

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCION DE POSTGRADO



EFFECTO DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS Y SILICIO EN
CULTIVO DE FRESA (*Fragaria x ananassa*)

Tesis

Que presenta REY DAVID HERNÁNDEZ VALENCIA
como requisito para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIA EN HORTICULTURA


Saltillo, Coahuila

Julio 2021


EFFECTO DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS Y SILICIO EN
CULTIVO DE FRESA (*Fragaria x ananassa*)

Tesis


Elaborado por REY DAVID HERNÁNDEZ VALENCIA como requisito parcial
para obtener el grado de Maestro en Ciencia en Horticultura con la supervisión
y aprobación del Comité de Asesoría




Dr. José Antonio González Fuentes
Asesor Principal



Dr. Antonio Juárez Maldonado
Asesor




Dr. Armando Hernández Pérez
Asesor



Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos
Asesor



Dr. Alejandro Zermeño González
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Agradecimientos

A dios por darme la oportunidad de vida y salud durante este proceso de formación.

A mis asesores, Dr. José Antonio González Fuentes, Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos, Dr. Antonio Juárez Maldonado, Dr. Alejandro Zermeño González y el Dr. Armando Hernández Pérez, por sus absolutos apoyos para el cumplimiento del objetivo de este proyecto. Por su disponibilidad y facilidad de medios necesarios, principalmente conocimientos, experiencias y materiales de trabajo.

Al posgrado de la Maestría en Ciencias en Horticultura por la oportunidad brindada y contribución de cada uno de los profesores investigadores hacia mi formación académica y humana.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por los recursos económicos brindados durante este proceso de formación.

Dedicatorias

A mis padres por su confianza, por sus palabras de aliento que recibí durante este proceso y por su ejemplo de amor y perseverancia.

A mi hija por ser el motivo de cada caminar de mi vida y de cada objetivo cumplido.

Índice General

Agradecimientos	III
Índice General.....	IV
Lista de Tablas.....	VII
Lista de figuras.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Agricultura orgánica	4
Fresa (<i>Fragaria x ananassa</i>)	6
Fuentes de fertilización orgánica	6
Abonos líquidos	7
Bioestimulantes	8
Silicio como bioestimulante	9
Trabajos relacionados con la producción orgánica de fresa.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
Localización del sitio experimento	13
Establecimiento del experimento.....	13
Tratamientos aplicados	13
Preparación de la solución nutritiva	14
Variables evaluadas	15
Determinación de parámetros ambientales	15
Temperatura y humedad relativa.....	15
Déficit de presión de vapor (DPV)	15
Determinación de parámetros del crecimiento vegetativo	15
Determinación de los parámetros fisiológicos	16
Determinación de producción de frutos	16

Análisis de calidad nutracéutica de frutos	16
Sólidos solubles totales (SST).....	16
Acidez titulable (AT).....	17
Vitamina C.....	17
Fenoles.....	18
Contenido de Flavonoides	19
Antioxidantes totales	19
Diseño experimental y análisis estadístico	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
Parámetros del crecimiento vegetativo.....	20
Parámetros fisiológicos	22
Producción de frutos	26
Calidad nutracéutica de frutos	29
Análisis de componentes principales.....	33
CONCLUSIONES	37
REFERENCIAS	38
CITAS ELECTRONICAS	49

Lista de tablas

Tabla 1. Descripción del tratamiento.....	14
Tabla 2. Comparación de medias de parámetros de crecimiento vegetativo.....	22
Tabla 3. Comparación de medias de parámetros fisiológicos.....	26
Tabla 4. Comparación de medias de producción de frutos.....	29
Tabla 5. Comparación de medias de calidad nutracéutica de frutos.....	33
Tabla 6. Valores y vectores propios para los dos primeros componentes principales de 20 variables evaluadas en cultivo de fresa.	35

Lista de Figuras

Figura 1. Distribución de 20 variables con su peso sobre los dos primeros componentes principales.	37
---	----

RESUMEN

EFFECTO DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS Y SILICIO EN
CULTIVO DE FRESA (*Fragaria x ananassa*)

POR

REY DAVID HERNÁNDEZ VALENCIA
MAESTRIA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ FUENTES – ASESOR -

Una combinación adecuada de fuentes orgánicas de nutrientes puede permitir un crecimiento y rendimiento adecuado del cultivo fresa y disminuir el uso de fertilizantes químicos en beneficio del medio ambiente y los consumidores. Así también, el silicio puede ayudar a las plantas a soportar condiciones adversas de medioambiente, biológicas y edáficas, aumentando y mejorando calidad en la producción. Por lo que, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de tres fuentes de fertilización orgánica: uno de origen animal (pescado), 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 0, 15 y 20 ppm. Se evaluaron parámetros de crecimiento, parámetros fisiológicos, así como de rendimiento y calidad nutraceutica en frutos de fresa del cultivar Camino Real, bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial (4 x 3). De acuerdo con los resultados de crecimiento vegetativo y parámetros fisiológicos, los tratamientos con la fertilización orgánica mostraron valores similares al tratamiento control, así mismo para el rendimiento y calidad nutraceutica mostraron valores estadísticamente iguales. 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 orgánica obteniendo resultados similares. Además, el análisis multivariado de los componentes principales, confirma que existe una relación positiva en las variables de crecimiento vegetativo, parámetros fisiológicos, de rendimiento y de calidad nutraceutica con las fuentes de fertilización orgánicas.

Palabras clave: Fresa, agricultura orgánica, bioestimulantes, Silicio.

ABSTRACT

EFFECT OF ORGANIC FERTILIZERS AND SILICON ON
STRAWBERRY CULTURE (*Fragaria x ananassa*)

BY

REY DAVID HERNÁNDEZ VALENCIA
MASTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ FUENTES – ADVISER -

Saltillo, Coahuila

July 2021

A suitable combination of organic sources of nutrients can allow an adequate growth and 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 research was to determine 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 as a control. (Steiner), with three silicon concentrations 0, 15 and 20 ppm. Growth parameters, physiological parameters, as well as nutraceutical performance and quality were evaluated in strawberry fruits of the cultivar Camino Real, under a completely randomized experimental design with factorial arrangement (4 x 3). According to the results of vegetative growth and physiological parameters, the treatments with organic fertilization showed similar values to the control treatment, likewise for the yield and nutraceutical quality they showed statistically equal values. 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 similar results. In addition, the multivariate analysis of the main components confirms that there is a positive relationship in the vegetative growth variables, physiological parameters, performance and nutraceutical quality with the organic fertilization sources.

Key words: Strawberry, organic agriculture, biostimulants, Silicon.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la técnica de producción de alimentos bajo agricultura convencional, ha venido presentando una serie de factores negativos al medioambiente, como la contaminación del agua, la salinización y degradación del suelo, principalmente por el uso indiscriminado de fertilizantes químicos, así como fungicidas “plaguicidas 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 venido convirtiendo en una alternativa 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 elementos más importantes en la agricultura orgánica, se encuentran los hidrolizados hechos a base de vegetales, desechos de pescado y algas marinas entre otras, los cuales suministran nutrientes esenciales a las plantas (Verlag Chemie, 1988), que afectan 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 (Si) 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 Si está clasificado por múltiples autores como beneficioso, ya que cumple un papel importante en la regulación del metabolismo, actividad fisiológica, bioquímico, antioxidante y / o estructural, y mejora la supervivencia de las plantas 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 (Norte y 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 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, asimismo 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 garantiza una producción 100% orgánica y con ello reducir el uso de funguicida e insecticidas y aumentar la resistencia ante estrés causado por diversos factores.

OBJETIVOS

Objetivo general

Obtener una alternativa 100% orgánica a la producción convencional de fresa bajo condiciones de invernadero.

Objetivos específicos

- a) Evaluar el efecto de tres fuentes de fertilización orgánica más un tratamiento químico como control (Steiner) sobre el rendimiento y calidad de frutos de fresa cultivar Camino Real.

- b) Evaluar el comportamiento de diferentes dosis de silicio aplicados vía solución nutritiva sobre componentes agronómicos, rendimiento y calidad de frutos de fresa.

HIPÓTESIS

- a) Al menos uno de las fuentes de fertilización orgánica evaluados y comparados con el control (Solución Steiner) tendrá un comportamiento similar o superior en la calidad y producción del cultivo de fresa.

- b) Los componentes de calidad y rendimiento se relacionan con la aplicación del silicio en las fuentes de fertilización.

REVISIÓN DE LITERATURA

Agricultura orgánica

La agricultura orgánica se origina entre los años 40 a 70 y se refiere a un método de producción que se caracteriza principalmente por el uso de elementos naturales y técnicas especiales, como la rotación de cultivos, además prohíbe el uso de productos químicos, como pesticidas, plaguicidas, “medicamentos de uso en animales, semillas modificadas genéticamente, así como conservantes y aditivos” (Scialabba y Hattam, 2003; Sánchez, 2017).

Un sistema agrícola orgánica se fundamenta en una serie de corrientes que coinciden en las actividades agroecológicas (Pérez, 2004), tales como:

1. “Agricultura biodinámica, es la escuela de agricultura biológica más antigua, se fundamenta principalmente, en la interacción de las fuerzas del organismo (vegetal o animal), las telúricas y cósmicas, de esta relación surgen las manifestaciones propias del organismo” (Steiner, 1930).
2. “Agricultura biológica, considera que todos los seres vivos de una granja (cultivos y animales) están regidos por las leyes de la vida y se encuentran relacionados con los otros componentes del medio, como el suelo, los microorganismos y el ser humano, conformando los ciclos biológicos, presentes en los sistemas agrarios” (Muller, 1960).
3. “Agricultura Orgánica, su principio se basa en el aprovechamiento de la materia orgánica, como un elemento nutricional básico para el suelo y la planta, además del reciclaje de nutrientes, establece que la asociación de cultivos y la interacción entre animales y cultivos es fundamental” (Howard, 1930-1940).

“La agricultura orgánica se fundamenta principalmente en la aplicación de cuatro elementos fundamentales” (Molina Nieto, 2014).

- 1.- “El suelo es un ser vivo y dinámico, integrado por tres componentes: mineral, orgánico y biológico (micro y macro organismos) cuyas funciones proveen de alimento a las plantas” (Molina Nieto, 2014).
- 2.- “El sistema de producción debe ser diversificado, para ser estable y sostenible” (Molina Nieto, 2014).

3.- “Las plantas deben ser correctamente nutridas, para desarrollar un metabolismo equilibrado y saludable” (Molina Nieto, 2014).

4.- “Un manejo adecuado del hábitat, permite una mejor regulación de las plagas y a la vez constituye una mitigación a la pérdida de cultivos por catástrofes naturales” (Altieri, 1994).

En la actualidad “el área de producción y la comercialización de productos orgánicos en el mundo sigue aumentando” (Willer y Lernoud, 2018). En el año 2019 se registró más de 72.3 millones de hectáreas a nivel mundial y un valor de mercado superior a los 106.4 mil millones de euros, ocupando el 1.5% de total de la superficie cultivada del sistema agrícola en el mundo (FiBL e IFOAM, 2021). Entre los principales países con mayor superficie en esta actividad se encuentran, Australia con 35.7 millones de hectáreas, seguida Argentina 3.7 millones de hectáreas y España con 2.4 millones de hectáreas según el (FiBL e IFOAM, 2021).

