojas, diámetro de flor, longitud y diámetro ecuatorial del fruto, peso promedio del fruto, rendimiento por planta y concentración de sólidos solubles totales en fruto, en función de las concentraciones de $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{K}^+$, en las fases vegetativa, reproductiva y de fructificación, respectivamente. El régimen nutrimental de 10 meq L^{-1} de NO_3^- en la fase vegetativa, 1 meq L^{-1} de H_2PO_4^- en la reproductiva y 7 meq L^{-1} de K^+ en fructificación, es el recomendable para producir fresa en hidroponía porque incrementó de forma significativa el diámetro del fruto y el rendimiento por planta.

Palabras clave: cultivos sin suelo, fase de fructificación, fase reproductiva, fase vegetativa.

Recibido: julio de 2020

Aceptado: septiembre de 2020

Introducción

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) tiene gran demanda en México y alrededor del mundo, sobre todo en países desarrollados; tan sólo en México se producen 9 223 815 t (Romero-Romano *et al.*, 2012; FAOSTAT, 2020). Los principales estados productores a nivel nacional son: Michoacán, Baja California, Baja California Sur, Estado de México y Morelos (SIAP, 2020a). Por la importancia del consumo de la fresa en fresco, es de suma relevancia la calidad física y sobre todo bioquímica, por su gran cantidad de azúcares y minerales, además de tener compuestos nutraceuticos tales como fenoles y flavonoides, los cuales tienen propiedades antioxidantes con capacidad de capturar radicales libres (Vásquez *et al.*, 2007; Luna-Zapién *et al.*, 2016). Llacuna y Mach (2012) refieren que los productos vegetales con alto contenido nutraceutico son importantes para la salud humana al promover el equilibrio fisiológico, así como la reducción del riesgo de desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas, diabetes y cáncer.

Para obtener los parámetros de calidad en fresa es de gran importancia controlar el régimen nutrimental durante el ciclo de cultivo (Jara y Suni, 1999; Avitia-García *et al.*, 2014); es decir, el suministro de macro y micronutrientes a la fase fenológica. En esta investigación se consideraron los criterios de Stenier (1984) sobre las relaciones mutuas entre aniones (NO_3^- : H_2PO_4^- : SO_4^{2-}) y de cationes (K^+ : Ca^{2+} : Mg^{2+}), además de mantener constante la concentración total de aniones (20 meq L^{-1}) y la de cationes (20 meq L^{-1}).

El N es uno de los nutrientes más limitantes en la producción de fresa, de tal modo que los agricultores aplican dosis elevadas de fertilización nitrogenada con el propósito de obtener rendimientos sobresalientes (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2004), por lo cual se incrementan los costos de producción y la contaminación de los mantos freáticos por la lixiviación de nitratos (Vásquez-Gálvez *et al.*, 2008). El N tiene una función esencial en el crecimiento vegetativo, productividad y calidad de la frutilla; sus funciones son de tipo estructural y osmótico. Este nutriente se absorbe principalmente en forma de NO_3^- . Si se presentan deficiencias se disminuye el vigor de las plantas y la productividad, pero mejora la calidad organoléptica de la fruta; por otro lado, si existe un exceso de N se induce deficiencia de Zn (Kirschbaum y Borquez, 2006; Eyal, 2008; Chávez-Sánchez *et al.*, 2014).

El P es un nutriente esencial para las plantas, aunque es un elemento poco móvil en el suelo, beneficia a la planta estimulando el desarrollo radical y la floración, al ser constitutivo primario de los sistemas responsables de la captación, almacenamiento y transferencia de energía. Forma parte de las estructuras de macromoléculas esenciales, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que participa en todos los procesos fisiológicos.

Las plantas lo absorben como ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-) o como ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}) (Fernández, 2007). El P interviene en procesos bioquímicos tales como: biogénesis de los glucósidos, biosíntesis de los lípidos, clorofilas y compuestos carotenoides, en la glucólisis y el metabolismo de los ácidos orgánicos; lo cual se traduce en la acidez, aroma y color de los frutos (Díaz *et al.*, 2017). La deficiencia de P disminuye el número y diámetro de las flores provocando una reducción de 50% en el rendimiento, se atrasa la maduración, decrece el tamaño y firmeza de los frutos, además baja el contenido de vitamina C; pero altos niveles de P inducen deficiencia de Zn y se inactiva al Fe (Kirschbaum y Borquez, 2006; Eyal, 2008; Díaz *et al.*, 2017).

