

Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad nutracéutica del cultivo de fresa

Influence of organic fertilizers and silicon on the physiology, yield, and nutraceutical quality of the strawberry crop

Rey David Hernández Valencia¹ - Antonio Juárez Maldonado²  - Armando Pérez Hernández³ 
Carlos Javier Lozano Cavazos⁴  - Alejandro Zermeño González⁵ - José Antonio González Fuentes  

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Maestría en Ciencias en Horticultura

² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Botánica

³ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Fitomejoramiento

⁴ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Riego y Drenaje

⁵ CONACYT-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

 Autor de correspondencia: jagf252001@gmail.com

Recepción: 08-10-2021 / Aceptación: 25-10-2021

© Nova Scientia, bajo licencia Creative Commons

Resumen

Una combinación adecuada de fuentes orgánicas de nutrientes puede permitir el crecimiento y el rendimiento adecuados en el cultivo de la fresa, y disminuir el uso de fertilizantes químicos en beneficio del medio ambiente y de los consumidores. De igual manera, el silicio puede ayudar a las plantas a soportar condiciones medioambientales, biológicas y edáficas adversas, aumentando y mejorando la calidad en la producción. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres fuentes de fertilización orgánica: uno de origen animal (pescado); uno de origen vegetal (maíz), y uno de origen animal y vegetal (pescado-maíz) más un tratamiento químico como control (Steiner), con tres concentraciones de silicio de 0, 15 y 20 ppm. Se evaluaron parámetros de crecimiento, fisiológicos, de rendimiento, y calidad nutracéutica en frutos de fresa del cultivar Camino Real, bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial (4 x 3). Los resultados de crecimiento vegetativo y parámetros fisiológicos de los tratamientos con la fertilización orgánica mostraron valores estadísticamente iguales al tratamiento control; lo mismo para el rendimiento y la calidad nutraceutica. La adición del silicio a las dosis estudiadas no ocasionó efectos en ninguna de las variables estudiadas. Los resultados sugieren que es totalmente factible reemplazar la fertilización química por la orgánica, obteniendo resultados idénticos.

Palabras clave: fresa; agricultura orgánica; silicio; rendimiento; calidad nutracéutica; nutrientes; crecimiento; cultivos; plantas; medio ambiente; producción; químicos; control; fertilización; tratamientos

Abstract

A suitable combination of organic sources of nutrients can allow an adequate growth, yield of the strawberry crop, and decrease the use of chemical fertilizers to the benefit of the environment and consumers. Likewise, silicon can help plants to withstand adverse environmental, biological, and edaphic conditions, increasing and improving production quality. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of three sources of organic fertilization: one of animal origin (fish); one of vegetable origin (corn), and one of animal and vegetable origin (fish - corn) plus a chemical treatment such as control (Steiner), with three silicon concentrations of 0, 15 and 20 ppm. Growth parameters, physiological parameters, as well as nutraceutical performance and quality were evaluated in strawberry fruits of the Camino Real cultivar, under a completely randomized design with factorial arrangement (4 x 3). The results of vegetative growth and physiological parameters of the treatments with organic fertilization showed statistically equal values to the control treatment, likewise for the yield and nutraceutical quality. The addition of silicon to the doses studied did not cause effects on any of the variables studied. The results suggest that it is totally feasible to replace chemical fertilization with organic, obtaining identical results.

Keywords: strawberry; organic agriculture; silicon; yield; nutraceutical quality; nutrients; growth; crops; floors; environment; production; chemicals; control; fertilization; treatments

1. Introducción

Actualmente la técnica de producción de alimentos bajo agricultura convencional, ha venido presentando una serie de problemas ambientales, como la contaminación del agua, la salinización y degradación del suelo, principalmente por el uso indiscriminado de fertilizantes químicos, así como plaguicidas, fungicidas y herbicidas (De las Heras *et al.*, 2003). Ante esta situación, una de las alternativas es el cambio de tendencia, bajo una agricultura orgánica, en cuanto al sistema de producción de alimentos, que últimamente se ha convertido en una opción cada vez más popular, principalmente por sus procesos ecológicos y la biodiversidad, evitando el uso de insumos que tengan efectos adversos, favoreciendo al medio ambiente y mejorando la calidad de vida para todos los que participan en ella (IFOAM, 2008). Dentro de los insumos más importantes en la agricultura orgánica, se encuentran los hidrolizados elaborados a base de vegetales, desechos de pescado y algas marinas entre otras, los cuales proveen de nutrientes esenciales a las plantas (Verlag Chemie, 1988), que mejoran positivamente la calidad y rendimiento de las plantas hortícolas.

Por otro lado, al aplicar fuentes orgánicas de fertilizantes, se mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Gómez, 2004). Sin embargo, para sostener e incrementar la producción orgánica es necesario considerar la contribución de bioestimulantes como el silicio en las formulaciones de fertilizantes, dirigida a mejorar el rendimiento y la calidad de varios cultivos (Dehghanipoodeh *et al.*, 2016), principalmente cuando el agua de riego, suelos o sustratos de crecimiento no proporciona lo suficiente. Aunque no es considerado nutriente esencial para las plantas, el silicio está clasificado por múltiples autores como beneficioso, ya que cumple un papel importante en la regulación del metabolismo, actividad fisiológica, bioquímica, antioxidante y / o estructural, y mejora la supervivencia de las plantas superiores expuestas a diferentes tipos de estrés bióticos y abióticos (Liang *et al.*, 2015).

Por otro lado, el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) es una fruta muy popular que se cultiva en muchas partes del mundo, dentro de los principales países se encuentran, China, Estados Unidos y México (FAOSTAT, 2019). México con una superficie cultivada de 17,400 hectáreas y una producción de 861,337 toneladas se ubica como el 3er productor mundial (SIAP-SADER, 2020), produciendo principalmente en los estados de Michoacán, Baja California y Baja California Sur, Guanajuato, Jalisco y Tlaxcala. Aun cuando más de 90 % de la producción de fresa es por técnica convencional (Gómez *et al.*, 2005), recientemente la producción orgánica en México ha venido en aumento a un ritmo de 20 % anual, en promedio (SIAP-SADER, 2019), superando a cualquier otro sector del campo mexicano (Sociedad Mexicana de Producción Orgánica 2017). Sin embargo, no existe suficientes estudios e investigaciones en relación a la eficiencia cuantitativa de fuentes orgánicas de nutrientes. Así como tampoco sobre la adición del silicio como bioestimulantes en abonos, extractos, hidrolizados o fertilizantes orgánicos para una producción orgánica, como una opción que promueva el desarrollo y crecimiento de las plantas, además que garantice la calidad, sabor y rendimiento de los cultivos como la producción convencional. Así mismo, es importante identificar los efectos positivos y negativos en compuestos orgánicos y la respuesta en las plantas, con el fin de aumentar el conocimiento en los procesos fisiológicos, de calidad y rendimiento de los cultivos. Permitiendo generar información que garantice una producción 100 % orgánica y con ello reducir el uso de funguicida e insecticidas y aumentar la resistencia ante estrés causado por diversos factores. Debido a esto el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de tres fuentes de fertilización orgánica, así como diferentes dosis de silicio aplicados vía solución nutritiva sobre el rendimiento y calidad de frutos de fresa cultivar Camino Real.

2. Métodos, técnicas e instrumentos

Diseño experimental

Se estableció el experimento bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial (4 x 3), totalizando 12 tratamientos. El factor A fueron cuatro fuentes de fertilización (Origen animal pescado, Origen vegetal maíz, Origen animal – vegetal y Solución Steiner), mientras que el factor B fueron tres niveles de silicio (0, 15, 20 ppm), con 8 repeticiones por tratamiento, para un total de 96 unidades experimentales los cuales fueron colocados en un invernadero con cubierta de polietileno, ventilación natural, un ventilador y un calefactor para homogenización y control de temperatura interna. El estudio se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAAN), Saltillo, Coahuila.