La producción orgánica en México ha venido en aumento, superando a cualquier otro sector del campo mexicano (IFOAM y Sociedad Mexicana de Producción Orgánica 2017), en el año 1996 contaba con 13,176 productores orgánicos y en el año 2018 el registro fue de 27'000 productores 183'225 hectáreas de tierras agrícolas orgánicas con un aporte de 0.2 % nivel mundial. (FiBL e IFOAM, 2020). En cuanto al mercado de productos orgánicos se ha desarrollado en ambas direcciones, tanto como para exportación y el mercado interno, en el caso de las exportaciones los principales mercados son Estados Unidos, Canadá, Europa y Japón y en el consumo interno, según la Asociación de Comercio Orgánicos (OTA) de Estados Unidos, México es un país consumidor e importamos del mercado estadounidense casi la misma cantidad que les exportamos, de tal forma que solo después de Canadá somos el segundo mercado consumidor de productos orgánicos provenientes del vecino del Norte. (Blas, 2017).

Fresa (*Fragaria x ananassa*)

El cultivo de fresa es una fruta muy popular cultivada en muchas partes del mundo, China, Estados Unidos y México son los principales países productores (FAOSTAT,2019). La producción anual mundial de fresas alcanza aproximadamente 8,337,099 millones de toneladas (FAOSTAT,2019). México presentó 17,400 hectáreas de área cultivada y una producción de 861,337 toneladas y se ubica como el 3er productor mundial (SIAP-SADER 2020), produciendo principalmente en los estados de Michoacán, Baja California (Norte y Sur), Guanajuato, Jalisco y Tlaxcala.

Su importancia recae en la calidad que este fruto posee y sus efectos beneficios para la salud humana, que incluyen protección cardíaca, presión arterial reducida, así como actividades anticancerígenas y antiinflamatorias (Liu *et al.*, 2000 y Joseph *et al.*, 2014). Estos efectos están relacionados con el alto contenido de compuestos fenólicos, vitamina C, antocianinas, proantocianidinas (derivados de cianidina y pelargonidina) y otros antioxidantes, que contrastan el estrés oxidativo y retardan el envejecimiento celular (Hanhineva *et al.*, 2011; Giampieri *et al.*, 2012; Joseph *et al.*, 2014 y Park *et al.*, 2017).

Fuentes de fertilización orgánica

Los fertilizantes elaborados a base de materias orgánicas se caracterizan principalmente por disponer de diferentes elementos nutritivos, que se pueden proporcionar a los cultivos de manera directa en el suelo o vía foliar para su desarrollo. Por otro lado, las sustancias nutritivas orgánicas son asimiladas por las plantas después de mineralizarse, proporcionándole niveles altos de hormonas, encimas, auxinas y antibióticos (chiqui *et al.*, 2010).

En este grupo se incluyen una gran variedad de fuentes orgánicas: compost de restos de cultivos, compost de estiércol, humus de lombriz y fertilizantes líquidos orgánicos, elaborados con base a extractos vegetales, algas marinas, ácidos húmicos, micorrizas, harina de pescado y emulsiones de pescado, etc. Sus principales características de estos compuestos son mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (capacidad de retención de agua,

aireación del suelo y drenaje), reduce la degradación del suelo e incrementa la población de microorganismos beneficiosos (Kumar *et al.*, 2015).

Abonos líquidos

Dentro de los abonos líquidos se encuentran los humos líquidos, bioles, hidrolizados de pescados y vegetales entre otros. Los subproductos de la industria pesquera como son los hidrolizados contienen aminoácidos, péptidos, “proteínas y lípidos, los cuales son una importante fuente de nutrientes” (Tahergorabi *et al.*, 2014). Cuando son aplicados a las plantas estos juegan un papel esencial en su equilibrio ya que actúan de manera directa permitiéndole ahorrar una serie de procesos metabólicos consumidores de energía, principalmente cuando son sometido a condiciones desfavorables, “al fortalecer las paredes celulares” (Curvetto *et al.*, 1986). Además, “contribuye a la activación de la microflora y microfauna del suelo, responsable de los procesos de la humificación de la movilización de elementos nutritivos” (Antonio y Leemhui, 1989).

Mar y Tierra (5-7-1)

Son nutrientes vegetales orgánicos líquidos obtenidos a partir de restos de especies marinas con un alto contenido de nutrientes y proteínas que contribuyen eficazmente al metabolismo de la planta, aportando los elementos esenciales (NPK) y otros elementos secundarios o menores tales como azufre, hierro, cobre y zinc, entre otros. Además, ayudan eficazmente en la disminución del estrés en la planta como resultado del alto contenido de aminoácidos y proteínas, propiedades no encontrados en los fertilizantes químicos convencionales.

Mar y tierra (4-1-1)

Nutrientes vegetales orgánicos líquidos que actúan como mejorador del suelo permitiendo generar condiciones más manejables, además de mejorar la capacidad de retención de humedad, potencializa la actividad biológica del suelo y permite a los nutrientes fácil disponibilidad.

Mar y Tierra (3-2-2)

Es un fertilizante de Proteína Hidrolizada Soluble (PHS) obtenido de fuentes vegetales. Se ajusta a 38% total de sólidos, contiene 35% de materia orgánica que proporciona la mayoría de los elementos NPK al suelo, fortaleciendo la planta y el crecimiento de la raíz y el desarrollo, permitiendo que se use como base en la temporada de crecimiento temprano o en etapas posteriores de la temporada de crecimiento.

Mar y Tierra (5-3-2)

Nutrientes vegetales orgánicos líquidos elaborado a base de restos de especies marinas, con un alto contenido de proteínas y nutrientes para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Son un complejo nutricional natural que contribuye eficazmente al metabolismo de la planta, aportando los elementos NPK. Mitiga el nivel de estrés en la planta como resultado del alto contenido de aminoácidos y proteínas, atributos no encontrados en los fertilizantes químicos convencionales.

Bioestimulantes

Son fertilizantes con acción bioestimulante conocidos como “productos no nutricionales que pueden reducir el uso de fertilizantes, aumentar el rendimiento y la resistencia al estrés por tensiones de agua y temperatura e influir positivamente en el crecimiento vegetal y la fisiología” (Campos, 2012), ya que presentan moléculas con una amplia gama de estructuras biológicas, además de tener componentes minerales, fitohormonas, metabolitos activos, tales como aminoácidos y ácidos orgánicos (Cun *et al.*, 2015).

De acuerdo con Granados (2015), existe dos formas básicas de actuar.

Primero aumenta el nivel de prolina, proceso que se produce en el interior de las plantas proporcionándole una mayor defensa frente a condiciones de estrés, ya sea por estrés hídrico, térmico, por enfermedad o plaga entre otros, proporcionando grupos iónicos (-SH) a la planta.

En segundo lugar, permite observar expresiones externas que se traduce en efecto benéfico sobre:

La producción, con incrementos de la cosecha seguidos de una mejor calidad de los frutos, como coloración, tersura de la piel, uniformidad y aumento de tamaño, además de menor pérdida de peso poscosecha, entre otros.

La planta, le proporciona un mejor desarrollo vegetativo y mayor vigor en las brotaciones, así como un aumento de la masa radicular. Le permite “incrementar la eficiencia metabólica y fotosintética de la planta” (Lightbourn, 2016).

Cuando una planta realiza el proceso de fotosíntesis para obtener energía de la radiación solar, dicha energía es utilizada en la síntesis de aminoácidos que la planta necesita para construir carbohidratos y proteínas para realizar sus funciones fisiológicas.

De tal manera, los bioestimulantes cuentan con los aminoácidos, facilitando a la planta obtener y no gastar energía en sintetizarlos, por lo que le permite un ahorro de energía, que puede ser utilizada por la planta en otros procesos, por ejemplo, florecer, o protegerse de alguna enfermedad o plaga (Zuaznabar *et al.*, 2013).

Silicio como bioestimulante

Actualmente hay muchos estudios sobre funciones del silicio en las plantas, además de ser un elemento casi esencial para las plantas. El Si constituye una parte importante de la superficie del suelo en forma de silicato o silicatos de aluminio, es uno del elemento más abundante en la corteza terrestre después de Fe y Zn. Está presente “como ácido silícico (Si [OH] 4) en concentraciones entre 0,1 y 2,0 mM” (pH <9) (Epstein, 1994).

Las plantas absorben el Si en forma soluble como ácido silícico (Si (OH) 4) a un pH inferior a 9 (la mayoría de los suelos agrícolas). Por lo tanto, las plantas cultivadas en el suelo contienen una cantidad ligera de Si en sus tejidos (Hernández Apaolaza, 2014), que le permite aumentar su adaptación a través de defensas físicas, químicas y actividades metabólicas, además la hoja de las plantas aumenta su aspereza y la cantidad de espinas y pelos, que limitan el

daño de las plagas y tolerancia al estrés abiótico (Massey y Hartley, 2009; Massey *et al.*, 2007).

La concentración de Si varía mucho en las partes aéreas de una planta, “van desde el 0,1% hasta 10.0% de peso seco” (Liang *et al.*, 2007). El contenido de Si en las plantas es igual o más que los nutrientes principales N, P y K, que son suministrados a través de fertilizantes (Meena *et al.*, 2014).

Las reacciones de las plantas hacia algún estrés biótico y abiótico a nivel bioquímico, fisiológicos y moleculares es muy similar a cuando se absorbe el Si por las raíces y transmitido a los brotes, lo que indica que activa una o más rutas de señalización de defensa de la planta (Debona *et al.*, 2017), permitiendo la formación de compuestos de defensas orgánicos a través de la alternancia de la expresión génica (Aleshin, 1988 ; Hodson y Sangster, 1988 ; Ordeñana, 2002), o aliviar enfermedades como Botrytis o Spodoptera (Snyder *et al.*, 2007).

Ante el estrés por salinidad y sequía el silicio no sólo mejora el crecimiento de la raíz (rasgos morfológicos como diámetro, área, volumen seco de la raíz, y longitudes de la raíz total y principal), sino también biomasa de plantas, glicina, betaína (Kim *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2010), al igual modifica los niveles compuestos químicos como la prolina y carbohidratos (Lee *et al.*, 2010; Yin *et al.*, 2013, Torabi *et al.*, 2015 y Ming *et al.*, 2012). Además aumentan compuestos fenólicos y actividad de antioxidantes (Hashemi *et al.*, 2010), azúcares totales, sólidos solubles totales y aminoácidos total, ácido ascórbico (Hajiboland *et al.*, 2016; Sonobe *et al.*, 2010), y minimizan el choque osmótico creado por estrés de NaCl debido a la toxicidad de los iones (Na + y Cl -).