El K es conocido como el nutrimento de calidad por su efecto en el tamaño, forma, color, sabor y la resistencia de almacenamiento que confiere a los frutos (Chávez-Sánchez *et al.*, 2014). Está involucrado en la absorción de agua por las raíces, influye en la fotosíntesis y regula la apertura de estomas; es componente estructural de la lignina y la celulosa; también afecta los contenidos de almidón y azúcares, está involucrado en la resistencia a enfermedades e insectos. Es absorbido por la planta como K^+ , es un elemento móvil en las plantas, su disponibilidad es crítica en hojas y frutos en crecimiento. La deficiencia induce disminución del vigor, rendimiento y de la calidad de fruta por afectar la pigmentación (Kirschbaum y Borquez, 2006). El K incide directamente en la calidad del fruto porque altos niveles incrementan la pudrición apical y reducen la firmeza de las paredes celulares (Hernández *et al.*, 2009).

México cuenta con 14 771 ha cultivadas de berries (fresa, frambuesa, zarzamora y arándano) en macrotunel. De la superficie anterior, 11 091 ha es de fresa, de las cuales 89.78% está mecanizada y 65.63% cuenta con tecnología de sanidad vegetal (SIAP, 2020b). Este sistema tecnificado permite obtener 50% más de rendimiento en comparación con el cultivo tradicional (a cielo abierto y con labores agrícolas manuales), además de prolongar el periodo de cosecha (SAGARPA, 2016).

La producción de fresa en sistemas tecnificados también permite controlar el régimen nutrimental; es decir, la cantidad de nutrimentos para cada fase fenológica de la fresa y con ello optimizar el desarrollo, rendimiento y calidad de los frutos (Manqueros-Avilés, 2015). El objetivo de la investigación fue determinar el régimen nutrimental para favorecer el crecimiento, rendimiento y calidad física y bioquímica de fresa producida en sistema sin suelo bajo cubierta plástica.

Materiales y métodos

Localización

El experimento se desarrolló en un invernadero del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (18° 58' 51" latitud norte, 99° 13' 57" longitud oeste, 1 868 msnm) en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México, en el periodo de abril de 2016 a marzo de 2017.

Material vegetal

Se utilizaron plantas de *F. x ananassa* var. San Andreas que es una variedad de día neutro de excelente calidad de fruta, con poca necesidad de frío en vivero, resistente a enfermedades. Es precoz (plantación de otoño), su producción es estable durante todo el ciclo, mantiene su tamaño todo el tiempo con buena producción. Produce menos estolones que la variedad Albión cuando está en producción de fruta (Eurosemillas, 2020), se eligió esta variedad porque producen fruta a través de toda la estación de crecimiento. Estas plantas son ideales para tenerlas en espacios limitados.

Diseño experimental

Para evaluar el crecimiento de las plantas, rendimiento y calidad de la fresa en función del régimen nutrimental se evaluaron 27 tratamientos (regímenes nutrimentales), de los cuales el tratamiento 14 fue el testigo, correspondiente a la solución nutritiva universal (Steiner, 1984; SNU). Los tratamientos (Cuadro 1) se distribuyeron en el espacio conforme a un diseño experimental bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento.

Cuadro 1. Regímenes nutrimentales en la producción de fresa en hidroponía bajo cubierta plástica.

Régimen nutrimental	Fase vegetativa NO ₃ ⁻ (meq L ⁻¹)	Fase reproductiva H ₂ PO ₄ ⁻ (meq L ⁻¹)	Fase de fructificación K ⁺ (meq L ⁻¹)
1	10	0.75	5
2	10	0.75	7
3	10	0.75	9
4	10	1	5
5	10	1	7
6	10	1	9
7	10	1.25	5
8	10	1.25	7
9	10	1.25	9
10	12	0.75	5
11	12	0.75	7
12	12	0.75	9
13	12	1	5
14	12	1	7
15	12	1	9
15	12	1.25	5
17	12	1.25	7
18	12	1.25	9
19	14	0.75	5
20	14	0.75	7
21	14	0.75	9
22	14	1	5
23	14	1	7
24	14	1	9
25	14	1.25	5
26	14	1.25	7
27	14	1.25	9

Manejo del experimento

La fase vegetativa, considerada desde el trasplante hasta que 50% de las plantas presentaron 10 hojas verdaderas y apareció la primera flor, se modificó el NO_3^- (10, 12 y 14 meq L^{-1}) manteniendo constantes las relaciones mutuas $\text{SO}_4^{2-}:\text{H}_2\text{PO}_4^-$ (7:1). En la fase reproductiva, desde que 50% de las plantas presentaron la aparición de la primera flor hasta la aparición del primer fruto (10 \pm 1 mm de longitud) se modificó el H_2PO_4^- (0.75, 1 y 1.25 meq L^{-1}) manteniendo constantes las relaciones mutuas de $\text{NO}_3^-:\text{SO}_4^{2-}$ (12:7).