Material vegetal

La unidad experimental constó de una planta de fresa de la variedad «Camino Real» con respuesta al fotoperiodo de día corto, con un diámetro de corona que varió de 10 a 12 mm y se colocaron el 28 de agosto de 2019 una planta por maceta (Air-grower de 11L) con fibra de coco como sustrato de crecimiento con propiedades físicas adecuadas para el cultivo (25 % aireación, 67 % contenido volumétrico de humedad y 92 % porosidad total).

Tratamientos aplicados

Los tratamientos fueron diferentes soluciones nutritivas orgánicas aplicadas vía riego (tabla 1), comparadas contra solución Steiner como testigo y 3 concentraciones de ácido salicílico. El riego fue aplicado de forma manual utilizando la cantidad de un litro por maceta por día de cada solución nutritiva con lo cual se obtuvo un drenaje del 30 %. Previo a la aplicación de la solución nutritiva el pH y la salinidad se monitorearon con medidores portátiles (Horiba Laqua Twin). El rango del pH osciló entre 5.7 a 6 con un promedio de 5.85 y la salinidad de las diferentes soluciones nutritivas se mantuvo en un rango de 1.4 a 1.7 dS m⁻¹.

Tabla 1. Descripción del tratamiento.

Table 1. Description of the treatment.

Fuentes de fertilización (A)	Silicio en ppm (B)	Tratamientos
Origen animal 5-7-1 (0.823 mL L ⁻¹) más 4-1-1 (1.230 mL L ⁻¹) pescado	0	T1
	15	T2
	20	T3
	0	T4
Origen vegetal 3-2-2 (3 mL L ⁻¹) maíz	15	T5
	20	T6
	0	T7
Origen animal y vegetal 5-3-2 (1.83 mL L ⁻¹) pescado y maíz	15	T8
	20	T9
	0	T10
Solución Steiner.	15	T11
	20	T12

Preparación de solución nutritiva

En cuanto a la preparación de las soluciones nutritivas, para el de origen animal (pescado) se utilizó un producto comercial de la empresa Mar y Tierra (5-7-1) a 0.823 mL L⁻¹ más 1.230 mL L⁻¹ de otro producto de Mar y tierra (4-1-1) dando un total de 2.053 mL L⁻¹ como una sola solución y además se le adicionó 0.250 g L⁻¹ del producto comercial Allganic Potassium, 0.180 mL L⁻¹ del producto Fijaflor 8 % Calcio y 0.095 mL L⁻¹ del producto comercial Bioflora Mg 4 %; para el de origen vegetal maíz se utilizó otro producto comercial de la misma empresa Mar y Tierra (3-2-2) 3 mL L⁻¹, además de los productos Allganic Potassium 0.181 g L⁻¹, Fijaflor 8 % Calcio 0.180 mL L⁻¹ y 0.095 mL L⁻¹ de Bioflora Mg 4 % y para el de origen animal y vegetal (pescado-maíz) se agregó otro producto de la empresa Mar y Tierra (5-3-2) 1.83 mL L⁻¹, además de los productos comerciales Allganic Potassium 0.223 g L⁻¹, Fijaflor 8 % Calcio 0.180 mL L⁻¹ y Bioflora Mg 0.95 mL L⁻¹. Para el tratamiento control se utilizó la solución Steiner, a cada tratamiento se le agregó la cantidad de 1.590 g L⁻¹ (15 ppm) y 2.280 g L⁻¹ (20 ppm) de silicio amorfo (SiO₂) con nombre comercial Diatomix.

Determinación de parámetros del crecimiento vegetativo

El número de hojas, número de coronas, fueron determinados de manera visual, con una regla graduada en centímetros se evaluó la altura de planta. Para el índice de área foliar, se midió en cada una de las hojas la longitud del lóbulo de la hoja superior y el largo del lóbulo de la hoja izquierdo y se realizó el cálculo de acuerdo a la metodología descrita por Demirsoy *et al.* (2005).

Determinación de los parámetros fisiológicos

El potencial hídrico del tallo se evaluó con una cámara de presión portátil (PMS Instrument Company, Albany, OR), en hojas sanas y adultas, entre las 12:00 y 15:00 horas del día, totalmente soleado, siguiendo el procedimiento sugerido por Fulton *et al.* (2001), los resultados fueron expresados en unidades de presión Bar y se determinó el valor relativo de clorofila como el índice SPAD con un medidor de clorofila portátil (SPAD-502, Minolta, Japón) en hojas etiquetadas y de la misma edad a partir de emergencia. Después de los tres meses de trasplante se determinó la transpiración, fotosíntesis, conductancia estomática y eficiencia intrínseca del agua, con un equipo portátil Li-Cor 6800, bajo saturación de luz ($1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$).

Determinación de producción de frutos

Los frutos se recolectaron entre diciembre - marzo del año 2020, de los cuales se determinó el diámetro polar y ecuatorial (cm) con un vernier (Steren) y que además se contaron y pesaron individualmente con una báscula (marca Rhyno) para posteriormente determinar el número total de frutos y peso total por planta en (g).

Análisis de calidad nutracéutica de frutos

Sólidos solubles totales (SST)

A cada fruto cosechado se le extrajeron directamente algunas gotas de jugo y se colocaron en el refractómetro (ATAGO) para efectuar la lectura y los datos se reportaron en grados Brix ($^{\circ}\text{B}$).

Acidez titulable (AT)

Se determinó por el método de colorimetría de acuerdo al método reportado por (AOAC, 2005), utilizando como indicador 2 gotas de fenolftaleína ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$) en solución alcohólica al 1 %, para la extracción se usó 5 g fruto fresco por tratamiento y 50 ml de agua destilada; se tomó una alícuota de 10 ml de la solución y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N a pH 8.1, hasta obtener una coloración rosácea y los resultados se reportaron en porcentaje de ácido cítrico.

El contenido de vitamina C

Se realizó por titulación de acuerdo al método descrito por Padayatt *et al.* (2001), para la extracción se usó 20 gr de fruto fresco por tratamiento y 10 ml de ácido clorhídrico (HCL) al 2 %, posteriormente se aforó en 100 ml de agua destilada, con una gasa estéril se filtró y se midió el volumen total, finalmente se tomó 10 ml de muestra y con el reactivo 2,6 diclorofenol se tituló hasta tomar una tonalidad rosa y los datos se reportaron mg 100 g^{-1} de fruto fresco.

Fenoles totales

Los fenoles se cuantificaron utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteau de acuerdo a la metodología descrito por Singleton *et al.* (1999). La muestra de 50 mg de fruto liofilizado se extrajo con 1 ml de solución agua: acetona (1:1), se homogenizó con vórtex durante 30 segundos, posteriormente se sónico durante 5 min (*ultrasonic cleaner*) y se centrifugó a 12500 rpm durante 10 min a 4 $^{\circ}\text{C}$ con (Espectrofotómetro UNICO Modelo UV2150, Dayton, EE. UU.). Para la cuantificación, en un tubo de ensayo se agregó 50 μL del sobrenadante, se le añadió 200 μL de reactivo Folin-Ciocalteu, 500 μL de Carbonato de Sodio (Na_2CO_3) al 20 % y finalmente se adicionó 5 mL de agua destilada, se homogenizó con vórtex durante 30 s y fueron colocadas a baño maría de 45 $^{\circ}\text{C}$ durante 30 min. Finalmente, se tomó la lectura a una absorbancia de 750 nm usando una celdilla de cuarzo en espectrofotómetro UV-Vis (Espectrofotómetro UNICO Modelo UV2150, Dayton, EE. UU.). Los resultados se expresaron en mg EQ de Ácido Gálico * 100 g $^{-1}$ de (PS).

Flavonoides totales

Los flavonoides se determinaron mediante el método de Arvouet-Grand *et al.* (1994). Para la extracción, se colocó 20 mg de fruto liofilizado en un tubo de ensayo y se le agregó 2 mL de metanol grado reactivo, posteriormente se homogeneizó durante 30 s, se filtró con papel filtro Whatman Nº 1. Para la cuantificación se agregó 1mL de muestra en un tubo de ensayo y se mezcló con 1mL solución de tricloruro de aluminio (AlCl_3) al 2 %, enseguida se dejó reposar

en oscuridad a 4°C durante 20 min. La lectura de las absorbancias se midió con un espectrofotómetro UV-Vis (Espectrofotómetro UNICO Modelo UV2150, Dayton, Nueva Jersey, EE. UU). A una longitud de onda de 415 nm, empezando con el reactivo blanco en una celda de cuarzo. Los resultados se expresaron en el contenido total de flavonoides de los frutos en mg, EQ de Quercetina * 100 g⁻¹ de (PS).