La aplicación de silicio a plantas de fresa de túnel alto o invernadero limitó significativamente los efectos negativos del estrés por temperatura (Muneer *et al.*, 2017), redujo la incidencia de enfermedades y aumentó el rendimiento de frutas comercializables (Ouellette *et al.*, 2017).

Trabajos relacionados con la producción orgánica de fresa

Verdugo (2011) realizó trabajos como la “Introducción de dos variedades de fresa (*Fragaria vesca*) y técnicas de fertirrigación, empleando cuatro biofertilizantes líquidos, los cuales mejoraron el crecimiento y desarrollo de la planta, incrementando el número de frutos, así como el peso y longitud. En general bajo esta investigación, se reporta mayores rendimientos”.

Así mismo se “demostró que la producción orgánica de la fresa a base de lombricomposta es suficiente para cubrir las necesidades nutrimentales de este cultivo. En ese estudio evaluó el efecto de la lombricomposta sola, lombricomposta más fertilizante mineral y lombricomposta enriquecida con estiércol y cascarilla de cacahuate, y se demostró que este abono es una alternativa viable, desde el punto de vista nutricional para las plantas y al mismo tiempo más económico e inócuo para el ambiente” (Romero 2011).

En otro estudio se determinó el efecto de biofertilizantes en el rendimiento en relación de las características de la fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) y microorganismos del suelo, “donde evaluó tres biofertilizantes: además de inóculo líquido de bacterias Klebsielladiazo trópicas plantícolas (PGPR1); inóculo líquido combinado con Azotobacter, Derxia y géneros como Bacillus y multi fertilizantes KMG y obtuvo un rendimiento de 0.52 kg por planta para el tratamiento de PGPR “(Pesakovic *et al.*, 2013).

Molina nieto (2014) evaluó el “efecto de cuatro biofertilizantes en la producción de estolones y frutos de fresa (*Fragaria vesca L.*)” reportando que los abonos orgánicos afectaron positivamente en la producción de frutos, donde la composta presentó los mejores resultados en número de frutos, seguido del bokashi y la lombricomposta; sin embargo, en cuanto al peso, altura, largo y diámetro ecuatorial de los frutos, no detecto cambios significativos entre los tratamientos.

Kumar *et al.*, (2015) determinó el impacto de abonos orgánicos y biofertilizantes en los parámetros de crecimiento y calidad de la fresa cv. *Velero*, en la combinación de vermicompost y PSB, en el que mostró mayor altura de planta, numero de hojas planta, ramas primarias planta, ramas secundarias planta, flores

planta y frutos planta. Así mismo, afectó significativamente a los Sólidos Solubles Totales (SST), el contenido de acidez titulable, vitamina C y azúcares totales.

En otro estudio se “evaluó dos fertilizaciones; una mineral y un órgano /mineral con fertirriego, dándole como resultado el Tratamiento 1 (fertirriego órgano / mineral) generando un incremento en el número de flores (1,48); flores que cuajaron (1,24); número de frutos cuajados (6,68); frutos cosechados (1,42). Además, presentó precocidad en los días de floración (9,50 días), como también en el fructificación (27,00 días) y a la cosecha (24,25 días); logrando así frutos de mayor peso ($52,56 \text{ g}^{-1}$), longitud ($4,24 \text{ cm}^{-1}$) y el rendimiento incrementó ($3,92 \text{ Ton ha}^{-1}$)” (Llumiquinga 2017).

Mena *et al.*, (2017), determinó “el efecto del abonamiento integral en la calidad y rendimiento de fresa *cv. Se/va*, su incidencia en la tasa de respiración y fertilidad del suelo”. Los tratamientos resultaron de integrar 3 niveles de abonamiento químico: 0%; 50% y 100% de la formulación: 200 N, 60 K₂O y 60 P₂O₅ y 3 niveles de abonamiento orgánico: 0%; 50% y 100% de la formulación: 100 L⁻¹ de Humega, 12 L⁻¹ de Bioflora Phos y 60 L⁻¹ de Bioflora Potash. Cuyo resultado fue que el tratamiento con 50% de abonamiento químico y 50% orgánico logró el mayor rendimiento de frutos de fresa ($17114,63 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) siendo 13,25% de categoría extra; 57,62% de primera; 25,18% de segunda; 2,06% de tercera y 1,90% de descarte y después de 80 días del trasplante, el abonamiento orgánico al 100% incrementó la tasa de respiración”.

Alalaf *et al.*, (2020) realizó estudios de algunos fertilizantes biológicos y orgánicos en plántulas de pomelo injertadas sobre Naranja agria, mejorando el crecimiento vegetativo y el diámetro de las plántulas.

Neamah *et al.*, (2020) en la evaluación del “efecto de la fertilización orgánica y biofertilización en caracteres de rendimiento y calidad frutal de fresa *fragaria x ananassa duch rubygem*”, demostró que el tratamiento combinado de abono orgánico (30 g^{-1} planta) con los dos biofertilizantes (*Azospirillum* y *Azotobacter*) presentó valores más altos en el número de frutos, peso de la fruta, rendimiento de la planta, fruta contenido de azúcares totales, ácido ascórbico, pigmento de antocianina y menor contenido de acidez total.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

Este estudio se llevó a cabo en un invernadero con cubierta de polietileno, ventilación natural, un ventilador y un calefactor para control de temperatura, ubicado en la universidad autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Saltillo, Coahuila, México, localizado entre las coordenadas 25° 21' 5" de latitud norte y 101° 1' 47" de longitud oeste y una elevación 1,742 msnm.

Establecimiento del experimento

Cada 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 vario de 10 a 12mm y se colocaron el 28 de agosto de 2019 una planta por maceta (Air-grower de 11L) con fibra de coco como sustrato 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 manual aplicando la cantidad de un litro por maceta por día de cada solución nutritiva, previo a esto se monitoreó el pH y la conductividad eléctrica 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

Fuentes de fertilización (A)	Silicio en ppm (B)	Tratamientos
	0	T.1
Origen animal 5-7-1 (0.823 mL L ⁻¹) más 4-1-1 (1.230 mL L ⁻¹) pescado.	15	T.2
	20	T.3
	0	T.4
Origen vegetal 3-2-2 (3 mL L ⁻¹) maíz.	15	T.5
	20	T.6
	0	T.7
Origen animal y vegetal 5-3-2 (1.83 mL L ⁻¹) pescado y maíz.	15	T.8
	20	T.9
	0	T.10
Solución Steiner.	15	T.11
	20	T.12

Preparación de solución nutritiva.

En cuanto a la preparación de las soluciones nutritivas, para el de origen animal (pescado) se utilizó Mar y Tierra (5-7-1) 0.823 mL L⁻¹ más 1.230 mL L⁻¹ de (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 de Allganic Potassium, 0.180 mL L⁻¹ de Fijaflor 8 % Calcio y 0.095 mL L⁻¹ de Bioflora Mg 4%; para el de origen vegetal maíz se aplicó Mar y Tierra (3-2-2) 3 mL L⁻¹, además de 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 Mar y Tierra (5-3-2) 1.83 mL L⁻¹, además de 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 dióxido de silicio (SiO₂) (Diatomix en polvo).

Variables evaluadas

Se midieron variables de crecimiento vegetativo como: número de hojas, número de coronas, altura de planta y el índice de área foliar. Los parámetros fisiológicos tales como: potencial hídrico del tallo, índice SPAD, transpiración, fotosíntesis, conductancia estomática y eficiencia intrínseca del agua. En la producción de frutos se determinaron el diámetro polar y ecuatorial de frutos (cm), número total de frutos por planta y el peso total por planta en (g), Dentro de la calidad nutracéutica de frutos se evaluaron los sólidos solubles totales, porcentaje de acidez titulable, así como también los antioxidantes no enzimáticos como: vitamina C, fenoles, flavonoides y capacidad de antioxidantes.

Determinación de parámetros ambientales

Temperatura y humedad relativa

Durante el periodo del cultivo se registró con un HOBO - U12-012 - Data Logger, la temperatura mínima de 7 - 12 ° C y temperatura máxima de 30 - 44 ° C, al igual se registró la humedad relativa máxima de 72.57 - 98.877 y mínima de 14.026 - 20.29 HR del invernadero, monitoreados cada 30min durante el ciclo del cultivo.

Déficit de presión de vapor (DPV)

Con las lecturas obtenidas de la temperatura y humedad relativa se determinó el déficit de presión de vapor (DPV) con una fórmula que se aplicó en microsoft Excel, que para el cultivo de fresa debe de variar de 0.1 de noche a 2.2 y 3 kPa en el día y durante el experimento se presentó valores de hasta 6.88 kPa durante el día.

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 propuesto 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 ($1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$), realizando tres determinaciones en hojas maduras y de la misma edad usando un sistema abierto de intercambio de gases.

Determinación de producción de frutos

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

Análisis de calidad nutracéutica de frutos

Solidos solubles totales (SST)

A cada fruto cosechado se le extrajeron de manera directa algunas gotas de jugo que fueron colocados en un refractómetro (ATAGO) para determinar la lectura, los resultados fueron expresados en porcentaje de grados brix ($^{\circ}\text{Bx}$).

Acidez titulable (AT)

Se determinó por el método de colorimetría de acuerdo al método reportado por (AOAC 2005), utilizando como indicador dos gotas de fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$) en una solución alcohólica al uno por ciento, para la extracción se usó 5 g fruto fresco por tratamiento y 50 ml de agua destilada; se tomó 10 ml de solución de la muestra y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N a un pH 8.1, hasta obtener una coloración rosácea y los resultados se reportaron en % de ácido cítrico.

$$\%acidez = \frac{V_{NaOH} * N_{NaOH} * meq \text{ ácido cítrico} * 100}{V \text{ muestra}}$$

Donde:

V_{NaOH} = volumen gastado de NaOH para titular

N_{NaOH} = Normalidad del NaOH

meq ácido cítrico = 0.064

$V \text{ muestra}$ = 10 mL

La acidez titulable se expresa cómo % de ácido cítrico.

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) concentrado 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.

Cuantificación:

$$\text{Vitamina C} = \frac{\text{mL} * 0.088 * V_t * 100}{V_a * P_m}$$

Dónde:

mL=mililitros utilizados de 2-6 diclorofenolindofenol.

Vt=Volumen total.

Va=Volumen de la alícuota.

Pm=Peso de muestra.

Fenoles

Los fenóles se cuantificaron utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu 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 y acetona (1:1), se homogenizó con un equipo (vortex) durante 30 segundos, posteriormente se sonicó durante 5 min (ultrasonic cleaner) y se centrifugó a una revolución por minute de 12500 durante 10 min a una temperatura de 4° 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 del reactivo Folin-Ciocalteu, 500 µL de Carbonato de Sodio (Na₂CO₃) concentrado al 20% y finalmente se le adicionó 5 mL de agua destilada, se homogenizó con vórtex durante 30 s y posteriormente fueron colocadas a baño maría de 45 ° C durante 30 min. Finalmente, se determino 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 fueron expresados en mg EQ de Ácido Gálico * 100 g⁻¹ de (PS).

Contenido de Flavonoides

Los flavonoides se evaluaron 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 N° 1.