En la fase de fructificación, desde que el primer fruto tuvo 10 \pm 1 mm de longitud hasta el término de la cosecha, se varió la concentración de K^+ (5, 7 y 9 meq L^{-1}) manteniendo constantes las relaciones mutuas de $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ (9:4). Las soluciones nutritivas se prepararon con agua corriente, previo análisis físico-químico, y con fertilizantes altamente solubles (nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de potasio, fosfato monopotásico y sulfato de magnesio); además, en cada régimen se incorporaron los micronutrientes: Fe, 8 mg L^{-1} (fuente Fe-EDTA); H_3BO_3 , 2.88 mg L^{-1} ; Mn, 0.502 mg L^{-1} (MnCl_2); Zn, 0.05 mg L^{-1} (ZnSO_4); Cu, 0.045 mg L^{-1} (CuSO_4); Mo, 0.01 mg L^{-1} (H_2MoO_4). El pH se ajustó de 5.5-5.8 con H_2SO_4 .

La unidad experimental fue un contenedor de polietileno negro de 15.14 L (25.5 cm de diámetro por 30 cm de altura) y se utilizó tezontle rojo de ≤ 0.5 cm de diámetro como sustrato, el cual es inerte desde el punto de vista químico (Ojodeagua *et al.*, 2008). En cada unidad experimental se colocó una planta de fresa con cuatro hojas verdaderas. Los cuatro riegos por día se realizaron mediante un sistema de riego por goteo (gotero autocompensable marca Netafim y caudal de 8 L h^{-1}) controlados con un temporizador. Durante el experimento se registró la humedad relativa, intensidad luminosa y temperatura con un datalogger (Hobo[®], Massachusetts, USA).

Variables de respuesta

Las variables de respuesta fueron: contenido relativo de clorofila, número total de hojas, área foliar, volumen de raíz, biomasa seca de hojas y de raíz, número de flores por planta, diámetro de flor, número de frutos por planta, longitud y diámetro de fruto, peso promedio por fruto, rendimiento promedio por planta y concentración de sólidos solubles totales.

El contenido relativo de clorofila se midió con un SPAD-502 (Konica Minolta) a partir de la cuarta hoja hasta finalizar el experimento. El número total de hojas se contabilizó al finalizar el experimento, el área foliar se determinó con un integrador de área foliar (LI-COR, LI3-100C). El volumen de raíz se determinó mediante la técnica de desplazamiento de agua, para ello se utilizó una probeta graduada de 2 L con un volumen conocido de agua, la diferencia de volúmenes al introducir la raíz en el agua correspondió al volumen de este órgano; para obtener la biomasa seca de hojas y de raíz, estos órganos se colocaron en una estufa de circulación forzada de aire (Lanphan, DHG9070A) a una temperatura de 72 °C durante 72 h y posteriormente se pesaron en una balanza digital (Ohaus, CS 2000).

El número de flores por planta y diámetro de flor se evaluaron cada semana desde 60 hasta 270 días después del trasplante (ddt). Los frutos se empezaron a cosechar a 85 ddt cuando presentaron color rojo intenso de acuerdo con la NMX-FF-062-SCFI-2002, realizando un corte por semana hasta 270 ddt. Una vez cosechados los frutos se contaron y se pesaron en una báscula digital.

El peso total se dividió entre el número de frutos de cada planta y se obtuvo el peso promedio por fruto. La longitud de fruto se midió desde el cáliz hasta el ápice con un vernier (Truper) al igual que el diámetro en la parte media del fruto; mientras que el rendimiento por planta se obtuvo con la suma de lo cosechado hasta 270 ddt. En los frutos completamente rojos se determinó la concentración de sólidos solubles totales (CSST) con un refractómetro portátil (Pocket refractometer Pal-1, Atago, Tokio, Japan).

Análisis estadístico

A todos los datos se les realizó análisis de varianza con el programa SAS (versión 6.12) y a los que mostraron diferencia estadística significativa se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

El análisis de varianza ($p \leq 0.05$) realizado a las variables de crecimiento, producción y calidad de frutos indicó que al menos un régimen nutrimental ejerció diferencias estadísticamente significativas al resto de los regímenes en el contenido relativo de clorofila, área foliar, biomasa seca de hojas, diámetro de flor, longitud y diámetro del fruto, peso promedio del fruto, rendimiento por planta y concentración de sólidos solubles totales en fruto.

Las variables que no mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) fueron el número de hojas, volumen de raíz, biomasa seca de raíz y número de flores por planta (datos no publicados), lo cual indica que dichas características están más influenciadas por el componente genético que el nutrimental, puesto que todos los tratamientos estuvieron en el mismo ambiente físico-químico (temperatura, intensidad luminosa, humedad relativa, disponibilidad de solución nutritiva en el sustrato, entre otros).