Capacidad antioxidante

Se determinó según el método de Brand-Williams *et al.* (1995), utilizando el radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), se colocó 6 µL en pocillos de microplacas de extracto de la muestra y 234 µL de DPPH ($C_{18}H_{12}N_5O_6$) a 0.1 mM, se mezcló cuidadosamente y se incubó por 30 min en oscuridad, posteriormente se determinó la absorbancia a través de un lector de Microplacas (ALLSHENG, Modelo ELx808™) a una longitud de onda de 540 nm, como blanco se utilizó 240 µL de DPPH. Los resultados se expresaron en (mmol) * 100 g⁻¹ de (PS) de actividad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables descritas anteriormente fueron evaluados mediante análisis de varianza utilizando el *software* Infostat (versión 2020). Para comparar medias estadísticas se utilizó la prueba simultánea de Tukey a ($P < 0.05$).

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos no muestran interacciones significativas entre las fuentes de fertilización y silicio.

3.1 Crecimiento vegetativo

En cuanto a los efectos causados por las fuentes de fertilización no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en las variables de crecimiento estudiadas (tabla 2). Con respecto al número de hojas y número de coronas estas mostraron una tendencia numérica de 13 % y 15 % mayor en las plantas testigo comparadas con las soluciones orgánicas, mientras que, para altura de planta, aunque no significativamente, el mayor tamaño numéricamente con 8 % se obtuvo con las plantas cultivadas con la solución de origen vegetal (maíz). En contraste, para el área foliar, aunque todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales, numéricamente fue mayor con 6 % en las plantas testigo comparada con el área foliar producida por las plantas cultivadas en las soluciones orgánicas.

En cuanto a las dosis aplicadas de silicio en las fuentes de fertilización no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en las variables de crecimiento estudiadas (tabla 2). Con respecto al número de hojas esta mostró una tendencia numérica de 14 % mayor con la aplicación de 20 ppm de silicio comparada con las plantas testigo cultivadas sin la adición del silicio. Mientras que para el número de coronas presentó con 2 % mayor en plantas sin silicio. En contraste, para altura de planta y el índice de área foliar, aunque no fue significativo en el presente estudio, la mayor altura y tamaño numéricamente con 2 % y 4 % respectivamente se obtuvo con las plantas tratadas con 20 ppm de silicio.

Tabla 2. Comparación de medias de parámetros de crecimiento vegetativo.**Table 2.** Comparison of means of vegetative growth parameters.

Fertilización(A)	N.H	E.E	N.C	E.E	A.P(cm)	E.E	Í.A.F (Cm ²)	E.E
O.A	35.50 a	3.04	5.33 a	0.33	14.77 a	0.49	90.51 a	5.89
O.V	38.08 a	3.51	5.33 a	0.38	15.60 a	0.56	87.28 a	6.80
O.A-V	34.67 a	3.04	5.42 a	0.33	13.98 a	0.49	87.10 a	5.89
S.S	41.25 a	3.04	6.25 a	0.33	14.49 a	0.49	93.97 a	5.89
Silicio(B)								
0	35.88 a	2.63	5.63 a	0.28	14.39 a	0.42	85.72 a	5.10
15	35.06 a	2.94	5.56 a	0.32	14.85 a	0.47	91.11 a	5.70
20	41.19 a	2.63	5.56 a	0.28	14.88 a	0.42	92.32 a	5.10

Nota: Fuentes de fertilización como factor A. O. A = Origen Animal. O. V = Origen Vegetal. O. A-V = Origen Animal y Vegetal. S. S = Solución Steiner. Silicio = Tres dosis de silicio en ppm como factor B. N. H = Número de Hojas. N. C = Número de Coronas. A. P (cm) = Altura de Planta en cm. Í. A. F (cm²) = Índice de Área Foliar en centímetro cuadrado. E. E = Error Estándar. Letras iguales por columna indican que no existe diferencias significativas de acuerdo con Tukey a (P < 0.05).

Note: Fertilization sources as factor A. O. A = Animal Origin. O. V = Plant Origin. O. A-V = Animal and Vegetable Origin. S. S = Steiner solution. Silicon = Three doses of silicon in ppm as a factor B. N. H = Number of Leaves. N. C = Number of Crowns. A. P (cm) = Plant Height in cm. I. A. F (cm²) = Leaf Area Index in square centimeter. E. E = Standard Error. Equal letters per column indicate that there are no significant differences according to Tukey a (P < 0.05).

3.2 Parámetros fisiológicos

En cuanto a los efectos causados en los parámetros fisiológicos por las fuentes de fertilización solamente se observó diferencia significativa en el contenido de unidad SPAD siendo 7 % mayor en las plantas del tratamiento control (Steiner) comparadas con las tratadas con el producto de origen animal y vegetal (pescado-maíz), mientras que, para el resto de las variables fisiológicas estudiadas, no se encontraron diferencias significativas (tabla 3).

Con respecto al potencial hídrico, aunque no significativamente, el mayor potencial numéricamente con 4 % se obtuvo con las plantas tratadas con la solución de origen vegetal (maíz) comparada con el testigo. Mientras que, para la transpiración, la mayor transpiración con 9 % se obtuvo con las plantas cultivadas con la fertilización química (Steiner). Para la variable fotosíntesis, aunque estadísticamente igual, esta mostró una tendencia numérica con 6 % mayor en plantas tratadas con la solución de origen animal y vegetal (pescado-maíz) comparado con el tratamiento control. Con respecto a la conductancia estomática, aunque no significativamente, la mayor conductancia numéricamente con 15 % se obtuvo en plantas tratadas con el tratamiento control químico. En cuanto a la eficiencia intrínseca del agua, esta mostró una diferencia numérica de 17 % mayor tratadas con la fertilización de origen vegetal (maíz) comparada con la fertilización química.

Con respecto a las concentraciones de silicio evaluadas en los parámetros fisiológicos, solamente se observó diferencias significativas en el contenido de unidad SPAD, siendo 8 % mayor entre plantas tratados con 20 y 15 ppm de silicio, mientras que, para el resto de los parámetros fisiológicos estudiados, no mostraron cambios significativos (tabla 3). Así mismo, para el potencial hídrico, aunque estadísticamente igual, este mostró valores con 1 % mayor en plantas tratadas con 20 ppm de silicio comparada con plantas sin la adición del silicio. Mientras que, para la transpiración esta mostró una diferencia numérica de 2 % mayor sin la aplicación de silicio. En contraste, para la fotosíntesis y eficiencia intrínseca del agua, aun que no significativa, estas mostraron una diferencia numérica de 1 % y 7 % mayor con plantas tratadas con 20 ppm de silicio comparadas sin la aplicación de silicio. Mientras que, para la conductancia estomática, los valores fueron totalmente iguales entre plantas tratadas con y sin silicio.

Tabla 3. Comparación de medias de parámetros fisiológicos.**Table 3.** Comparison of means of physiological parameters.