Para la cuantificación se agregó 1 mL de muestra en un tubo de ensayo y se mezcló con 1 mL de 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).

Antioxidantes totales

La actividad de antioxidante se evaluó de acuerdo 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 ($\text{C}_{18}\text{H}_{12}\text{N}_5\text{O}_6$) a 0.1 mM, el cual se mezcló cuidadosamente y se dejó reposar por 30 min en oscuridad, posteriormente se determinó la absorbancia con un lector de Microplacas (ALLSHENG, Modelo ELx808™) calibrada 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).

Diseño experimental y análisis estadístico

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, con lo que se tuvieron 96 unidades

experimentales.

Los datos obtenidos de las variables descritas anteriormente fueron evaluados mediante análisis de varianza utilizando el software Info Stat (versión 2020). Para comparar medias estadísticas se utilizó la prueba de Tukey a ($P \leq 0.05$), mientras que para determinar el número de componentes se realizó un análisis de componentes principales (PCA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos no muestran interacciones significativas entre las fuentes de fertilización y silicio en ninguno de los parámetros evaluados.

Parámetros del crecimiento vegetativo

En cuanto a los efectos causados por las fuentes de fertilización no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en los parámetros de crecimiento estudiadas (Tabla 2). Con respecto al número de hojas y número de coronas estas mostraron valores de 13% y 15% mayor en las plantas testigo comparadas con las soluciones orgánicas. Lo cual difiere con los resultados reportados por Sahana *et al.* (2020), al encontrar diferencias altamente significativas en el número de hojas y el número de coronas en plantas de fresa con 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). En cultivo de tomate en invernadero Gutiérrez-Miceli *et al.* (2007) observaron que la aplicación de biofertilizantes no influyeron significativamente en el número de hojas. En contraste, para altura de planta, aunque no significativamente, el mayor tamaño con 8% se obtuvo con las plantas cultivadas con la solución de origen vegetal (maíz). Se ha reportado que en cultivo de fresa con tratamientos orgánicos de Vermicomposta mas biofertilizante PSB se mejora la altura de planta (Kumar *et al.*, 2015). Así también Zuo *et al.* (2018) reportaron que en cultivo de fresa con la adición de 30% de vermicomposta (VC) en suelo se mejoró

la altura de planta. Mientras que, Sahana *et al.* (2020) reportan un aumento significativo en altura de plantas tratados con diferentes abonos orgánicos (RDN 100%) a través de vermicomposta, más un producto (Jeevamruth @) a 500 ml por maceta en dos etapas, más tratamiento de plántula con microorganismos (Beejamruth) en cultivo de fresa. En otros cultivos como tomates en invernadero, tratados con biofertilizantes orgánicos aumentó el crecimiento de las plantas (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2007). 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 al área foliar, aunque todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales, ésta presentó valor de 6% mayor en las plantas testigo comparada con las plantas cultivadas en las soluciones orgánicas. El cual difiere con lo reportado por Sahana *et al.* (2020) en cultivo de fresa, quienes encontraron diferencias significativas en el área foliar tratados con diferentes abonos orgánicos.

En cuanto a las dosis aplicadas de silicio en las fuentes de solución nutritiva no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en los parámetros de crecimiento estudiadas (Tabla 2). Con respecto al número de hojas y número de coronas estas mostraron valores de 14% mayor con la aplicación de 20 ppm de Si comparada con las plantas testigo cultivadas sin la adición del silicio. 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 parámetros de crecimiento. En contraste, para la variable altura de planta y el índice de área foliar, aunque no fue significativo en el presente estudio, se encontraron valores de 2% y 4% mayor con las plantas tratadas con 20 ppm de silicio. En este sentido

Nada (2020) reportó que la tasa de silicato de potasio en aumento de 0.2, 0.4 a 0.6 g L⁻¹, aumentó significativamente la altura de la planta, así como también el peso fresco de la planta, el número de copas secundarias y el área foliar de las plantas de fresa. Además, los efectos beneficiosos del Si 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.

Tabla 2. Comparación de medias de parámetros de crecimiento vegetativo.

Fertilización(A)	N.H	N.C	A.P(cm)	Í.A.F (Cm ²)
O.A	35.50 a	5.33 a	14.77 a	90.51 a
O.V	38.08 a	5.33 a	15.60 a	87.28 a
O.A-V	34.67 a	5.42 a	13.98 a	87.10 a
S.S	41.25 a	6.25 a	14.49 a	93.97 a
Silicio(B)				
0	35.88 a	5.63 a	14.39 a	85.72 a
15	35.06 a	5.56 a	14.85 a	91.11 a
20	41.19 a	5.56 a	14.88 a	92.32 a
p-valor de ANOVA				
Fertilización	0.428 ns	0.163 ns	0.201 ns	0.834 ns
Silicio	0.233 ns	0.984 ns	0.673 ns	0.630 ns
Fertilización *	0.653 ns	0.388 ns	0.383 ns	0.788 ns
Silicio				

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.

*Significativo, **Altamente significativo, ns: No significativo.

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 evaluadas, no presentaron diferencias significativas (Tabla 3). Resultados difieren con lo reportado por Zuo *et al.* (2018) en plantas de fresa, quienes indicaron que en el contenido de clorofila alcanzó un valor más alto el tratamiento con vermicomposta al 20% y 80% de suelo (VC20) con un aumento de 16,88% en comparación con el del control. En otros cultivos como mentha García (2018) mencionó que no existe diferencias estadísticas significativas en el contenido de clorofila total, contenido indirecto de clorofila (SPAD), 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) encontró diferencias significativas entre tratamientos de abono mineral y compost (partes de residuos sólidos urbanos, purines de cerdo, fangos digeridos y deshidratados) para clorofilas (a y b) y clorofila total en cultivo de lechuga, siendo el abono mineral como el mejor tratamiento. Con respecto al potencial hídrico, aunque no significativamente, se obtuvo un valor de 4% mayor con las plantas tratadas con la solución de origen vegetal (maíz) comparada con el testigo. Sin embargo, en cultivo de manzana Parra *et al.* (2002) menciona que las fertilizaciones orgánicas al suelo no influyen en el potencial hídrico de la hoja, aunque se registraron mayores tasas con la adición de MO. En contraste, para transpiración, se encontraron valores con 9% mayor en las plantas cultivadas con el control (Steiner) comparada con las fuentes orgánicas. Se ha reportado en cultivo de fresa que la tasa de transpiración (E) se mejora con la aplicación vermicomposta VC (Zuo *et al.*, 2018). En otro cultivo Parra *et al.* (2002) mencionan que la fertilización orgánica al suelo no influye en la tasa de transpiración de la hoja de manzana. Además, el aumento del proceso de transpiración puede estar asociado con un aumento en la disponibilidad de agua de la planta y no de la fertilización.

Para la variable fotosíntesis, aunque estadísticamente igual, esta mostró una tendencia con 6% mayor en plantas tratadas con la solución de origen animal y vegetal (pescado-maíz) comparado con el tratamiento control químico. Además, Zuo *et al.* (2018) reportaron que la vermicomposta (VC) promueve el crecimiento

de la fresa mediante la regulación de una serie de parámetros fisiológicos como la tasa fotosintética. En otro cultivo Berova *et al.* (2010) indican que la actividad fotosintética aumenta aproximadamente en un 32% en cultivo de pimiento tratadas con biofertilizante líquido a base de lombriz y que contrasta con García (2018) en especie de mentha mencionando que la tasa fotosintética mantiene una tendencia a favorecer con la fertilización (vermicomposta y medusa), esto talvez por el alto contenido de propiedades y nitrógeno que poseen las fuentes de fertilización orgánica.

Con respecto a la conductancia estomática, ésta mostró valor de 15% mayor en plantas tratadas con el tratamiento control químico comparada con las fuentes de fertilización orgánica. Sin embargo, Zuo *et al.* (2018) en cultivo de fresa, reportaron que la aplicación de vermicomposta mejora la conductancia estomática. Mientras que, García (2014) en cultivo de mentha reportó que no existe diferencias significativas en la conductancia estomática, pero mantiene la tendencia a favorecer los tratamientos con vermicomposta y medusa. En cuanto a la eficiencia intrínseca del agua, aunque estadísticamente igual, esta mostró un valor de 17% mayor, en plantas tratadas con la fertilización de origen vegetal (maíz) comparada con la fertilización química. En cultivo de arándano los efectos del sustrato con (5% MO) sobre la tasa de transpiración (E) y la eficiencia instantánea del uso del agua (A / E), aumentó la tasa de transpiración y redujo la eficiencia del uso instantáneo del agua (Viencz *et al.*,2021).

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 15ppm de Si, mientras que para el resto de los parámetros fisiológicas estudiadas, no mostraron cambios significativos (Tabla 3). Resultado similar con lo reportado por Dehghanipoodeh *et al.* (2018) al encontrar que el silicato de potasio a 15 mmol L⁻¹ generó diferencias significativas en el contenido de clorofila en hojas de fresa a comparación del 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)

encontraron que a 0.6 mM y 1.2 mM de Si en tomate cultivado hidropónicamente, el contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofila a y b), aumentaron en las dos concentraciones. Así mismo Abd Elwahed (2018) demostró que la utilización de silicato de potasio con aplicación foliar a 300 ppm provocó un incremento significativo en el contenido de clorofila total en tomate. Para el potencial hídrico, este mostró valores similares en las plantas tratadas con 20 ppm de Si comparada con plantas sin silicio. Además, Costa y Pérez (2010), “aseguran que el silicio proporciona una protección mecánica a la epidermis”, lo que reduce el potencial hídrico de las células.

Con respecto con la transpiración esta mostró un valor de 2% mayor sin la aplicación del silicio, comparada con la adición de 20 ppm de Si. En otros cultivos Cao *et al.* (2013) encontraron que a 0.6 mM y 1.2 mM de Si en tomate cultivado hidropónicamente, la tasa de transpiración de la hoja tiende a disminuir. Esto tal vez debido a que el Silicio tiende a depositarse en las paredes celulares de los vasos del xilema y en el tejido epidérmico de las hojas, reducción así el diámetro de los poros estomáticos y la pérdida excesiva del agua por transpiración (SEPHU, 2009). Sin embargo, Tripathi *et al.* (2021) mencionan que la tasa de transpiración (E) fueron más altas en las plantas de soja tratadas con Si y que además coincide con Hussain *et al.* (2021) indicando que la aplicación foliar de Si aumentó significativamente la tasa de transpiración en cultivo de soja.