En cuanto al contenido relativo de clorofila expresado en unidades SPAD, el régimen nutrimental (meq L^{-1}) 14:1.25:9 de $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{K}^+$ en las fases vegetativa, reproductiva y de fructificación, respectivamente, fue de 47.71, 8.03% superior que en las plantas con el régimen 10:0.75:7, las cuales presentaron el menor valor de 44.16, en los demás tratamientos, incluyendo el testigo, presentaron valor similar (46.39% en promedio) (Cuadro 2). El contenido relativo de clorofila es un indicador entre la relación del grado de abastecimiento y disponibilidad de nutrientes, Juárez-Rosete *et al.* (2007) reportan lecturas de hasta 43.23 SPAD, nutriendo a la planta con la solución nutritiva Steiner, también mencionan que conforme transcurrió el ciclo de cultivo, las lecturas SPAD disminuyeron en las distintas fases fenológicas de la fresa cv. Chandler.

Respecto al área foliar, con 12:0.75:7 fue 1819.92 cm^2 , 165% más con respecto a las plantas que recibieron 10:1.25:5 y 12:1.25:5 (686.75 cm^2 , en promedio) (Cuadro 2). Este resultado difiere con lo obtenido por Caso *et al.* (2010) quienes reportan área foliar de 920.52 cm^2 en fresa cultivada en sustrato de piedra pómez (100%) y con la solución nutritiva La Molina. Por su parte, Casierra-Posada y Poveda (2005) obtuvieron área foliar de 600 cm^2 al cultivar la fresa var. Camarosa con fertilizante compuesto de alta solubilidad. De la diversidad de valores en el área foliar de fresa reportada puede inferirse el efecto tanto de la nutrición como de la variedad, aspectos a considerar en el caso de establecer un cultivo a nivel comercial.

Cuadro 2. Características morfológicas y acumulación de biomasa en plantas de fresa en respuesta al régimen nutrimental.

Régimen nutrimental (meq L ⁻¹) NO ₃ ⁻ :H ₂ PO ₄ ⁻ :K ⁺	CRC (SPAD)	NH	AF (cm ²)	VR (cm ³)	BSH (g)	BSR (g)
10:0.75:5	45.14 ab	5.6 a	922.1 ab	116.25 a	20.75 ab	29.5 a
10:0.75:7	44.16 b	5.36 a	1099.85 ab	97 a	22 ab	20.75 a
10:0.75:9	45.94 ab	5.84 a	1118.21 ab	137 a	17 abc	36.5 a
10:1.00:5	45.25 ab	5.37 a	1074.76 ab	140.25 a	21 abc	32.25 a
10:1.00:7	44.79 ab	5.89 a	1306.5 ab	132.25 a	25 ab	30.25 a
10:1.00:9	45.35 ab	5.4 a	1044.93 ab	140 a	20 abc	37.75 a
10:1.25:5	45.07 ab	5.64 a	706.05 b	100 a	16.5 abc	26 a
10:1.25:7	45.18 ab	4.94 a	1183.06 ab	102.5 a	20.5 abc	24.75 a
10:1.25:9	45.43 ab	5.12a	936.44 ab	121.5 a	21.5 abc	32.25 a
12:0.75:5	44.43 ab	5.2 a	925.98 ab	97.5 a	16.5 abc	24.25 a
12:0.75:7	44.5 ab	5.75 a	1819.92 a	125 a	21 abc	33.75 a
12:0.75:9	44.6 ab	5.97a	1461.48 ab	145 a	18.5 abc	37.75 a
12:1.00:5	44.69 ab	6.13 a	1037.43 ab	78.25 a	12.25 bc	20.5 a
12:1.00:7*	46.39 ab	5.55 a	1338.85 ab	122.75 a	18.5 abc	31.25 a
12:1.00:9	46.22 ab	5.78 a	953.76 ab	95 a	15.75 abc	23.25 a
12:1.25:5	46.69 ab	5.76 a	667.46 b	90 a	10.75 c	22.75 a
12:1.25:7	46.23 ab	5.63 a	1243.37 ab	120 a	18 abc	30.25 a
12:1.25:9	46.43 ab	5.62 a	925.02 ab	120 a	14.5 abc	30 a
14:0.75:5	45.3 ab	5.34 a	1165.36 ab	112.5 a	18 abc	36 a
14:0.75:7	46.07 ab	6.06 a	1303.46 ab	95 a	20.75 abc	20.5 a
14:0.75:9	46.74 ab	5.86 a	1310.71 ab	127.5 a	22.25 abc	33.25 a
14:1.00:5	46.34 ab	5.69 a	1100.25 ab	117.5 a	20.25 abc	29 a
14:1.00:7	46.44 ab	5.75 a	1407.53ab	115 a	26.75 a	26.75 a
14:1.00:9	46.32 ab	5.56 a	1141.36 ab	120 a	18.25 abc	26.25 a
14:1.25:5	45.74 ab	5.75 a	1032.7 ab	117.5 a	18.5 abc	25.25 a
14:1.25:7	45.66 ab	5.42 a	963.13 ab	85 a	15.25 abc	19.25 a
14:1.25:9	47.71 a	5.47 a	1137.51 ab	110 a	20.5 abc	24.5 a
DMSH	3.38	1.33	1023.6	7.21	12.93	22.79
CV (%)	2.73	8.8	33.6	23.33	25.22	29.68