Fertilización (A)	P. Hídrico (Bar)	E.E	V.R.C	E.E	Transp	E.E	Fotosin	E.E	Cond_Stoma	E.E	Ef_int_Agua	E.E
O.A	6.17 a	0.32	48.58 ab	0.89	3.00 a	0.25	16.64 a	0.50	0.11 a	0.01	5.80 a	0.38
O.V	6.52 a	0.37	47.09 ab	1.03	2.81 a	0.29	16.54 a	0.57	0.10 a	0.01	6.17 a	0.44
O.A-V	6.00 a	0.32	46.75 b	0.89	3.22 a	0.25	16.67 a	0.50	0.12 a	0.01	5.44 a	0.38
S.S	6.29 a	0.32	50.41 a	0.89	3.31 a	0.25	16.01 a	0.50	0.13 a	0.01	5.13 a	0.38
Silicio(B)												
0	6.26 a	0.28	46.34 ab	0.77	3.19 a	0.21	16.91 a	0.43	0.12 a	0.01	5.41 a	0.33
15	6.19 a	0.31	48.00 ab	0.86	2.92 a	0.24	15.49 a	0.48	0.11 a	0.01	5.69 a	0.37
20	6.28 a	0.28	50.28 a	0.77	3.13 a	0.21	17.00 a	0.43	0.12 a	0.01	5.80 a	0.33

Nota: Fuentes de fertilización como factor A. O. A = Origen Animal. O. V = Origen Vegetal, O. A-V = Origen Animal y Vegetal. S. S = Solución Steiner. Silicio = Tres dosis de silicio en ppm como factor B. P. Hídrico = Potencia Hídrica en Bar. V. R. C = Valor Relativo de Clorofila en unidad SPAD. Transp = Transpiración en mmol m⁻² s⁻¹. Fotosin = Fotosíntesis en μmol m⁻² s⁻¹. Cond_Stoma = Conductancia Estomática en mol m⁻² s⁻¹. Ef_int_agua = Eficiencia intrínseca del agua en μmol mmol⁻¹. E. E = Error estándar. Letras diferentes por columna indican que existe diferencias significativas de acuerdo con Tukey a (P < 0.05).

Note: Fertilization sources as a factor A. O. A = Animal Origin. O. V = Plant Origin, O. A-V = Animal and Plant Origin. S. S = Steiner solution. Silicon = Three doses of silicon in ppm as a factor B. P. Hydric = Waterpower in Bar. V. R. C = Relative Value of Chlorophyll in SPAD unit. Transp = Transpiration in mmol m⁻² s⁻¹. Photosin = Photosynthesis in μmol m⁻² s⁻¹. Cond_Stoma = Stomatal Conductance in mol m⁻² s⁻¹. Ef_int_water = Intrinsic efficiency of water in μmol mmol⁻¹. E. E = Standard error. Different letters per column indicate that there are significant differences according to Tukey a (P < 0.05).

3.3 Producción de frutos

Con respecto a los efectos causados por las fuentes de fertilización solamente se observó diferencia significativa en el peso total de fruto por planta siendo 9 % mayor en las plantas del tratamiento de origen animal (pescado) comparadas con las tratadas con el tratamiento control químico, mientras que, para el resto de las variables de producción estudiadas, no se encontraron diferencias significativas (tabla 4). Con respecto al diámetro polar y diámetro ecuatorial de fruto estas mostraron una tendencia numérica de 5 % y 3 % mayor con las plantas cultivadas con la solución de origen animal (pescado). Así mismo para el número de frutos, esta mostró una diferencia numérica mayor de 14 % con las plantas cultivadas con la solución de origen animal (pescado) comparada con el testigo (Steiner), aunque estadísticamente iguales.

Con respecto a las concentraciones de silicio evaluadas en la producción de frutos no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en todas las variables estudiadas (tabla 4). Para el diámetro polar y diámetro ecuatorial estas mostraron valores comparables entre las plantas cultivadas con 20 ppm de silicio y sin la adición del silicio. Mientras que, para el número de fruto y peso total de fruto, aun que no significativo, estas mostraron una diferencia numérica muy ligera de 1 % y 5 % mayor con plantas tratadas con 20 ppm de Silicio.

Tabla 4. Comparación de medias de producción de frutos.**Table 4.** Comparison of means of fruit production.

Fertilización(A)	D. P. F (cm)	E. E	D. E. F (cm)	E. E	No. F	E. E	P. T. F. P (g)	E. E
O.A	4.45 a	0.08	3.31 a	0.08	14.17 a	1.22	244.99 a	21.99
O.V	4.36 a	0.09	3.18 a	0.09	11.42 a	1.41	183.69 ab	25.40
O.A-V	4.34 a	0.08	3.18 a	0.08	13.33 a	1.22	223.59 ab	21.99
S.S	4.21 a	0.08	3.21 a	0.08	10.83 a	1.22	157.95 b	21.99
Silicio(B)								
0	4.39 a	0.07	3.24 a	0.07	12.50 a	1.06	203.40 a	19.05
15	4.25 a	0.07	3.18 a	0.07	12.19 a	1.18	189.98 a	21.29
20	4.38 a	0.07	3.24 a	0.07	12.63 a	1.06	214.29 a	19.05

Nota: Fuentes de fertilización como factor A. O. A = Origen Animal. O. V= Origen Vegetal, O. A-V = Origen Animal y Vegetal. S. S = Solución Steiner. Silicio = Tres dosis de silicio en ppm como factor B. D. P. F= Diámetro Polar de Fruto en cm. D. E. F = Diámetro Ecuatorial de Fruto en cm. No. F = Número de Frutos. P. T. F. P (g^{-1}) = Peso Total de Frutos por Planta en Gramos. E.E = Error Estándar. Letras diferentes por columna indican que existe diferencias significativas de acuerdo con Tukey a ($P < 0.05$).

Note: Fertilization sources as factor A. O. A = Animal Origin. O. V= Plant Origin, O. A-V = Animal and Plant Origin. S. S = Steiner solution. Silicon = Three doses of silicon in ppm as a factor B. D. P. F= Fruit Polar Diameter in cm. D. E. F = Equatorial Diameter of the Fruit in cm. No. F = Number of Fruits. P. T. F. P ($\text{g}-1$) = Total Weight of Fruits per Plant in Grams. SE = Standard Error. Different letters per column indicate that there are significant differences according to Tukey a ($P < 0.05$).

3.4 Calidad nutracéutica de frutos

En cuanto a los efectos causados por las fuentes de fertilización no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en todas las variables de calidad nutraceutica estudiadas (tabla 5). Con respecto a los sólidos solubles totales, acidez titulable y vitamina C los valores fueron totalmente comparables entre plantas tratadas con fertilización orgánica y el testigo químico. Mientras que, para el contenido de fenoles, se observó una ligera tendencia a incrementar con 12 % mayor en plantas tratadas con el tratamiento control químico comparada con las fuentes fertilización orgánica, aunque estadísticamente igual. Con respecto a flavonoides y capacidad antioxidantes, aunque no significativamente, estas mostraron una diferencia numérica de 5 % mayor en plantas cultivadas con la solución de origen animal (pescado) comparada con tratamiento control.

En cuanto la actividad del silicio a las dosis evaluadas, no se detectaron diferencias significativas, entre los tratamientos aplicados en todas las variables de calidad nutraceutica estudiadas (tabla 5). Para los sólidos solubles totales, aunque no significativo, esta mostró una diferencia numérica de 4 % mayor entre las plantas tratadas con 20 ppm de silicio. Mientras que para el porciento de acidez titulable y vitamina C, aunque no significativa, estas presentaron valores con 7 % y 2 % mayor sin la adición del silicio. En contraste, para fenoles, flavonoides y capacidad de antioxidantes, aunque estadísticamente iguales, estas variables presentaron valores de 11 % y 1 % mayor con la aplicación de 20 ppm de silicio comparada sin la adición.

Tabla 5. Comparación de medias de calidad nutracéutica de frutos.**Table 5.** Comparison of means of nutraceutical quality of fruits.