En contraste, para la fotosíntesis y eficiencia intrínseca del agua, aunque no significativa, estas mostraron valores de 1% y 7% mayor con plantas tratadas con 20 ppm de silicio comparadas con el testigo. En otros cultivos Cao *et al.*, (2013) encontraron que a 0.6 mM y 1.2 mM de Si en tomate la tasa fotosintética y la eficiencia del uso instantáneo del agua aumentaron en los dos niveles. Otros autores también informan una mejor fotosíntesis debido a la aplicación de silicio (Imtiaz *et al.*, 2016 y Muneer *et al.*, 2017). Tripathi *et al.* (2021) confirma que la fotosíntesis neta (PN), fueron más altas en las plantas de soja tratadas con Si, que en las plantas control. Esto tal vez por que la aplicación de Si aumenta el contenido de clorofila y carbohidratos no estructurales, además de un aumento de genes relacionados con el complejo de captación de luz II y un aumento en la

tasa fotosintética (Teixeira *et al.*, 2020 y ZHANG *et al.*, 2018). Con respecto a la conductancia estomática, en este parámetro los valores fueron totalmente iguales entre plantas tratadas con 20 ppm de silicio. En otro cultivo De Melo Filho *et al.* (2020) reportaron que la aplicación de silicio en plantas de remolacha disminuye la conductancia estomática. Mientras que, Tripathi *et al.* (2021) mencionan que la conductancia estomática (gs) fueron más altas en las plantas de soja tratadas con Si.

Tabla 3. Comparación de medias de parámetros fisiológicos.

Fertilización (A)	P. Hídrico (Bar)	V.R.C	Transp	Fotosin	Cond_ Stoma	Ef_int_ Agua
O.A	6.17 a	48.58 ab	3.00 a	16.64 a	0.11 a	5.80 a
O.V	6.52 a	47.09 ab	2.81 a	16.54 a	0.10 a	6.17 a
O.A-V	6.00 a	46.75 b	3.22 a	16.67 a	0.12 a	5.44 a
S.S	6.29 a	50.41 a	3.31 a	16.01 a	0.13 a	5.13 a
Silicio(B)						
0	6.26 a	46.34 ab	3.19 a	16.91 a	0.12 a	5.41 a
15	6.19 a	48.00 ab	2.92 a	15.49 a	0.11 a	5.69 a
20	6.28 a	50.28 a	3.13 a	17.00 a	0.12 a	5.80 a
p-valor de ANOVA						
Fertilización	0.751 ns	0.029 *	0.262 ns	0.341ns	0.090 ns	0.134 ns
Silicio	0.985 ns	0.003 **	0.796 ns	0.102 ns	0.540 ns	0.796 ns
Fertilización * Silicio	0.958 ns	0.489 ns	0.877 ns	0.877 ns	0.898 ns	0.838 ns

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 Hídrico en Bar, V.R.C = Valor relativo de clorofila en unidad spad, Transp=Transpiración en $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fotosin= Fotosíntesis en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Cond_ Stoma = Conductancia estomática en $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Ef_int_ agua= Eficiencia intrínseca del agua en $\mu\text{mol mmol}^{-1}$. *Significativo, **Altamente significativo, ns: No significativo.

Producción de frutos

Con respecto a los efectos causados por las fuentes de fertilización solamente se observó diferencia significativa en el peso total de frutos por planta con 9% mayor en plantas tratadas con la fertilización de origen animal (pescado) comparada con el tratamiento control químico, mientras que, para el resto de las variables de producción estudiadas, no presentaron diferencias significativas (Tabla 4). Estos resultados coinciden con lo reportado por Romero (2011) al

evaluar fertilización orgánica y orgánica-mineral en cultivo de fresa, encontrando diferencias en el peso total por planta, tratados con fertilización orgánica-mineral y que además contrasta con Neamah *et al.* (2020) en cultivo de fresa, mencionando que la fertilización orgánica (OF) a base de restos de trigo entre mayor cantidad se aplique es mejor y al adicionar biofertilizantes a base de (*Azospirillum* y *Azotobacter*) son sustancialmente eficaces para aumentar el peso del fruto y el rendimiento, debido al aumento del contenido del suelo y la disponibilidad de N, P y K. Sahana *et al.* (2020) reportan la aplicación 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) en cultivo de fresa registró un máximo aumento de 76,37% en rendimiento. Con respecto al diámetro polar y diámetro ecuatorial de fruto, aun que estadísticamente iguales, estas mostraron valores de 5% y 3% mayores con las plantas cultivadas con la solución de origen animal (pescado). Se ha reportado que en cultivo de fresa con tratamientos de fertilización orgánica-mineral genera un aumento significativo en el diámetro polar, diámetro ecuatorial del fruto (Romero 2011). Así mismo Sahana *et al.* (2020) reportaron en frutos de fresa, que con la aplicación de RDN 100% a través de vermicompost + Jeevamruth @ 500 ml por maceta en dos etapas + tratamiento de plántula Beejamruth registró una longitud de la baya y diámetro de la baya significativamente mayor. En contraste, para el número de frutos, esta mostró valor de 14% mayor con las plantas cultivadas con la solución de origen animal (pescado) comparada con el testigo (Steiner), aun que estadísticamente iguales. Sin embargo, Neamah *et al.* (2020) en cultivo de fresa, reportaron que la fertilización orgánica (OF) entre mayor cantidad se aplique es mejor y al adicionar biofertilizantes a base de (*Azospirillum* y *Azotobacter*) son sustancialmente eficaces para aumentar el número de frutos por planta. Que, además, coincide con Sahana *et al.* (2020) al encontrar significancia y mayor número de bayas por planta, tratadas con la aplicación de RDN 100% a través de vermicompost + Jeevamruth @ 500 ml por maceta en dos etapas + tratamiento de plántula Beejamruth.

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). Con respecto al diámetro polar y diámetro ecuatorial estas presentaron valores totalmente idénticos entre las plantas cultivadas con 20 ppm y sin silicio. Ouellette *et al.* (2017) observaron que el Si 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 tratadas con Si en sustrato orgánico vía radicular mostraron un diámetro de fruto similar al de las fresas disponibles comercialmente. En contraste, para el número de fruto y peso total de fruto, aunque no significativo, estas mostraron valores promedio del 1% y 5% mayor con plantas tratadas con 20 ppm de Silicio. Se ha reportado en cultivo de fresa que el mayor número de frutos se produjo por la aplicación de Si en sustrato orgánico (SO) y un aumento considerable del peso del fruto por planta (Peris *et al.*, 2020). Así mismo, la combinación de silicio con algas generó un aumento promedio del 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 Si favoreció la absorción de fósforo por las plantas debido a la similitud molecular entre los aniónicos formas (H_2PO_4 y H_3SiO_4).

Tabla 4. Comparación de medias de producción de frutos.

Fertilización(A)	D.P.F (cm)	D.E.F (cm)	No.F	P.T.F.P (g)
O.A	4.45 a	3.31 a	14.17 a	244.99 a
O.V	4.36 a	3.18 a	11.42 a	183.69 ab
O.A-V	4.34 a	3.18 a	13.33 a	223.59 ab
S.S	4.21 a	3.21 a	10.83 a	157.95 b
Silicio(B)				
0	4.39 a	3.24 a	12.50 a	203.40 a
15	4.25 a	3.18 a	12.19 a	189.98 a
20	4.38 a	3.24 a	12.63 a	214.29 a
p-valor de ANOVA				
Fertilización	0.178 ns	0.600 ns	0.210 ns	0.039 *
Silicio	0.302 ns	0.801 ns	0.961 ns	0.699 ns
Fertilización *	0.020 *	0.110 ns	0.189 ns	0.165 ns
Silicio				

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 frutos en cm, D.E. F= Diámetro ecuatorial de frutos en cm, No. F = Número de frutos, P.T.F.P(g⁻¹)= Peso total de frutos por planta en gramos. *Significativo, **Altamente significativo, ns: No significativo.

Calidad nutracéutica de frutos

En cuanto a los efectos causados por las fuentes de fertilización no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en las variables de calidad nutraceutica estudiadas (Tabla 5). Con respecto a los sólidos solubles totales, acidez titulable y vitamina C los valores fueron totalmente similares entre plantas tratadas con fertilización orgánica y el testigo químico. 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 Garcia *et al.* (2019) reportaron diferencias significativas en el contenido de SST entre los tratamientos Orgánico (10.9%) y Químico – Orgánico (8.7%), mientras que para el contenido de ácido cítrico y vitamina C no reportaron diferencias significativas. Además, Terrazzan *et al.* (2006), reportan mayor contenido de vitamina C en frutos de fresa de la variedad Oso Grande bajo el 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. En otros cultivos Benbrook *et al.*, (2008) concluye que, ácido ascórbico (en aproximadamente 6 de 10 casos) son a menudo más altos en frutos de tomate de cultivo orgánicos en comparación con la producción convencional con fertilización química. Con respecto al contenido de fenoles, aun que estadísticamente iguales, esta mostró un valor promedio del 12 % mayor en plantas tratadas con el tratamiento control químico comparada con las fuentes fertilización orgánica. Sin embargo 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 ambos cultivares en los dos sistemas de producción en el quinto día de almacenamiento. En contraste, Reganold *et al.* (2010) en cultivares de fresa de variedades Diamante, San Juan y Lanai indican bajo producción orgánica, presentan mayor concentración de compuestos fenólicos. Así mismo, en cultivo de tomate Benbrook *et al.*, (2008) concluyeron que el contenido de fenoles totales (en aproximadamente 7 de 10 casos) fueron más altos en la producción del sistema orgánico comparadas con los producidos convencionalmente. En contraste para flavonoides y capacidad antioxidantes, aunque no significativamente, estas mostraron valores promedios del 5% mayores respectivamente para ambas variables en plantas cultivadas con la solución de origen animal (pescado) comparada con tratamiento control. López (2017) concluyó que no hay diferencias significativas en la actividad antioxidante entre las fresas procedentes del cultivo ecológico y el tradicional. Reganold *et al.* (2010) en cultivares de fresa de variedades Diamante, San Juan y Lanai encontraron mayor actividad antioxidante en frutas cultivadas bajo un sistema orgánico. En cultivo de tomate Benbrook *et al.*, (2008) manifestaron que la actividad antioxidante (en aproximadamente 9 de 10 casos) fueron a menudo más altos en frutos producidos en sistema orgánico que bajo fertilización química. Esto talvez es ocasionado, ya que las plantas producidas bajo agricultura orgánica están sujetas a mayor estrés que la producción convencional, provocando que las

plantas asignen mayores recursos a la síntesis de sus propios mecanismos de defensa tales como polifenólicos y otros compuestos bioactivos.