Régimen correspondiente al tratamiento testigo; CRC= contenido relativo de clorofila; NH= número de hojas por planta; AF= área foliar por planta; VR= volumen de raíz; BSH= biomasa seca de hojas; BSR= biomasa seca de raíz; DMSH= diferencia mínima significativa honesta; CV= coeficiente de variación. Medias con la misma literal en columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En relación con la acumulación de biomasa, como un parámetro para cuantificar el crecimiento (Urrestarazu *et al.*, 1999; Villegas-Torres *et al.*, 2005), se presentó diferencia significativa en hojas. El régimen nutrimental que propició (26.75 g) esta variable fue 14:1:7, lo cual representó un incremento de 148% en comparación con las plantas (10.75 g) nutridas con el régimen 12:1.25:5 (Cuadro 2). Caso *et al.* (2010) reportaron biomasa seca de hojas de 3.8 g, esto en fresas cultivadas con el sustrato piedra pómez y solución hidropónica La Molina.

Con respecto al tamaño de flor, el régimen 14:0.75:7 favoreció que las plantas presentaran flores más grandes (2.37 cm de diámetro), una diferencia de 37.79% con respecto al diámetro de flor de las fresas nutridas con 10:1.25:5. La fructificación inició diez días después de la floración, mientras que la cosecha duró 185 días. El régimen 14:0.75:9 indujo a la fresa a producir el mayor número de frutos por planta (12.67), la diferencia fue de 66.05% mayor con respecto a las plantas nutridas con 10:0.75:7 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Componentes de rendimiento y concentración de sólidos solubles totales en frutos de fresa por efecto del régimen nutrimental.

Régimen nutrimental (meq L ⁻¹) NO ₃ ⁻ :H ₂ PO ₄ ⁻ :K ⁺	DF (cm)	NFRU	LF (cm)	DFR (cm)	PPF (g)	RPP (g)	CSST (°Brix)
10:0.75:5	1.93 abc	10.17 abc	2.65 bc	2.44 abc	8.06 bcd	149.34 abc	9.2 abc
10:0.75:7	1.98 abc	7.63 c	3.28 abc	2.85 a	12.37 ab	147.32 abc	7.05 a-e
10:0.75:9	1.96 abc	10.61 ab	2.76 abc	2.4 abc	7.82 bcd	139.35 abc	9.13 a-e
10:1.00:5	2 abc	10.06 abc	2.96 abc	2.53 abc	9.33 a-d	188.4 abc	7.47 a-e
10:1.00:7	1.75 bc	9.94 abc	3.34 abc	2.91 a	11.97 a-d	289.28 a	6.59 a-e
10:1.00:9	2.04 abc	9.45 abc	2.83 abc	2.46 abc	8.31 bcd	127.43 abc	7.44 a-d
10:1.25:5	1.72 c	9.73 abc	2.62 bc	2.17 c	6.13 d	82.12 bc	6 a-e
10:1.25:7	1.91 abc	7.82 bc	3.59 a	2.96 a	15.15 a	128.67 abc	10.13 ab
10:1.25:9	1.79 abc	9.69 abc	3.11 abc	2.61 abc	10.14 a-d	146.13 abc	6.95 a-e
12:0.75:5	2.08 abc	8.37 abc	3.15 abc	2.78 abc	11.29 a-d	261.2 ab	6.23 a-e
12:0.75:7	1.98 abc	8.89 abc	3.18 abc	2.76 abc	11.03 a-d	227.65 abc	6.05 a-e
12:0.75:9	1.82 abc	10.16 abc	3.14 abc	2.63 abc	10.19 a-d	163.01 abc	3.37 cde
12:1.00:5	2.17 abc	8.35 abc	3.37 ab	2.94 a	12.18 abc	260.18 ab	5.63 b-e
12:1.00:7*	1.9 abc	10.01 abc	3.11 abc	2.66 abc	10.17 a-d	219.9 abc	6.22 a-e
12:1.00:9	2.18 abc	9.62 abc	2.95 abc	2.61 abc	9.55 a-d	218.57 abc	6.85 a-e
12:1.25:5	1.8 abc	8.48 abc	2.46 c	2.18 abc	6.33 dc	83.07 bc	4.19 cde
12:1.25:7	1.98 abc	8.7 abc	3.2 abc	2.83 ab	12.31 abc	198.88 abc	6.96 a-e
12:1.25:9	1.9 abc	10.49 abc	2.57 bc	2.42 abc	7.56 bcd	127.25 abc	4.67 b-e
14:0.75:5	1.88 abc	10.55 abc	3.03 abc	2.56 abc	9.2 a-d	135.55 abc	7.07 a-e
14:0.75:7	2.37 a	8.48 abc	3.3 abc	2.94 a	12.64 ab	127.93 abc	3.99 cde
14:0.75:9	1.91 abc	12.67 a	3.06 abc	2.62 abc	9.48a-d	174.09 abc	5.69 b-e
14:1.00:5	2.14 abc	10.36 abc	3 abc	2.52 abc	9.36 a-d	146 abc	1.45 e
14:1.00:7	2.31 ab	12.36 ab	3.12 abc	2.63 abc	10.36 a-d	192.81 abc	5.15 b-e
14:1.00:9	1.97 abc	11.3 abc	3.08 abc	2.47 abc	8.48 bcd	68.51 c	9.1 bcde
14:1.25:5	1.98 abc	9.47 abc	2.94 abc	2.42 abc	8.01 bcd	107.49 abc	11.75 a
14:1.25:7	1.93 abc	8.98 abc	2.98 abc	2.49 abc	9.21 a-d	151.1 abc	3.91 cde
14:1.25:9	1.93 abc	11.78 abc	2.73 abc	2.47 abc	8 bcd	163.92 abc	3.41 de
DMSH	0.58	4.71	0.88	0.66	6.02	185.4	5.81
CV (%)	10.99	17.76	10.77	9.41	22.66	41.7	34.02