Fertilización (A)	S. S. T	E. E	% A. T	E. E	V. C	E. E	Fenoles	E. E	Flavonoides	E. E	C. Antiox	E. E
O.A	6.94 a	0.24	0.14 a	0.01	60.72 a	1.98	1977.92 a	158.71	178.51 a	10.17	7.51 a	0.16
O.V	6.83 a	0.28	0.14 a	0.01	56.25 a	2.29	1456.68 a	183.26	170.20 a	11.74	7.41 a	0.18
O.A-V	6.98 a	0.24	0.14 a	0.01	61.36 a	1.98	1999.71 a	158.71	178.20 a	10.17	7.33 a	0.16
S.S	6.89 a	0.24	0.14 a	0.01	60.64 a	1.98	2048.03 a	158.71	170.28 a	10.17	7.17 a	0.16
Silicio(B)												
0	6.79 a	0.21	0.15 a	0.01	61.15 a	1.72	1771.84 a	137.44	174.80 a	8.81	7.30 a	0.14
15	6.89 a	0.23	0.14 a	0.01	57.72 a	1.92	1848.31 a	153.67	172.29 a	9.84	7.38 a	0.15
20	7.06 a	0.21	0.14 a	0.01	60.35 a	1.72	1991.61 a	137.44	175.80 a	8.81	7.38 a	0.14

Note: Fuentes de fertilización como factor A. O. A = Origen Animal. O. V = Origen Vegetal. O. A-V = Origen Animal y Vegetal. S. S = Solución Steiner. Silicio = Tres dosis de silicio en ppm como factor B. S. S. T. = Sólidos Solubles Totales en porcentajes de grados brix. % A. T = Porcentaje de Acidez Titulable. V. C = Vitamina C en mg 100g de fruto fresco. Fenoles en miligramos EQ de Ácido Gálico en 100 gramos de fruto seco. Flavonoides en mg EQ de Quercetina en 100 gramos de fruto seco. C. Antiox = Capacidad de antioxidantes en milímoles equivalente a Trolox (TEAC) por 100 gramo de fruto seco. E. E = Error Estándar. Letras iguales por columna indican que no existe diferencias significativas de acuerdo con Tukey a ($P < 0.05$).

Note: Fertilization sources as factor A. O. A = Animal Origin. O. V = Plant Origin. O. A-V = Animal and Vegetable Origin. S. S = Steiner solution. Silicon = Three doses of silicon in ppm as a factor B. S. S. T. = Total Soluble Solids in percentages of degrees brix. % A. T = Percentage of Titratable Acidity. V. C = Vitamin C in mg 100g of fresh fruit. Phenols in milligrams EQ of Gallic Acid in 100 grams of dried fruit. Flavonoids in mg EQ of Quercetin in 100 grams of dried fruit. C. Antiox = Antioxidant capacity in millimoles equivalent to Trolox (TEAC) per 100 grams of dried fruit. E. E = Standard Error. Equal letters per column indicate that there are no significant differences according to Tukey a ($P < 0.05$).

3.5 Discusión

Crecimiento vegetativo

En este estudio los resultados confirman que las fuentes de fertilización aplicados vía riego, en variables de crecimiento de plantas de fresa (número de hojas, número de coronas, altura de planta y el índice de área foliar), generaron los mismos efectos que la fertilización químico Steiner, siendo estadísticamente iguales (Tabla 2). Lo cual difiere con lo reportado por Sahana *et al.* (2020) quienes observaron que la aplicación de diferentes abonos orgánicos (RDN 100 %) a través de vermicomposta, más un producto natural (Jeevamruth @) a 500 ml por maceta en dos etapas, más tratamiento de plántula con microorganismos (Beejamruth) influyeron significativamente en el número de hojas, número de coronas, altura y el área foliar en plantas de fresa. Así también, Molina Nieto (2014) en cultivo de fresa reportó diferencias significativas en el número de hojas entre el tratamiento lombricomposta y fertilizante líquido orgánico, mientras que en altura de plantas no presentaron diferencias significativas. Además, se ha reportado que en cultivo de fresa con tratamientos orgánicos de vermicomposta más biofertilizante (PSB) se mejora la altura de planta (Kumar *et al.*, 2015), que además coincide con Zuo *et al.* (2018) reportando que en cultivo de fresa con la adición de 30 % de vermicomposta (VC) en suelo se mejoró la altura de planta. En otros cultivos como tomates en invernadero, (Gutiérrez *et al.*, 2007), observaron que la aplicación de biofertilizantes no influyeron significativamente en el número de hojas, sin embargo, aumentó el crecimiento de las plantas. Así también en pimientos Berova *et al.* (2010) reportaron que con biofertilizante orgánico líquido a base de lombriz aceleró el crecimiento y la acumulación de biomasa del órgano fotosintetizador. Este efecto puede ser provocado por la capacidad que tienen los compuestos orgánicos de liberar y transferir nutrientes que cuando son absorbidos por las raíces de la planta en el transcurso benefician procesos fisiológicos, aumentando característica como contenido en las hojas de carbohidratos, clorofila y proteínas que en consecuencia aumenta la altura de las plantas en suelo (Alalaf *et al.*, 2020).

Con respecto a las concentraciones de silicio aplicadas en las fuentes de fertilización, para las variables de crecimiento estudiadas (número de hojas, número de coronas, altura de planta y el índice de área foliar), en este estudio los resultados confirman que aplicación del silicio en las fuentes de fertilización genera la misma respuesta que sin la adición de silicio, al no detectar diferencias significativas (Tabla 2). Resultados que difieren con lo reportado por Nada

(2020) en cultivo de fresa, quien reportó que con la aplicación de silicato de potasio a 0.6 g L^{-1} vía foliar aumentó significativamente el número de hojas y entre más se aumentan las concentraciones (0.2 , 0.4 y 0.6 g L^{-1}), también aumentan significantemente la altura de planta, peso fresco por planta, el número de copas secundarias por planta y el área foliar de las plantas de fresa. Además, los efectos beneficiosos del silicio en plantas estresadas son más visibles que las plantas no estresadas (Cooke *et al.*, 2016). Este efecto fue posiblemente ocasionado por las altas concentraciones que se aplicaron en estos experimentos, comparado con las usadas en el presente estudio.

Parámetros fisiológicos

En este estudio los resultados confirman de la efectividad de las fuentes de fertilización orgánicas en generar respuestas comparables a la fertilización química en los parámetros fisiológicos estudiadas (potencial hídrico, valor relativo de clorofila, transpiración, conductancia estomática y eficiencia intrínseca del agua), donde en el valor relativo de clorofila se observó diferencias significativas, mientras que para el resto de las variables estudiadas no mostraron cambios significativos (Tabla 3). Estos resultados difieren con lo reportado por Zuo *et al.* (2018) en cultivo de fresa, quienes indicaron que en el contenido de clorofila alcanzó un valor más alto en el tratamiento con vermicomposta al 20 % y 80 % de suelo (VC20) con un aumento de 16.88 % en comparación con el control, además promovió el crecimiento, mediante la regulación de una serie de parámetros fisiológicos como la tasa de transpiración (E), tasa fotosintética y la conductancia estomática, mejoraron con la aplicación vermicomposta VC.

En otros cultivos como menta García (2018) mencionó que no existe diferencias estadísticas significativas en el contenido de clorofila total, contenido indirecto de clorofila (SPAD) y la conductancia estomática, con respecto al factor fertilización (vermicomposta y medusa), pero se mantiene la tendencia a favorecer los tratamientos con vermicomposta y medusa. Sin embargo, Grech (2020) encontraron diferencias significativas entre tratamientos de abono mineral y compost (fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, purines de cerdo, fangos digeridos y deshidratados) para los dos tipos de clorofilas y para clorofila total en cultivo de lechuga, siendo el abono mineral como el mejor tratamiento. Mientras que, en cultivo de manzana Parra *et al.* (2002) menciona que las fertilizaciones orgánicas al suelo no influyen en el potencial hídrico y tasa transpiratoria de la hoja, aunque se registraron mayores tasas con la adición de MO. En cultivo de pimiento Berova *et al.* (2010) indican que la actividad fotosintética aumenta aproximadamente en un 32 % tratadas con biofertilizante líquido a base de lombriz, esto tal vez por el alto contenido de propiedades y nitrógeno que poseen las fuentes de fertilización orgánica. Mientras que en cultivo de arándano los efectos del sustrato con (5 % MO), aumentó la tasa de transpiración y redujo la eficiencia del uso instantáneo del agua (Viencz *et al.*, 2021).