En cuanto la actividad del silicio a las dosis evaluadas, no se detectaron efectos significativos, entre los tratamientos aplicados en todas las variables de calidad nutraceutica estudiadas (Tabla 5). Para los sólidos solubles totales, aunque no significativo, esta mostró un valor promedio del 4% mayor entre las plantas tratadas con 20 ppm de silicio. Resultado que difiere con lo reportado por Nada (2020) quien muestra que a medida que las tasas de silicato de potasio aumenta hasta 0.6 g L^{-1} mostraron un aumento significativo en los sólidos solubles totales de la fresa. Así mismo Yaghubi *et al.* (2019) mencionan que la nutrición con silicio podría mejorar el TSS en plantas de fresa no estresadas del cultivar Kurdistán y Paros tratadas con 1500 ppm de silicato de potasio. En otros cultivos, se logró una mayor cantidad de azúcares solubles mediante el uso de silicato de potasio 5 mM en la papa (Talebi *et al.*, 2015). Además, el silicato de potasio registró los valores más altos de TSS% en frutos de calabaza de verano en comparación con otros tratamientos (El-Shoura, 2020). Para el porcentaje de acidez titulable y vitamina C, aunque no significativa, estas presentaron valores promedios del 7% mayor sin la adición del silicio. Mientras que Yaghubi *et al.* (2019), reportaron que el silicato de potasio (1500 ppm) solo podría mejorar la TA 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 traslocan a los frutos y aumentan su TA. Nada (2020) señala que los tratamientos con silicato de potasio mostraron un aumento significativo en vitamina C. Por otro parte cuando el silicio es adicionado en solución hidropónica, el contenido de vitamina C tiende a aumentar en frutos de tomate (Liang *et al.*, 1993; Stamatakis *et al.*, 2003 y Xue *et al.*, 2012). En contraste, para fenoles, flavonoides y capacidad de antioxidantes, aun que estadísticamente no significativo, estas presentaron valores promedios del 11% mayor con la aplicación de 20ppm de silicio comparada con el testigo. Sin embargo 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 Si, mientras que en el contenido total de flavonoides no reportaron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo en plantas de fresa del cultivar Paros Yaghubi *et al.* (2019), mencionaron que solo con la aplicación de 1000 ppm de silicato de potasio podría mejorar el contenido de fenoles totales (TP), en plantas no estresadas. Además de otros compuestos relacionados con la salud como flavonoides, también se incrementaron. En otros cultivos Azad *et al.* (2021) concluyeron que el silicio tiene un efecto en la acumulación de compuestos bioactivos como: compuestos fenólicos totales, flavonoide total, así como la capacidad antioxidante, aumentando significativamente cuando se cultivaron en dosis más bajas en cultivo de trigo. Así mismo Vega *et al.* (2019) reportaron mayor capacidad antioxidante en el cultivo de cebada cuando se aplicó Si.

Tabla 5. Comparación de medias de calidad nutracéutica de frutos

Fertilización (A)	S.S.T %BX	%A.T	V. C (mg 100g ⁻¹ PF)	Fenoles (mg 100g ⁻¹ PS)	Flavonoides (mg 100g ⁻¹ PS)	C. Antiox (mmol 100 g ⁻¹ PS)
O.A	6.94 a	0.14 a	60.72 a	1977.92 a	178.51 a	7.51 a
O.V	6.83 a	0.14 a	56.25 a	1456.68 a	170.20 a	7.41 a
O.A-V	6.98 a	0.14 a	61.36 a	1999.71 a	178.20 a	7.33 a
S.S	6.89 a	0.14 a	60.64 a	2048.03 a	170.28 a	7.17 a
Silicio(B)						
0	6.79 a	0.15 a	61.15 a	1771.84 a	174.80 a	7.30 a
15	6.89 a	0.14 a	57.72 a	1848.31 a	172.29 a	7.38 a
20	7.06 a	0.14 a	60.35 a	1991.61 a	175.80 a	7.38 a
p-valor de ANOVA						
Fertilización	0.976 ns	0.917 ns	0.349 ns	0.080 ns	0.896 ns	0.502 ns
Silicio	0.657 ns	0.131 ns	0.398 ns	0.525 ns	0.964 ns	0.900 ns
Fertilización * Silicio	0.125 ns	0.077 ns	0.313 ns	0.090 ns	0.345 ns	0.351 ns

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.%BX = Sólidos solubles totales en porcentajes de grados brix, %A. T = Porcentaje de acidez titulable, V. C = Vitamina C en mg 100g de fruto fresco, Fenóles 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 milimoles equivalente a Trolox (TEAC) por 100 gramo de fruto seco. *Significativo, **Altamente significativo, ns: No significativo.

Análisis de componentes principales

El análisis de los dos primeros componentes principales (PCA), explica el 44.8 % de la variación de los datos de las 20 variables analizadas, tal porcentaje es producto de la suma consecutiva de los dos valores proporcionales determinados en el análisis (Tabla 6).

Con respecto a los resultados de los vectores propios, en el primer componente principal (CP1), las variables con mayor influencia fueron: conductancia estomática y transpiración, los cuales contrastan con eficiencia intrínseca del agua (Ef int Agu) y diámetro polar de fruto (D.P. F), con respecto a la asociación observada entre las variables, entre mayor conductancia estomática y transpiración presente las plantas de fresa, la eficiencia del uso del agua y el diámetro polar del fruto tienden a disminuir. Mientras que para el segundo componente principal (CP2), las variables con mayor aporte fueron: número de frutos, peso total de frutos por planta y porcentaje de acidez titulable que contrastan con valor relativo de clorofila (V.R.C) y potencial hídrico (P. Hídrico).

En la Figura 1 se observa la distribución de las cargas de las variables del primer componente principal (CP1) y el segundo componente principal (CP2), además permite observar las correlaciones entre los parámetros evaluados de acuerdo a los ángulos de los vectores que las representan. Los ángulos agudos indican correlaciones positivas, los obtusos representan una correlación negativa, mientras que los ángulos rectos indican que no hay correlación entre las variables. En este estudio se encontró una correlación positiva y altamente significativa entre las variables como: conductancia con transpiración ($r=0.94^{**}$), peso total de fruto por planta con número de frutos ($r=0.92^{**}$) y diámetro ecuatorial de fruto con diámetro polar de fruto ($r=0.81^{**}$), lo que indica que entre mayor diámetro ecuatorial y diámetro polar tenga el fruto, además de mayor número de frutos por planta, se tendrá mayor peso total por planta, reflejándose en el rendimiento, así mismo en las variables fisiológicas como la transpiración y conductancia estomática, tienden a aumentar. Mientras que para las variables que presentaron una relación negativa y significativa se encuentran: entre eficiencia intrínseca del agua con transpiración y conductancia estomática ($r= -$

0.85 y -0.84**), lo que indica que a mayor transpiración y conductancia tengan las estomas, la eficiencia intrínseca del uso del agua tiende a disminuir, posiblemente porque la planta no tiene la necesidad de optimizar el uso de agua o nutrientes debido a que se encuentra en condiciones de riego adecuado. Con respecto a la relación de los tratamientos con las variables como: vitamina C, conductancia estomática, transpiración, fenoles, número de coronas, índice de área foliar, número de hojas, flavonoides, sólidos solubles totales, valor relativo de clorofila y capacidad de antioxidantes tuvieron relación dentro de los tratamientos de origen animal vegetal (pescado-maíz) con 15 y 20 ppm de silicio, origen animal (pescado) a 20 ppm de Si y el tratamiento testigo (Steiner) sin y con 15 ppm de silicio, mientras que en porcentaje de acidez titulable, número de frutos, peso total de frutos por planta, diámetro polar y ecuatorial de fruto, fotosíntesis, eficiencia intrínseca del agua, potencial hídrico y altura de planta se encontraron entre los tratamientos de origen animal (pescado) sin y con 15 ppm de silicio y el origen vegetal (maíz) con las tres concentraciones de silicio, resultados similares con lo reportado por Peris *et al.*, (2020) en cultivo de fresa quien menciona que los parámetros de diámetro, densidad foliar, SPAD, vida útil, peso y rendimiento se encuentran dentro de los tratamientos del sustrato orgánico (SO) sin y con la adición de silicio vía foliar y radicular (SO - C, SO-L y SO-R), que además Perez *et al.*,(2019) reportan que el tratamiento 4 t ha⁻¹ de gallinaza aplicados en suelo como nutrición orgánica presentó mejor respuesta y asociación positiva con rendimiento en cultivares de papa.

Tabla 6. Valores y vectores propios para los primeros componentes principales de 20 variables evaluadas en cultivo de fresa.

Componentes principales		
	CP1	CP2
Valor propio	5.12	3.84
Proporción (%)	25.6	19.2
Acumulada (%)	25.6	44.8
Variables	Vectores propios	
N.H	0.22	-0.12
N.C	0.20	3.1E-04
A.P	-0.06	-0.18
Í.A.F	0.14	-0.03
V.R.C	0.21	-0.21
P.Hídrico	-0.27	-0.21
Transp	0.34*	0.27
Fotosin	-0.08	0.19
Cond	0.35*	0.26
Ef int Agu	-0.32*	-0.19
D.P.F	-0.30*	0.24
D.E.F	-0.20	0.22
No.F	-0.10	0.34*
P.T.F.P	-0.15	0.37*
S.S.T	0.28	-0.20
%A.T	-0.07	0.30*
V.C	0.24	0.26
Fenoles	0.27	0.19
Flavonoides	0.19	-0.15
C. Antiox	0.12	-0.17

* Cargas del vector propio > 0.30 indican que tuvieron mayor peso estadístico para definir los grupos y su distribución en los cuadrantes de los componentes principales.

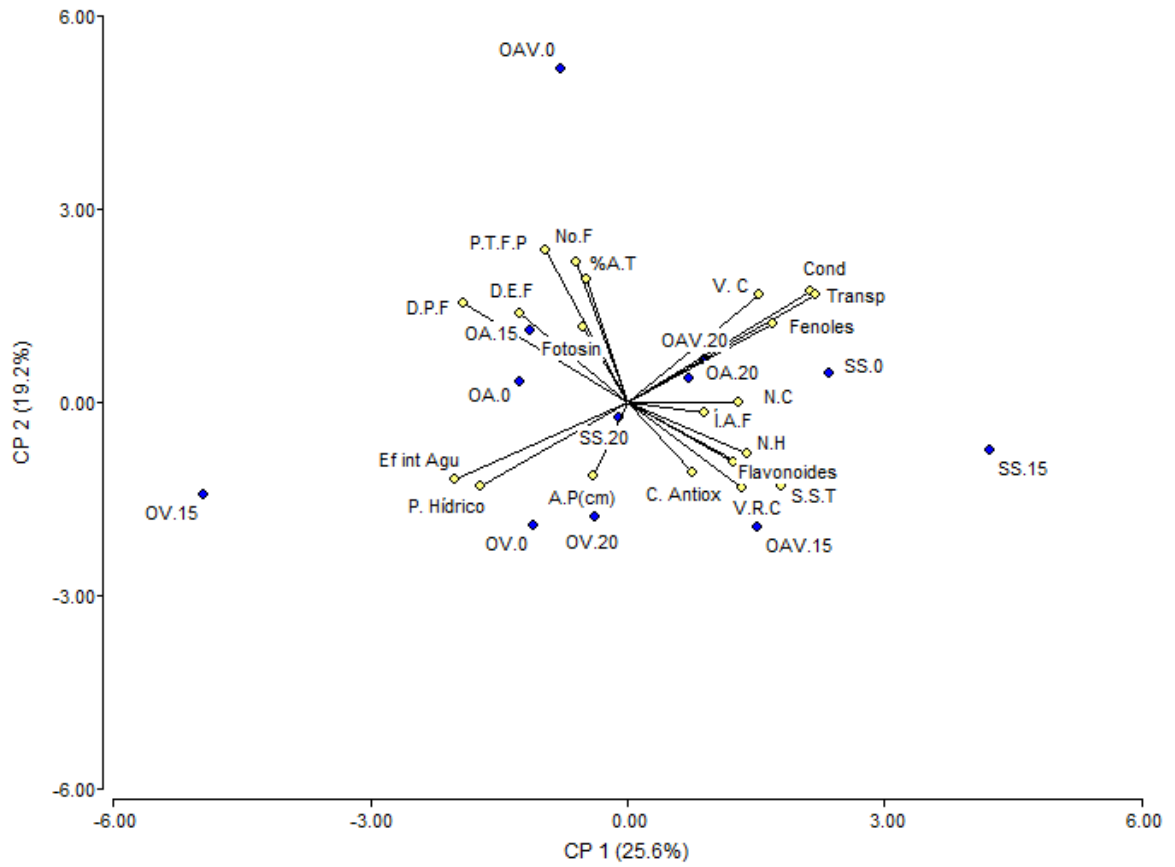


Figura 1. Distribución de 20 variables con su peso sobre los dos componentes principales.