* = régimen correspondiente al tratamiento testigo; DF= diámetro de flor; NFRU= número de frutos por planta; LF= longitud de fruto; DFR= diámetro de fruto; PPF= peso promedio por fruto; RPP= rendimiento promedio por planta; CSST= concentración de sólidos solubles totales; DMSH= diferencia mínima significativa honesta; CV= coeficiente de variación. Medias con la misma literal en columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Caso *et al.* (2010) reportaron 68.17 frutos por planta en un periodo de 270 días en fresas cultivadas en piedra pómez utilizando la solución nutritiva hidropónica La Molina. La cantidad de frutos producidos por las plantas puede variar puesto que temperaturas de 24 a 32 °C provocan en algunas plantas aborto de frutos, por lo tanto, disminuye la cantidad de la fruta (Taylor, 2002; Romero-Romano *et al.*, 2012).

También se manifestaron diferencias estadísticas significativas en la longitud y diámetro en frutos de fresa var. San Andreas, el régimen que favoreció ambas variables (3.59 y 2.96 cm respectivamente) fue 10:1.25:7. Chávez-Sánchez *et al.* (2014) reportaron valores en la longitud de frutos de fresa 3.68 cm y para el diámetro 2.73 cm aplicando una concentración de NO_3^- de 9 miliMol (mM) en la solución nutritiva. Caso *et al.* (2010) obtuvieron en el diámetro y longitud valores de 2.99 cm y 4.11 cm, respectivamente, en frutos de fresa con el sustrato de cascarilla de arroz y solución hidropónica La Molina.

El régimen nutrimental 10:1.25:7 tuvo efecto significativo ($p \leq 0.05$) en el peso promedio por fruto (15.15 g), el cual fue 147% mayor que los frutos (6.13 g) de plantas nutridas con 10:1.25:5. En este caso, la variación de la respuesta se debió a la concentración de SO_4^{2-} en la fase de fructificación. Casierra-Posada y Poveda (2005) obtuvieron pesos por fruto de hasta 10.70 g, sin embargo, también mencionan que la radiación y fotoperiodo afectan el peso de los frutos de fresa.

En cuanto al rendimiento de frutos por planta, el valor sobresaliente (289.28 g) se registró con el régimen (meq L^{-1}) 10:1:7, el cual fue 322.24% superior al registrado en plantas nutridas con 14:1:9 (Cuadro 3). Moor *et al.* (2004) reportaron rendimiento de frutos de 252 g por planta, fertilizando con los productos Kemfos® y Kemira Ferticare® en las diferentes fases fenológicas de la fresa var. Bounty, en tanto que Romero-Romano *et al.* (2012) obtuvieron 189.42 g utilizando nutrición orgánico-mineral (Fertilizante químico + ácidos fúlvicos + regulador de crecimiento + vermicomposta), mientras que Furlani y Fernández (2007) indicaron rendimientos de 50 a 300 g.

En relación con el régimen nutrimental, se esperaría que con la mayor concentración de NO_3^- (14 meq L^{-1}) en la fase vegetativa y de K^+ (9 meq L^{-1}) en la de fructificación, el rendimiento de fruto por planta fuera superior que con los valores más bajos de ambos nutrientes: 10 y 7, respectivamente; sin embargo, los datos mostraron lo contrario. De lo anterior, se deduce que las relaciones entre la concentración de NO_3^- en la fase vegetativa y la de K^+ en la de fructificación es más importante que el valor absoluto de cada uno de los nutrientes involucrados.