En cuanto a las dosis aplicadas de silicio en las fuentes de fertilización, en los parámetros fisiológicos estudiadas (potencial hídrico, valor relativo de clorofila, transpiración, conductancia estomática y eficiencia intrínseca del agua), los resultados confirman que solamente se observó diferencias significativas en el valor relativo de clorofila, mientras que para el resto de las variables fisiológicas estudiadas no mostraron cambios significativos entre la adición de 20 ppm y sin la aplicación del silicio. (Tabla 3). Resultado que coincide con lo reportado por Dehghanipoodeh *et al.* (2018) quienes encontraron que el silicato de potasio a 15 mmol L^{-1} mejoró significativamente el contenido de clorofila en las hojas de fresa en comparación con el control. Así mismo Nada (2020) en plantas de fresa, menciona que la clorofila a y b de las hojas aumentaron significativamente al aumentar las concentraciones de silicato de potasio. En otro cultivo Cao *et al.* (2013) quienes encontraron que a 0.6 mM y 1.2 mM de silicio en tomate cultivado hidropónicamente, el contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofila a y b), la tasa fotosintética y la eficiencia del uso instantáneo del agua, tienden a aumentaron en las dos concentraciones, mientras que la tasa de transpiración de la hoja tiende a disminuir. Así mismo De Melo Filho *et al.* (2020) reportaron que la aplicación de silicio en plantas de remolacha disminuye la conductancia estomática. Esto tal vez debido a que el Silicio se deposita en las paredes celulares de los vasos del xilema y en el tejido epidérmico de las hojas que protege los tejidos vegetales contra la pérdida excesiva de agua por transpiración debido a una reducción en el diámetro de los poros estomáticos reduciendo así la transpiración (SEPHU, 2009). Sin embargo, Tripathi *et al.* (2021) mencionan que la tasa de transpiración (E), la fotosíntesis neta (PN) y la conductancia estomática (gs) fueron más altas en las plantas de soja tratadas con silicio y que además coincide con Hussain *et al.* (2021) indicando que la aplicación foliar de silicio aumentó significativamente la tasa de transpiración, tasa fotosintética y la conductancia estomática en cultivo de soja. Esto tal vez por que la

aplicación de silicio aumenta el contenido de clorofila y carbohidratos no estructurales, y aumentó los genes relacionados con el complejo de captación de luz II, que aumentó la tasa fotosintética (Teixeira *et al.*, 2020 y Zhang *et al.*, 2018).

Producción de frutos

En este estudio los resultados confirman que las fuentes de fertilización aplicados vía riego, en las variables de producción de frutos (diámetro polar y ecuatorial de fruto, numero de frutos y peso total de frutos por planta), solamente se observó diferencia significativa en el peso total de fruto por planta entre plantas tratadas con la fertilización de origen animal (pescado) comparadas con las tratadas con el tratamiento control químico, mientras que, para el resto de las variables de producción estudiadas, no se encontraron diferencias significativas (tabla 4). Resultado que difiere con lo reportado por Romero (2011) en cultivo de fresa, al obtener valores más altos en el número total de frutos, aplicando la mezcla del 100 % de fertilizante químico más la adición de ácido fúlvico, además de un regulador de crecimiento y una concentración del 100 % de vermicomposta. Con la mezcla del 50 % de fertilizante químico y la adición de ácido fúlvico, además de regulador de crecimiento y el 50 % de vermicomposta, mejoró el tamaño de frutos. Además, contrasta con Neamah *et al.* (2020) en cultivo de fresa, mencionando que en la fertilización orgánica (OF) elaborada a base de restos de trigo, entre mayor cantidad se aplique es mejor, y al incorporar biofertilizantes elaborados a base de *Azospirillum* y *Azotobacter*, que mejoran eficazmente el número de frutos por planta, peso del fruto y el rendimiento, tal vez por el aumento significativo de elementos esenciales como el N, P y K. Sahana *et al.* (2020) reportan que la aplicación de diferentes abonos orgánicos (RDN 100 %) a través de vermicomposta, más un producto (Jeevamruth @) a 500 ml por maceta en dos etapas y la adición de microorganismos (Beejamruth) registró diferencias significativas en la longitud y diámetro de fruto, además de mayor número de frutos por planta y un aumento máximo de 76.37 % en rendimiento.

En cuanto a las concentraciones de silicio evaluadas en la producción de frutos (diámetro polar y ecuatorial de fruto, número y peso total de frutos), los resultados confirman que no hay cambios significativos entre la adición y sin la aplicación del silicio en las fuentes de fertilización (tabla 4). Ouellette *et al.* (2017) observaron que el silicio no se transloca en frutos de fresa, por lo tanto, no hay efecto en la calidad de la fruta. Sin embargo, Peris *et al.* (2020) mencionan que las plantas de fresa tratadas con silicio en sustrato orgánico vía radicular mostraron un diámetro de fruto similar al de las fresas disponibles comercialmente, además de mayor número de frutos y un aumento considerable del peso del fruto por planta. Así mismo, la combinación de silicio con algas generó un aumento promedio de 26 % en el rendimiento total de frutos (Weber *et al.*, 2018). Nada (2020) en plantas de fresa, menciona que la que la aplicación de silicato de potasio a 0.6 g L⁻¹ registró los valores más altos en el rendimiento comercial y el rendimiento total (toneladas). Además, Reis *et al.* (2007) obtuvieron resultados similares al observar que la aplicación de Si (L y R) incrementó la producción y calibre de los frutos, quizás debido a que el silicio favoreció la absorción de fósforo por las plantas debido a la similitud molecular entre los aniónicos formas (H₂PO₄ y H₃SiO₄).

Calidad nutracéutica de frutos

En este estudio los resultados confirman que las fuentes de fertilización orgánica, en la calidad nutracéutica de frutos estudiadas (sólidos solubles totales, porcentaje de acidez titulable, vitamina C, fenoles, flavonoides y capacidad de antioxidantes), generaron los mismos efectos que la fertilización químico Steiner, al no encontrar diferencias significativas (Tabla 5). Resultados que difieren con lo reportado por Kumar *et al.* (2015) en frutos de fresa, presentando mayor porcentaje de sólidos solubles totales (TSS), azúcares totales y jugo, por la aplicación de vermicompost + biofertilizante (PSB). Así también García *et al.* (2019) reportó diferencias significativas en el contenido de SST entre los tratamientos Orgánico (10.9 %) y Químico – Orgánico (8.7 %), mientras que en el contenido de ácido cítrico y vitamina C no encontraron diferencias significativas. Además, Terrazzan *et al.* (2006), encontraron mayores valores de vitamina C en frutos de fresa del cultivar Oso Grande producidos en sistema orgánico, sin embargo, Mena Chacón *et al.* (2017) reportaron diferencias no significativas en el contenido de Vitamina C entre tratamientos de fertilización orgánica y química en cultivo de fresa.

Mientras que Reganold *et al.* (2010) en cultivares de fresa de variedades Diamante, San Juan y Lanai, demostraron que las frutillas cultivadas en un sistema orgánico presentaron mayor contenido de ácido ascórbico,

compuestos fenólicos y mayor actividad antioxidante. Así mismo, Cantillano *et al.* (2012) reportaron en la evaluación de dos cultivares de fresa (Camino Real y Camarosa) en dos sistemas de producción (orgánica y convencional) mayor contenido de fenoles para los dos cultivares en ambos sistemas de producción hasta el quinto día de almacenamiento. Además, López (2017) concluyó que no hay diferencias significativas en la actividad antioxidante entre las fresas frescas procedentes del cultivo ecológico y el tradicional. En cultivo de tomate Benbrook *et al.*, (2008) concluyen que el ácido ascórbico (en aproximadamente 6 de 10 casos), contenido de fenoles totales (en aproximadamente 7 de 10 casos) y la actividad antioxidante (en aproximadamente 9 de 10 casos), son a menudo más altos en frutos cultivados orgánicamente en comparación con las producidas de manera convencional con fertilización química.