CONCLUSIONES

Las fuentes de fertilización orgánica estudiadas son una alternativa viable que puede sustituir la fertilización química con las cuales se obtienen resultados similares a la fertilización sintética como calidad y rendimiento en plantas de fresa del cultivar camino Real. Así también se demostró que la actividad fisiológica, crecimiento vegetativo y calidad nutracéutica de frutos no fueron diferentes. En cuanto a los efectos del silicio en las concentraciones utilizadas en este estudio no se reporta diferencias al compáralos con las plantas testigo.

El análisis de Componentes Principales (ACP) corroboró la correlación positiva entre parámetros de producción y algunos variables fisiológicos, ya que se observó que a mayor diámetro ecuatorial y diámetro polar tenga el fruto, además de mayor número de frutos, el peso total por planta será mayor, reflejándose en el rendimiento y que además encuentran dentro de los tratamientos orgánicos.

REFERENCIA

- AOAC Official Method 942.15 (2005). Acidity (Titrable) of Fruit Products. Official method of Analysis of AOAC International, ed. 18, Cap. 37, p.10.
- Alalaf, A. H. E., Shayal Alalam, A. T., & 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.
- Aleshin, NE, 1988. Acerca del papel biológico del silicio en el arroz. *Vestnik Agrícola Ciencia* 10, 77 – 85. Alegría, D.L.P.M.L.J., 2015. Efecto de un bioestimulante en el rendimiento y calidad de *Fragaria vesca* L.Var. Aromas en quirihuac. Laredo- La libertad. Tesis.Trujillo-Perú. <http://creativecommons.org/licences/by-nc-sa/2.5/pe/>.
- Altieri R., M.A., Nicholls, C. I. 1994. Perspectivas agroecológicas, Biodiversidad y manejo de las plagas en agroecosistemas. Editorial Icaria. España. pp 16, 17.
- Antonio, J., & Leemhui, F. (1989). AMINOÁCIDOS. 1–17.
- Arvouet-Grand, A.; Vennat, B.; Pourrat, A.; Legret, P. (1994). Estandarización de un extracto de propóleo e identificación de los principales constituyentes. *J. Pharm. Belg*, 4, 462–468.
- Azad, M. O. K., Park, B. S., Adnan, M., Germ, M., Kreft, I., Woo, S. H., & 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>.
- Benbrook, C.; Zhao, X.; Yanez, J.; Davies, N.; Andrews, P. (2008). New Evidence Confirms the Nutritional Superiority of Plant-Based Organic Food; The Organic Center: [http://organic-center.org/science.latest.php?action=view&report_id\)126](http://organic-center.org/science.latest.php?action=view&report_id)126) (accessed June 27,2008).
- Berova, M., Karanatsidis, G., Sapundzhieva, K., & Nikolova, V. (2010). Effect of organic fertilization on growth and yield of pepper plants (*Capsicum annum* L.). *Folia Horticulturae*, 22(1), 3–7. <https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0143>.
- Blas, B.H. 2017. Situación mundial de la producción orgánica y expectativas para México. Sociedad mexicana de agricultura sostenible a.c. Pp 49-55. <http://www.somas.org.mx/wp-content/uploads/2019/01/LIBRO-DIGITAL-DE-AGRICULTURA-SOSTENIBLE-2017-1.pdf>.

- Brand-Williams, W.; Cuvelier, ME; Berset, C. (1995). Uso de un método de radicales libres para evaluar la actividad antioxidante. *Ciencia de los alimentos. Technol.* 28, 25-30.
- Cao BL, Xu K, Shi J, Xin GF, Liu CY, Li X. (2013). Effects of silicon on growth, photosynthesis and transpiration of tomato. *Plant Nutr Fertil Sci.*;19:354–360 (in Chinese with English abstract).
- Campos Hernández, J. 2012. Evaluación del efecto del uso de fertilizantes foliares con acción bioestimulante, sobre la producción y calidad de lechugas. s.l. s.e.
- Cantillano, R. F. F., Ávila, J. M. M., Peralba, M. do C. R., Pizzolato, T. M., & 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., Leishman, M.R., 2016. Consistent alleviation of abiotic stress with silicon addition: a meta-analysis. *Func. Ecol.* 30, 1340–1357.
- Cun-Carrión, J; Romero-Romero, OE. 2015. Uso de moringa como bioestimulante foliar en pimiento capsicum annum I germoplasma local en Palmales Arenillas. Machala, Machala: Universidad Técnica de Machala.
- Chiqui-Chiqui, F. A., Lema Cumbe, M. L., & Avilés, H. (2010). Evaluación del rendimiento en el cultivo de fresa (*Fragaria sp*) variedad oso grande, bajo invernadero mediante dos tipos de fertilización (orgánica y química) en la parroquia Octavio Cordero Palacio, Cantón Cuenca. 108. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4745>.
- Debona, D., Rodrigues, FA, Datnoff, LE, 2017. Papel del silicio en plantas abióticas y bióticasdestaca. *Ana. Rev. Phytopathol.*
- Dehghanipoodeh, S., Ghobadi, C., Baninasab, B., Gheysari, M., & Bidabadi, S. S. (2016). Effects of potassium silicate and nanosilica on quantitative and qualitative characteristics of a commercial strawberry (*fragaria x 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., & 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 las Heras, J., Fabeiro C., Meco R.2003.Fundamentos de la agricultura ecológica: realidad actual y perspectivas. Universidad de Castilla. La Mancha, España. pp 16-19.

- De Melo Filho, J. S., Da Silva, T. I., De Melo Gonçalves, A. C., De Sousa, L. V., Vêras, M. L. M., & 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., 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, p. 69–73 © 2005 Cirad/EDP Sciences. All rights reserved. DOI: 10.1051/fruits:2005014.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 91, 11–7. doi: 10.1073/pnas.91.1.11.
- El-Shoura A. M. (2020). Effect of foliar application with some treatments on summer squash (*Cucurbita pepo*, L.) tolerance to high temperature stress. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 9 (2):468-478.
- FAOSTAT. (2019). The statistics division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.
- Fibl & Ifoam.2021, the world of organic agricultura. Biofach. Nuremberg, Alemania.pp 19-20. <https://www.organic-world.net/yearbook/yearbook-2021/pdf.html>.
- 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. 111.
- 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* 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., Gómez T. L. (2005). Agricultura, apicultura y ganadería orgánica de México -2005. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Secretaria 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). Chapingo, Estado de México, México.pp17.

- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, JM, Quiles, JL, Mezzetti, B. y Battino, M. (2012). La fresa: composición, calidad nutricional e impacto en la salud humana. *Nutrición* 28, 9-19. doi: 10.1016 / j.nut.2011.08.009
- Gutierrez- Metro Iceli F., Santiago- Segundo Orraz J., Montes - Metro Olina J., Nun Destinoc., Abdu- UnrchilA M., Oliva I laven Señor inconr osales r., d Endooven I. (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.
- Granados, E. 2015. Efecto de bioestimulantes foliares en el rendimiento del cultivo de berenjena; Ocos, San Marcos. COATEPEQUE, Universidad Rafael Landívar. Sede Regional de Coatepeque.
- Grech, H. C. (2020). Evaluación del crecimiento y contenido de clorofilas, carbohidratos y lípidos en cultivo de invierno de lactuca sativa l. fertilizado con abono abonos orgánicos. Trabajo final de grado Ingeniería de Sistemas Biológicos.
- Hanhineva, K., Kärenlampi, S. y Aharoni, A. (2011). Avances recientes en la metabolómica de la fresa. *Genómica, transgénica, mejoramiento molecular y biotecnología de la fresa. Genes Genomes Genomics* 5, 65–75.
- Hashemi, A., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, HR, 2010. Efectos beneficiosos del núcleo de silicotrición en el alivio del estrés de salinidad en canola cultivada hidropónicamente, *Brassica napus L.*, plantas. *Ciencia del suelo. Plant Nutr.* 56, 244-253.
- Hajiboland, R., Cherghvareh, L., Dashtebani, F., 2016. Efecto de la suplementación con silicio en plantas de trigo bajo estrés salino. *J. Plant Proc. Func.* 5, 1–12.
- Hodson, MJ, Sangster, AG, 1988. Deposición de sílice en el fl uence brácteas de trigo (*Triticum aestivum*). 1 *Microscopía electrónica de barrido y microscopía óptica. Poder. J. Bot.* 66, 829 - 837. <https://doi.org/10.1139/>.
- Hernández-Apaolaza, L., 2014. ¿Puede el silicio aliviar parcialmente los micronutrientes? eficiencia en plantas? una revisión. *Planta* 240, 447 - 458.
- 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>.

Imtiaz, M., Rizwan, MS, Mushtaq, MA, Ashraf, M., Shahzad, SM, Yousaf, B., Saeed, DA, Rizwan, M., Nawaz, MA, Mehmood, S., Tu, SX. (2016). Ocurrencia, absorción, transporte y mecanismos de silicio de metales pesados, minerales y tolerancia mejorada a la salinidad en plantas con perspectivas futuras: una revisión. *J. Environ. Gestionar*. 183, 521 - 529.

International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM). (2008). Definition of Organic Agriculture. URL:http://www.ifoam.org/growing_organic/definitions/sdhw/pdf/DOA_Spanish.pdf.

IFOAM y Sociedad Mexicana de Producción Orgánica (2017). Situación mundial de la producción orgánica y expectativas para México. <http://www.somas.org.mx/wp-content/uploads/2019/01/LIBRO-DIGITAL-DE-AGRICULTURA-SOSTENIBLE-2017-1.pdf>.pp.53.

Joseph, SV, Edirisinghe, I. y Burton-Freeman, BM (2014). Bayas: efectos antiinflamatorios en humanos. *J. Agric. Food Chem*. 62, 3886–3903. doi: 10.1021 / jf4044056.

Kim, YH, Khan, AL, Waqas, M., Shim, JK, Kim, DH, Lee, KY, Lee, IJ, 2014. Silicon. La aplicación en la zona de la raíz del arroz influyó en las respuestas fitohormonales y antioxidantes bajo estrés de salinidad. *J. Plant Growth Regul*. 33, 137-149.