Las características físicas del fruto son importantes, pero también lo es el grado de dulzura, entre otros atributos bioquímicos (Juárez-Rosete *et al.*, 2007). En el Cuadro 3 se observa que el régimen que favoreció la CSST fue (en meq L^{-1}) 14:1.25:5, con un valor de 11.75 °Brix, en relación con el obtenido en frutos de plantas nutridas con 14:1.00:5, fue 710% superior (Cuadro 3). Roudeillac y Trajkovski (2004) señalan que la fresa debe estar entre 7 y 12 °Brix, para ubicarse entre las recomendaciones de calidad postcosecha. Giraldo (2006) reportó 9.3 °Brix en frutos de fresa, mientras que Martínez- Bolaños *et al.* (2008) alcanzaron valores de hasta 8.48 °Brix con el cultivar de fresa mexicano CP-Roxana. Núñez-Castellano *et al.* (2012) evaluaron frutos de fresa en donde el resultado fue de 9.50 °Brix con el tratamiento sin inmersión en calcio, con cobertura plástica.

Es importante hacer notar que con la disminución del H_2PO_4^- en la fase de floración, con la misma concentración de NO_3^- y K^+ en las fases vegetativa y de fructificación, respectivamente, la CSST disminuyó significativamente, lo cual puede indicar que, en el metabolismo de los azúcares, ácidos orgánicos, entre otros, la participación del H_2PO_4^- es importante al igual que su concentración relativa con los otros dos iones (NO_3^- y K^+).

Conclusiones

Las plantas de fresa producidas en hidroponía con régimen nutrimental manifestaron respuesta significativamente diferente en el contenido relativo de clorofila, área foliar, biomasa seca de hojas, diámetro de flor, longitud y diámetro ecuatorial del fruto, peso promedio del fruto, rendimiento por planta y concentración de sólidos solubles totales en fruto, en función de las concentraciones relativas entre $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{K}^+$, en las fases vegetativa, reproductiva y fructificación, respectivamente.

El régimen nutrimental de 10 meq L^{-1} de NO_3^- en la fase vegetativa, 1 meq L^{-1} de H_2PO_4^- en la reproductiva y 7 meq L^{-1} de K^+ en fructificación, es el recomendable para producir fresa en sistema sin suelo porque incrementó de forma significativa el diámetro del fruto y el rendimiento por planta.

Literatura citada

- Avitia-García, E.; Pineda-Pineda, J.; Castillo-González, A. M.; Trejo-Téllez, L. I.; Corona-Torres, T. y Cervantes-Urbán, E. 2014. Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Rev. Mex. Cienc. Agríc. 5(3):519-524.
- Cárdenas-Navarro, R.; Sánchez-Yáñez, J. M.; Farías-Rodríguez, R. y Peña-Cabriales, J. J. 2004. Los aportes del nitrógeno en la agricultura. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 10(2):173-178.
- Casierra-Posada, F. y Poveda, J. 2005. La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria* sp. cv. Camarosa). Agron. Colomb. 23(2):283-289.
- Caso, C.; Chang, M. y Rodríguez-Delfín, A. 2010. Efecto del sustrato sobre la producción de fresa en sistema de columna. Boletín Núm. 46. Red Hidroponía. Lima, Perú. 7-12 pp.
- Chávez-Sánchez, E.; Preciado-Rangel, P.; Fortis-Hernández, M.; Rocha-Valdez, J. L. y Salazar-Sosa, E. 2014. Fertilización nitrogenada y potásica en la producción y calidad de fresa. In: Memoria del XXXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Ciudad Juárez, Chihuahua. 30-33 pp.
- Díaz, L. F.; Dávalos, P. A.; Jofre, A. E. y Martínez, T. O. 2017. Fresa, deficiencias y síntomas nutricionales “una guía visual para fertilizar”. INIFAP-SAGARPA. Celaya, Guanajuato, México. Folleto técnico núm. 36. 34 p.
- Eurosemillas. 2020. Fresas. San Andreas. <http://www.eurosemillas.com/es/variedades/fresa/item/27-san-andreas.html>.
- Eyal, I. 2008. Microelementos en la agricultura. Red hidroponía. Lima, Perú. Boletín núm. 38. 2-11 pp.
- FAOSTAT. 2020. Producción agrícola. País por producto: Fresa. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>.