En cuanto la actividad del silicio a las dosis evaluadas en la calidad nutracéutica de frutos estudiadas (solidos solubles totales, porcentaje de acidez titulable, vitamina C, fenoles, flavonoides y capacidad de antioxidantes), los resultados confirman que no hay cambios significativos entre la adición y sin la aplicación del silicio en las fuentes de fertilización (Tabla 5). Resultado que difiere con lo reportado por Nada (2020) quien muestra que a medida que las tasas de silicato de potasio aumentan hasta 0.6 g L^{-1} , mostraron un aumento significativo en los sólidos solubles totales, acidez titulable y el contenido de vitamina C de la fresa. Sin embargo, en plantas de fresa del cultivar Kurdistán y Paros, Yaghubi *et al.* (2019) mencionan que la nutrición con silicio a 1500 ppm podría mejorar el TSS y acidez titulable en condiciones no salinas, además este aumento le atribuye al aumento del contenido de clorofila y la eficiencia fotosintética, ya que los azúcares y ácidos orgánicos producidos en la hoja se translocan a los frutos y aumentan su TA, sin embargo, al aplicar 1000 ppm de silicato de potasio podría mejorar el contenido de fenoles totales (TP), en plantas no estresadas. Valentinuzzi *et al.* (2018) en cultivo de fresa, reportaron la concentración de fenoles totales varió significativamente entre los tratamientos, siendo más altos en los frutos testigo que con la aplicación de 100 mg L^{-1} de silicio, mientras que en el contenido total de flavonoides no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En otros cultivos Azad *et al.* (2021), observaron que la dosis de silicio tiene un efecto en la acumulación de compuestos bioactivos como: compuestos fenólicos totales, flavonoide total, así como la capacidad antioxidante, aumentaron significativamente cuando se cultivaron en dosis más bajas de silicio en cultivo de trigo. Mientras que Vega *et al.* (2019) reportaron mayor capacidad antioxidante en el cultivo de cebada del cultivar Scarlett, cuando se aplicó silicio.

4. Conclusiones

Las fuentes de fertilización orgánica estudiadas son una alternativa viable que puede sustituir la fertilización química con las cuales se obtienen resultados comparables a la fertilización sintética en la calidad y rendimiento de plantas de fresa del cultivar camino Real. En cuanto a las concentraciones evaluadas de silicio, en este estudio no se encontraron diferencias ni tendencias favorables en ninguno de los parámetros evaluados al compáralos con las plantas testigo

5. Información adicional

No.

6. Agradecimientos

Al programa de Maestría en Ciencias en Horticultura. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo económico brindado durante este periodo.

Información de los autores

Rey David Hernández Valencia¹

Antonio Juárez Maldonado²  0000-0003-3061-2297

Armando Pérez Hernández³  0000-0001-9182-618X

Carlos Javier Lozano Cavazos⁴  0000-0003-2838-8476

Alejandro Zermeño González⁵

José Antonio González Fuentes¹  0000-0002-8740-3931

Contribución de los autores en el desarrollo del trabajo

Los autores declaran que contribuyeron por igual para la realización de esta investigación.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Referencias

- AOAC Official Method 942.15. (2005). *Acidity (Titratable) of Fruit Products*. Official method of Analysis of AOAC International.
- Alalaf, A. H. E., Shayal Alalam, A. T., y Fekry, W. M. E. (2020). Improve the vegetative growth and mineral content of grapefruit seedlings by adding some bio and organic fertilizers. *EurAsian Journal of BioSciences Eurasia J Biosci*, 14(November 2019), 4451-4456.
- Arvouet-Grand, A., Vennat, B., Pourrat, A., y Legret, P. (1994). Standardization of propolis extract and identification of principal constituents. *J Pharm Belg*, 49(6), 462-468.
- Azad, M. O. K., Park, B. S., Adnan, M., Germ, M., Kreft, I., Woo, S. H., y Park, C. H. (2021). Silicon biostimulant enhances the growth characteristics and fortifies the bioactive compounds in common and Tartary buckwheat plant. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 24(1), 51-59. <https://doi.org/10.1007/s12892-020-00058-1>
- Berova, M., Karanatsidis, G., Sapundzhieva, K., y Nikolova, V. (2010). Effect of organic fertilization on growth and yield of pepper plants (*Capsicum annuum L.*). *Folia Horticulturae*, 22(1), 3-7. <https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0143>
- Benbrook, C., Zhao, X., Yanez, J., Davies, N., y Andrews, P. (2008). *New Evidence Confirms the Nutritional Superiority of Plant-Based Organic Food*. The Organic Center.
- Brand-Williams, M. Cuvelier, and C. Berset. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cao, B. L., Xu, K., Shi, J., Xin, G. F., Liu, C. Y. y Li X. (2013). Effects of silicon on growth, photosynthesis, and transpiration of tomato. *Plant Nutr Fertil Sci*, 19, 354-360.
- Cantillano, R. F. F., Ávila, J. M. M., Peralba, M. do C. R., Pizzolato, T. M., y Toralles, R. P. (2012). Actividad antioxidante, compuestos fenólicos y ácido ascórbico de frutillas en dos sistemas de producción. *Horticultura Brasileira*, 30(4), 620-626. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362012000400010>
- Cooke, J., y Leishman, M. R. (2016). Consistent alleviation of abiotic stress with silicon addition: a meta-analysis. *Functional Ecology*, 30(8), 1340-1357. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12713>
- De las Heras, J., Fabeiro C., Meco R. (2003). *Fundamentos de la agricultura ecológica: realidad actual y perspectivas*. Universidad de Castilla.
- Dehghanipoodeh, S., Ghobadi, C., Baninasab, B., Gheysari, M., y Bidabadi, S. S. (2016). Effects of potassium silicate and nanosilica on quantitative and qualitative characteristics of a commercial strawberry (*fragaria × ananassa* cv. ‘camarosa’). *Journal of Plant Nutrition*, 39(4), 502-507. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1086789>
- Dehghanipoodeh, S., Ghobadi, C., Baninasab, B., Gheysari, M., y Shiranibidabadi, S. (2018). Effect of Silicon on Growth and Development of Strawberry under Water Deficit Conditions. *Horticultural Plant Journal*, 4(6), 226-232. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.09.004>.
- De Melo Filho, J. S., Da Silva, T. I., De Melo Gonçalves, A. C., De Sousa, L. V., Véras, M. L. M., y Dias, T. J. (2020). Physiological responses of beet plants irrigated with saline water and silicon application. *Comunicata Scientiae*, 11(March), 1-8. <https://doi.org/10.14295/cs.v11i0.3113>.
- Demirsoy, H., Dermirsoy, L., y Ozturk, A. (2005). *Improved model for the non-destructive estimation of strawberry leaf area*. Ondokuz Mays University. Faculty of Agriculture. Department of Horticulture. Fruits, 2005. Vol. 60. 10.1051/fruits:2005014.
- FAOSTAT. (2019). *The statistics division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