Kumar, N., Singh, H. K., & 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. Tesis. Facultad de ciencias. Universidad de Da Coruña.

Lee, S., Sohn, E., Hamayun, M., Yoon, J., Lee, I., 2010. Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. *Agrofor. Syst*. 80, 333–340.

Liang YC, Chen XH, Ma TS, Qian ZJ, Liu LR. (1993). Effect of Si on the growth, yield and quality of tomato. *Jiangsu Agric Sci*.4:48–50 (in Chinese).

Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y.-G., Christie, P., 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environ. Poll*. 147, 422–428.

- Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., Song, A., 2015b. Silicon-Mediated Tolerance to Other Abiotic Stresses, *Silicon in Agriculture*. Springer, pp. 161–179.
- Lightbour, R.L.A., 2016. La bioestimulación y la innovación bajo modelo bioquímico. <https://www.hortalizas.com/nutricion-vegetal/la-bioestimulacion-y-la-innovacion-bajo-modelo-bioquimico/>.(consultado el 24 de julio de 2020).
- Liu, S., Manson, JE, Lee, IM, Cole, SR, Hennekens, CH, Willett, WC, et al. (2000). Ingesta de frutas y verduras y riesgo de enfermedad cardiovascular: el estudio de salud de la mujer. *A.m. J. Clin. Nutr.* 72, 922–928. doi: 10.1093 / ajcn / 72.4.922.
- Llumiquinga, Q. P. (2017). Evaluación de fertilización mineral y órgano/mineral con fertirriego en el cultivo de frutilla *Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne; variedad albión. Quito.
- Massey, F.P., Ennos, A.R. & Hartley, S.E. (2007a) Grasses and the resource availability hypothesis: the importance of silica-based defences. *Journal of Ecology*, 95, 414–424.
- Massey, F.P. & Hartley, S.E. (2009). Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. *Journal of Animal Ecology*, 78, 281–291.
- Molina Nieto, C. R. (2014). Efecto de cuatro biofertilizantes en la producción de estolontes y fruto de fresa. *72*. Retrieved from https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wpcontent/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_molina_nieto.pdf.
- Mena, L., Sarmiento, G., & 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>.
- Ming, D.F., Pei, Z.F., Naeem, M.S., Gong, H.J., Zhou, W.J., 2012. Silicon alleviates PEG-induced water-deficit stress in upland rice seedlings by enhancing osmotic adjustment. *J. Agron. Crop Sci.* 198, 14–26.
- Muneer, S., Park, Y.G., Kim, S., Jeong, B.R., 2017. Foliar or subirrigation silicon supply mitigates high temperature stress in strawberry by maintaining photosynthetic and stress-responsive proteins. *J. Plant Growth Regul.* 36 (4), 836–845.
- 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://doi.org/10.21608/jpp.2020.149800>.

- Neamah, S. S., Al-Abbasi, G. B. A., & 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>.
- Ordeñana, K.M., 2002. Mecanismos de defensa en las interacciones planta-patogenos. *Manejo Integr. Plagas* 63, 22–32.
- Padayatty, SJ; Katz, A.; Wang, Y.; Eck, P .; Kwon, O .; Lee, J.-H .; Chen, S .; Corpe, C .; Dutta, A .; Dutta, SK; et al. La vitamina C como antioxidante: evaluación de su papel en la prevención de enfermedades. *Mermelada. Coll. Nutr.* 2003, 22, 18–35.
- Parra, Q.R.A., Becerril, R.A.E., López,C.C. (2002). Transpiracion, resistencia estomatica y potenciales en manzano ‘golden delicious’ injertado sobre portainjertos clonales. *Terra Latinoamericana*. Vol. 20. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Park, D., Park, Y., Lee, YH, Choi, IY, Park, KC, Park, SU. (2017). Un estudio comparativo de la actividad antioxidante fenólica y la expresión génica relacionada con la biosíntesis de flavonoides entre cultivares de fresa de verano e invierno. *J. Food Sci.* 82, 341–349. doi: 10.1111 / 1750-3841.13600.
- Pérez, C. J. 2004. Agricultura ecológica: Una alternativa al desarrollo sustentable en el campo mexicano. *El cotidiano* 20 (127) 96.
- Perez López, D. D. J., Monroy, J. P., Reyes Ramírez, A. K., Huerta, A. G., & Sangermán Jarquín, D. M. (2019). Fertilización orgánica con tres niveles de gallinaza en cuatro cultivares de papa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1139–1149. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1759>.
- Peris-Felipo, F. J., Benavent-Gil, 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>
- Pesakovic M, Zaklina Karakljajic-Stajic, Slobodan Milenkovic´ Olga Mitrovic.(2013).Biofertilizer affecting yield related characteristics of

strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) and soil micro-organisms. *Scientia Horticulturae* 150, 238–243.

Romero, R.C.O. 2011. Fertilización orgánica en el cultivo de fresa y evaluación de sustratos para la producción de lombriz. (*Eisenia foetida* Sav.). Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Campus Puebla. México. pp 1- 55.

Reganold JP; Andrews PK; Reeve JR; Carpenter-Boggs L; Schadt CW; Alldredge JR; Ross CF; Davies NM; Zhou J. (2010). Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. *PLoS One* 5: 12346.

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, Belo Horizonte 119 pp.

Sánchez Castañeda, J. (2017). Mercado de productos agrícolas ecológicos en Colombia. *Suma de Negocios*, 8(18), 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2017.10.001>.

Sahana, B. J., Madaiah, D., Sridhara, S., Pradeep, S., & Nithin, K. M. (2020). Study on Effect of Organic Manures on Quality and Biochemical Traits of Strawberry (*Fragaria x 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>. (Citado 27 de abril de 2021).

Sonobe, K., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., Eneji, AE, Kobayashi, S., Kawamura, Y., Tanaka, K., Inanaga, S., 2010. Efecto de la aplicación de silicio en las respuestas de la raíz del sorgo al estrés hídrico. *J. Plant Nutr.* 34, 71–82.

Sephu, S. A. (2009). El silicio (Si) como elemento fertilizante Y. Pdf, 028(Noticias SEPHU), 1–8.

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. (Citado 27 de abril de 2021).

SIAP-SADER (2020). Panorama Agroalimentario 2020. <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2020/11/Atlas-Agroalimentario-2020.pdf>. (Citado 23 de febrero de 2021).

- Singleton, R. Orthofer, & R. Lamuela. (1999). "Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods in Enzymology*", de *Methods in enzymology*, L. Packer, N. Kaplan, S. Fleischer, and S. Colowick, New York: Academic Press., vol. 299, pp. 152–178. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).
- Scialabba, N.; Hattam, C. (2003). *Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria*. Depósito de documentos de la FAO. Capítulo 1. Conceptos y temas generales de la agricultura orgánica. Producido por Departamento de desarrollo sostenible [consultado 25 Nov 2016]. Disponible en:<http://www.fao.org/docrep/005/y4137s/y4137s00.htm# Contents>.
- 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>.
- Stamatakis A, Papadantonakis N, Lydakis-Simantiris N, Kefalas P, Savvas D. (2003). Effects of silicon and salinity on fruit yield and quality of tomato grown hydroponically. *Acta Hort.*609:141–7.
- Snyder, G.H., Matichenkov, V.V., Datnoff, L.E., 2007. Silicon. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 121–144.
- Talebi, S.; A. Majd; M. Mirzai; S. Jafari and M. Abedini. (2015). The study of potassium silicate effects on qualitative and quantitative performance of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Biological Forum-An International J.*, 7(2): 1021-1026.
- Tahergorabi, R., Matak, K. E., & Jaczynski, J. (2014). Fish protein isolate: Development of functional foods with nutraceutical ingredients. *J Fun Foods*, 18 (1), 746 – 756. <http://doi.org/10.1016/j.jff.2014.05.006>.
- Teixeira, G.C.M., de Mello Prado, R., Oliveira, K.S., D'Amico-Damião, V., Junior, GdSS. (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; Aguila JS; Heiffig LS; Kluge RA. (2006). Physicochemical characterization of refrigerated strawberries conventional and organic crop systems. *Revista Ibero-Americana de Tecnologia Postcosecha*, 8: 33-37.
- Tripathi, P., Na, C. I., & 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., & 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, Chemie.1988, Fertilizantes y fertilización. Editorial REVERTE. Barcelona, España. pp 165-167.
- Vega I, Nikolic M, Pontigo S, Godoy K, Mora MDLL, Cartes P. (2019). Silicon improves the production of high antioxidant or structural phenolic compounds in barley cultivars under aluminum stress. *Agronomy* 9:388.
- Verdugo G. Wilmer L.2011. Introducción de dos variedades de fresa (*Fragaria vesca* L.) y técnicas de fertirrigación empleando cuatro biofertilizantes líquidos en San Pablo Sexto-Morena Santiago. Tesis para a la obtención del Grado Académico de Magister en Gestión de la Producción de Flores y Frutas Andinas para Exportación. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. pp94, 96, 97, 100, 105,121.
- Viencz, T.,Santana, K., Ayub, R. A., & Botelho, R. V. (2021). Development, photosynthesis and yield of blueberry cultivar 'Climax' growth with different substrates and nitrogen fertilization under protected cultivation. 1–10. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190367>.
- Willer, H.; Lernoud, J. (2018). The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2018. Research Institute of Organic Agriculture FiBL y IFOAM Organics Internacional. Recuperado de <https://shop.fibl.org/chen/mwdownloads/download/link/id/1093/>.
- Weber, N., Schmitzer, V., Jakopic, J., & Stampar, F. (2018). First fruit in season: seaweed extract and silicon advance organic strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruit formation and yield. *Scientia Horticulturae*, 242, 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.038>.
- Xue G, Zhang G, Sun Y, Liao S, Chen Y. (2012). Influences of spraying two different forms of silicon on plant growth and quality of tomato in solar greenhouse. *Chine Agric Sci Bull*. 28(16):272–6.
- Yaghubi, K., Vafae, Y., Ghaderi, N., & 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>.
- Yin, L., Wang, S., Li, J., Tanaka, K., Oka, M., 2013. La aplicación de silicio mejora la saltolerancia a través de la mejora del estrés osmótico e iónico en la plántula de sorgobicolor. *Acta Physiol. Planta*. 35, 3099–3107.

- Zuo, Y., Zhang, J., Zhao, R., Dai, H., & 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.
- Zuaznabar Zuaznabar, R; Pantaleón Paulino, G; Milanés Ramos, N; Gómez Juárez, I; Herrera Solano, A. (2013). Evaluación del bioestimulante del crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar FITOMAS-E en el estado de Veracruz, México (en línea). ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar 47(2):8-12. Consultado 19 mar. 2020. Disponible en <https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/1.-NUTRICIÓN-Y>.

Citas electrónicas

Eurosemillas (2021). Camino Real. Consulta: 20 febrero 2021. Disponible en:
<http://www.eurosemillas.com/es/variedades/fresa/item/3-camino-real.html>.