- Fernández, M. T. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. Sobre los derivados de la caña de azúcar. 41(2):51-57.
- Furlani, P. y Fernández, F. 2007. Hidroponía vertical para la producción de fresa. Red hidroponía. Lima, Perú. Boletín núm. 36. 8-14 pp.
- Giraldo, G. A. 2006. El efecto del tratamiento de impregnación a vacío en la respiración de frutas (manzana, fresa, melocotón y sandía) mínimamente procesadas. Vitae. 13(2):21-25.
- Hernández, M. I.; Chailloux, M.; Moreno, V.; Mojena, M. y Salgado, J. M. 2009. Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. Cultivos Tropicales. 30(4):71-78.
- Jara, E. y Suni, M. 1999. Evaluación de soluciones nutritivas para el cultivo hidropónico de fresa (*Fragaria x ananassa*). Rev. Peruana de Biología. 6(1):61-67.
- Juárez-Rosete, C. R.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Sandoval-Villa, M. y Muratalla-Lúa, A. 2007. Comparación de tres sistemas de producción de fresa en invernadero. Terra Latinoam. 25(1):17-23.
- Kirschbaum, D. S. y Borquez, A. M. 2006. Nutrición mineral de la frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.). In: Memoria del III Simpósio Nacional do Morango, II Encontro sobre pequenas frutas e frutas nativas do Mercosul. Pelotas, Brasil. 117-127 pp.
- Llacuna, L. y Mach, N. 2012. Papel de los antioxidantes en la prevención del cáncer. Revi. Española de Nutrición Humana y Dietética. 16(1):16-24.
- Luna-Zapién, E. A.; Preciado-Rangel, P.; Fortis-Hernández, M.; Meza-Velázquez, J. A.; Martínez-Rodríguez, F. J. y Esparza-Rivera, J. R. 2016. Capacidad antioxidante de fresa (*Fragaria vesca*) hidropónica producida bajo diferente aportación de potasio-nitrógeno. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1(2):307-312.
- Manqueros-Avilés, V. E. 2015. Mediciones nutritivas en un sistema hidropónico NFT mediante el uso de sensores de iones selectivos y LabVIEW. Rev. Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo. 1(1):162-171.
- Martínez-Bolaños, M.; Nieto-Ángel, D.; Téliz-Ortiz, D.; Rodríguez-Alcázar, J.; Martínez-Damián, M. T.; Vaquera-Huerta, H. y Carrillo, O. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. Rev. Chapingo Ser. Hortíc. 14(2):113-119.
- Moor, U.; Karp, K. and Pöldma, P. 2004. Effect of mulching and fertilization on the quality of strawberries. Agric. Food Sci. 13(3):256-267.
- NMX-FF-062-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Fruta fresca. Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Especificaciones y método de prueba (cancela a la NMX-FF-062-1987). <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-062-2002.PDF>.
- Núñez-Castellano, K.; Castellano, G.; Ramírez-Méndez, R.; Sindoni, M. y Marín, C. 2012. Efecto del cloruro de calcio y una cubierta plástica sobre la conservación de las propiedades organolépticas de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Rev. Iberoam. Tecnol. Postcosecha. 13(1):21-30.
- Ojodeagua, J. L.; Castellanos, J. Z.; Muñoz, J. J.; Alcántar, G.; Tijerina, L.; Vargas, P. y Enríquez, S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. Rev. Fitotec. Mex. 31(4):367-374.
- Romero-Romano, C. O.; Ocampo-Mendoza, J.; Sandoval-Castro, E. y Tobar-Reyes, J. R. 2012. Fertilización orgánica-mineral y orgánica en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) bajo condiciones de invernadero. Ra Ximhai. 8(3):41-49.

- Roudeillac, P. and Trajkovski, K. 2004. Breeding for fruit quality and nutrition in strawberries. *Acta Hortic.* 649(1):55-59.
- SAGARPA. 2016. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Fresa Mexicana. 20 p.
- SAS Institute Inc. 1996. Statistical Analysis System (SAS), release 6.12. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- SIAP. 2020a. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por estado. Cultivo: fresa. <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola-siap-gobmx/AvanceNacionalCultivo.do>.
- SIAP. 2020b. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Superficie cubierta y número de instalaciones de agricultura protegida. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. ISOSC. In: Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands. 633-649 pp.
- Taylor, D. R. 2002. The physiology of flowering in strawberry. *Acta Horticulturae.* 5672):245-251.
- Urrestarazu, M.; Guzmán, M.; Sánchez, A.; Salas, M. C. and Lorente, F. A. 1999. Effect of evolution in the increase the nutrient solution electrical conduction on quality parameters of tomato seedlings. Florida. *Acta Hortic.* 487(1):213-218.
- Vásquez, A.; Cala, M.; Miranda, I.; Tafurt, G.; Martínez, J. y Stashenko, E. E. 2007. Actividad antioxidante y contenido total de fenoles de los extractos etanólicos de *Salvia aratocensis*, *S. sochensis*, *Bidens reptans* y *Montanoa ovalifolia*. *Scientia Et Technica.* 8(33):205-207.
- Vázquez-Gálvez, G.; Cárdenas-Navarro, R. y Lobit, P. 2008. Efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento de fresa regada por goteo y gravedad. *Agric. Téc. Méx.* 34(2):235-241.
- Villegas-Torres, O. G.; Sánchez-García, P.; Baca-Castillo, G. A.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Trejo, C.; Sandoval-Villa, M. y Cárdenas-Soriano, E. 2005. Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoam.* 23(1):49-56.