- Fulton, A., Buchner, R., Olson, B., Schwankl, L., Gilles, C., Bertagna, N., ... Shackel, K. (2001). Rapid equilibration of leaf and stem water potential under field conditions in almonds, walnuts, and prunes. *HortTechnology*, 11(4), 609–615. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.11.4.609>
- García, E. (2018). Mitigación del déficit hídrico en *Mentha spicata* L. con fertilizantes orgánicos, expresado en variables fisiológicas y de producción. [CIBNOR. Tesis de grado]. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/1733>
- García, C. V., Becerril, R. E., Saucedo, V. C., Velazco, C. C., Calderón, Z. G., Espinosa, H. V., Jaen, C. D. (2019). Combinación de fertilización orgánica, inorgánica y hongos micorrízicos para mejorar calidad de los frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch). Colegio de Postgraduados. *Agrociencia*, 53, 1247-1255.
- Gómez, M.A. (2004). La agricultura orgánica en México y el mundo. *Biodiversitas*, 55, 13-13.
- Gómez, C. M. A., Schwentessius R., Meraz, A. M. R., Lobato, G. A. J., y Gómez T. L. (2005). *Agricultura, apicultura y ganadería orgánica de México. 2005*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo, Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y tecnológicas (CIESTAAM), Programa Integración Agricultura Industria (PIAI).
- Gutiérrez Miceli, F. A., Santiago Borraz, J., Montes Molina, J. A., Nafate, C. C., Abud Archila, M., Oliva Llaven, M. A., Rincón Rosales, R., y Dendooven, L . (2007). Vermicompost como suplemento de suelo para mejorar el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto del tomate (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technol*, 98(15), 2781-2786.
- Grech, H. C. (2020). Evaluación del crecimiento y contenido de clorofillas, carbohidratos y lípidos en cultivo de invierno de lechuga sativa L. fertilizado con abono abonos orgánicos. [Trabajo final de grado].
- Hussain, S., Mumtaz, M., Manzoor, S., Shuxian, L., Ahmed, I., Skalicky, M., ... Liu, W. (2021). Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 159(August 2020), 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.053>
- International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM). (2008). *Definition of Organic Agriculture*.
- Kumar, N., Singh, H. K., y Mishra, P. K. (2015). Impact of Organic Manures and Biofertilizers on Growth and Quality Parameters of Strawberry cv. Chandler. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(15). <https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i15/51107>
- López, d. C. J. (2017). *Estudio comparativo de la actividad antioxidante en fresas de cultivos de origen tradicional versus ecológico*. [Universidad de Da Coruña. Facultad de Ciencias. Tesis de Grado].
- Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., y Song, A. (2015). Silicon in agriculture: From theory to practice. *Silicon in Agriculture: From Theory to Practice*, 1-235. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9978-2>.
- Molina, N., C. R. (2014). *Efecto de cuatro biofertilizantes en la producción de estolones y fruto de fresa*. 72. https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wpcontent/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_molina_nieto.pdf
- Mena, L., Sarmiento, G., y Camargo, P. (2017). Impact of the integral fertilizer on strawberry yield and quality (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Selva under a drip irrigation system and plastic. *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 357-366. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.07>.
- Nada, M. (2020). Effect of Foliar Application with Potassium Silicate and Glycine Betaine on Growth and Early Yield Quality of Strawberry Plants. *Journal of Plant Production*, 11(12), 1295-1302. <https://dx.doi.org/10.21608/jpp.2020.149800>
- Neamah, S. S., Al-Abbasi, G. B. A., y Hasan, A. E. (2020). Effect of organic and bio fertilization in yield characters and fruit quality of strawberry *fragaria x ananassa* duch rubygem. *Plant Archives*, 20(1), 408-412.
- Ouellette, S., Goyette, M.H., Labbe, C., Laur, J., Gaudreau, L., Gosselin, A., Dorais, M., Deshmukh, R.K., Belanger, R.R. (2017). Silicon transporters and effects of silicon amendments in strawberry under high tunnel and field conditions. *Front. Plant Sci*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00949>
- Padayatt, S. J., Daruwala, R., Wang, Y., Eck, P. K., Song, V., Koh, W. S., y Levine, M. (2001). Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. En E. Cadenas y L. Packer (Eds.). *Handbook of antioxidants* (pp. 117-145). CRC Press.

- Parra, Q. R. A., Becerril, R. A. E., López, C. C. (2002). Transpiración, resistencia estomática y potenciales en manzano ‘golden delicious’ injertado sobre portainjertos clonales. *Terra Latinoamericana*, 20. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapino, México.
- Peris-Felipo, F. J., Benavent-Gil, Y., y Hernández-Apaolaza, L. (2020). Silicon beneficial effects on yield, fruit quality and shelf-life of strawberries grown in different culture substrates under different iron status. *Plant Physiology and Biochemistry*, 152, 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.026>
- Romero, R.C.O. (2011). *Fertilización orgánica-mineral en el cultivo de fresa, y evaluación de sustratos para la producción de lombriz (Eisenia foetida Sav.)*. [Colegio de Postgraduados. Tesis de Posgrado].
- Reganold, J. P., Andrews, P. K., Reeve, J. R., Carpenter-Boggs, L., Schadt, C. W., Alldredge, J. R., ... Zhou, J. (2010). Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. *PLoS ONE*, 5(9), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012346>.
- Reis, T. H. P., Guimarães, P. T. G., Figueiredo, F. C., Pozza, A. A. A., Nogueira, F. D., Rodrigues, C. R. (2007). *O silício na nutrição e defesa de plantas*. EPAMIG.
- Sahana, B. J., Madaiah, D., Sridhara, S., Pradeep, S., y Nithin, K. M. (2020). Study on Effect of Organic Manures on Quality and Biochemical Traits of Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) under Naturally Ventilated Polyhouse. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(10), 2692-2698. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.910.325>
- Sociedad Mexicana de Producción Orgánica. (2017). *Situación mundial de la producción orgánica y perspectivas de la producción orgánica en México*. <http://www.somas.org.mx/wp-content/uploads/2019/01/LIBRO-DIGITAL-DE-AGRICULTURA-SOSTENIBLE-2017-1.pdf>
- Sephu, S. A. (2009). El silicio (Si) como elemento fertilizante y protector de enfermedades y plagas. SEPHU. https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/028---15.05.09---El-Silicio-como-fertilizante-y-fungicida.pdf
- SIAP-SADER (2019). *Producción Orgánica*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564356/2020_Utilidad_de_Frontera_Agricola_en_el_estado_de_Chihuahua.pdf
- SIAP-SADER (2020). *Panorama Agroalimentario 2020*. <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2020/11/Atlas-Agroalimentario-2020.pdf>
- Singleton, R. Orthofer, y R. Lamuela. (1999). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. Methods in Enzymology. En L. Packer, N. Kaplan, S. Fleischer, y S. Colowick (Eds.). *Methods in enzymology* (pp. 152-178). [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15(2), 134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Teixeira, G. C. M., de Mello Prado, R., Oliveira, K. S., D'Amico-Damiao, V., y Junior, G. S. de S. (2020). Silicon increases leaf chlorophyll content and iron nutritional efficiency and reduces iron deficiency in sorghum plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-10.
- Terrazzan, P., Aguilera, J. S., Heiffig, L. S., y Kluge, R. A. (2006). Physicochemical characterization of refrigerated strawberries conventional and organic crop systems. *Revista Ibero-Americana de Tecnología Postcosecha*, 8, 33-37.
- Tripathi, P., Na, C. I., y Kim, Y. (2021). Effect of silicon fertilizer treatment on nodule formation and yield in soybean (*Glycine max* L.). *European Journal of Agronomy*, 122(September 2020), 126172. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126172>
- Valentinuzzi, F., Cologna, K., Pii, Y., Mimmo, T., y Cesco, S. (2018). Assessment of silicon biofortification and its effect on the content of bioactive compounds in strawberry (*Fragaria × ananassa* ‘Elsanta’) fruits. *Acta Horticulturae*, 1217, 307–312. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1217.38>
- Verlag, C. (1988). *Fertilizantes y fertilización*. Editorial REVERTE.

- Vega, I., Nikolic, M., Pontigo, S., Godoy, K., Mora, M. D. L. L., y Cartes, P. (2019). Silicon improves the production of high antioxidant or structural phenolic compounds in barley cultivars under aluminum stress. *Agronomy*, 9, 388.
- Viencz, T., Santana, K., Ayub, R. A., y Botelho, R. V. (2021). Development, photosynthesis, and yield of blueberry cultivar ‘Climax’ growth with different substrates and nitrogen fertilization under protected cultivation. *Ciencia rural*, 51(6), 1-10. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190367>
- Weber, N., Schmitzer, V., Jakopic, J., y Stampar, F. (2018). First fruit in season: seaweed extract and silicon advance organic strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruit formation and yield. *Scientia Horticulturae*, 242, 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.038>
- Yaghubi, K., Vafaee, Y., Ghaderi, N., y Javadi, T. (2019). Potassium Silicate Improves Salinity Resistant and Affects Fruit Quality in Two Strawberry Cultivars Grown Under Salt Stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(12), 1439-1451. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1621333>
- Zuo, Y., Zhang, J., Zhao, R., Dai, H., y Zhang, Z. (2018). Application of vermicompost improves strawberry growth and quality through increased photosynthesis rate, free radical scavenging, and soil enzymatic activity. *Scientia Horticulturae*, 233(January), 132–140.
- Zhang, Y., Yu, S., Gong, H-j., Zhao, H-l., Li, H-l., Hu, Y-h., et al. (2018). Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress. *Journal of Integrative Agriculture*, 17, 2151–2159.