

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuesta De Plantas De Fresa (cv. Albión) A Las Aplicaciones
De Silicio Y Ácidos Húmicos

Por:

FÁTIMA TORRES LINARES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuesta De Plantas De Fresa (cv. Albión) A Las Aplicaciones

De Silicio Y Ácidos Húmicos

Por:


FÁTIMA TORRES LINARES


TESIS

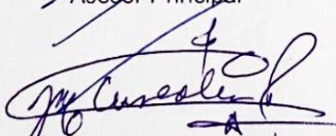
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA


Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. José Antonio González Fuentes
Asesor Principal


M.C. María Itzel Pérez León
Asesor Principal Externo


Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez
Coasesor


Dr. José Alfredo Hernández Maruri
Coasesor


Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Mayo, 2023

DERECHOS DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo material contenido en esta tesis, está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Pasante

Fátima Torres L.

Fátima Torres Linares

Nombre y Firma

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**: Por brindarme la oportunidad de pertenecer a esta gran universidad y por todo lo aprendido, por prepararme para conseguir mis metas. Grandes recuerdos vividos en esta institución que siempre llevare presentes a donde quiera que valla.

Al Dr. José Antonio Fuentes González: Gracias por todo el apoyo que me estuvo brindando en la elaboración de este proyecto y por compartirme de su conocimiento para aprender cosas nuevas que fueron de gran importancia para mejorar mis habilidades, sobre todo por la gran paciencia que me tuvo en el desarrollo del proyecto.

Al MC. María Itzel Pérez Ramos: Gracias por su constante apoyo y orientación que me estuvo brindando día con día, así como también por haberme tenido mucha paciencia para guiarme en el desarrollo de mi tesis.

A mis tíos y abuelita: Porque han estado presentes en el trascurso de mi vida apoyándome en todo momento, por el cariño y todas las bendiciones que he recibido de parte de ustedes.

A mis Primos: Que siempre estuvieron creyendo en mí, apoyándome en todo momento y depositaron su confianza en mí.

A Fabián González Linares: Por siempre confiar en que lo lograría y nunca dudar de mis habilidades, por toda la paciencia, apoyo y cariño que me has brindado siempre, además por todos los buenos momentos en los que convivimos que han sido de gran importancia para mí. Muchas gracias por todo y porque sé que primero dios será un logro de muchos más que vendrán.

A Dulce María Villegas García: Por nunca haberme dejado sola en esta gran etapa que compartimos y estarme apoyando incondicionalmente, por el cariño que me brindaste cuando más lo necesitaba el cual fue de gran importancia para nunca rendirme e impulsarme a ser mejor siempre.

DEDICATORIA

A DIOS: Por darme la vida, el cariño y las fuerzas de siempre salir a delante y cumplir todas mis metas y por todas las bendiciones que me ha dado día con día.

A mis padres: **Bertha Linares Murillo y Juan Manuel Torres Vargas:** Por ser el gran ejemplo de querer salir adelante, por todo el sacrificio que tuvieron que hacer para que yo pudiera superarme, sin ustedes no lo hubiera logrado ya que a pesar de la distancia nunca me dejaron sola en ningún momento y estuvieron confiando en mí siempre. Gracias por darme las fuerzas de seguir adelante.

A mis hermanas: **Mariana, Dulce María, Andrea y Lupita:** Por todo el cariño que me brindaron siempre, porque a pesar de la distancia nunca me dejaron sola, en todo momento estuvieron al pendiente de mí y de que no me faltara nada. Muchas gracias por no dejarme rendir y por ser mi motivo de salir adelante, sé que sin ustedes no lo hubiera logrado.

A mis abuelitos: **María Concepción Murillo, Francisco Linares, Salvador Torres (†)** porque fueron una parte fundamental en el trascurso de mi vida, además por ser el gran ejemplo de querer salir adelante. Que a pesar que ya no están conmigo sé que donde quiera que estén estarán muy orgullosos de mí.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
ÍNDICE DE CUADROS.....	V
ÍNDICE DE FIGURA	V
RESUMEN	VII
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2 OBJETIVO ESPECIFICO	2
1.3 HIPÓTESIS	2
II.- REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Origen e historia	3
2.2 Importancia del cultivo.....	3
2.3 Bioestimulante	4
2.4 Generalidades del silicio.....	4
2.4.1 El silicio en las plantas.....	5
2.4.2 El silicio en la protección de cultivos.....	6
2.8 Generalidades de los ácidos húmicos	7
2.9 Función de los ácidos húmicos	7
III.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
3.1 Ubicación del experimento	8
3.2 Descripción del material genético.....	9
3.3 Manejo nutricional	9
3.4 Preparación del sustrato.....	10
3.5 Trasplante	11
3.6 Tratamientos	12
3.7 Manejo del cultivo.....	13
3.7.1 Riego	13
3.7.2 Control de plagas y enfermedades	13

3.7.3 Monitoreo de pH y CE.....	14
3.8 Variables evaluadas	15
3.8.1 Peso de frutos.....	15
3.8.2 Diámetro polar	15
3.8.3 Diámetro ecuatorial.....	16
3.8.4 Solidos solubles totales	16
3.8.5 Contenido de vitamina C.....	17
3.9 Determinación de compuestos antioxidantes en fruto	18
3.9.1 Extracto metanólico	18
3.9.2 Flavonoides totales	18
3.10 Diseño experimental	19
3.11 Análisis estadístico	19
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1. El peso del fruto (PF).....	19
4.2. Diámetro polar (DP).....	20
4.3. Diámetro ecuatorial (DE)	21
4.4. Solidos solubles totales (SST).....	22
4.5. Contenido de vitamina C	24
4.6. Flavonoides	25
V.- CONCLUSIÓN	26
VL.- LITERATURA CITADA.....	27

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos.....	12
---	----

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Medición del diámetro de la corona de las plantas de fresa, con ayuda de un vernier.....	9
Figura 2. Preparación de la solución nutritiva.	10
Figura 3. Realización de la mezcla del sustrato, con perlita y peat moos 50:50.	10
Figura 4. Llenado de las macetas con el sustrato, y posterior trasplante de plántulas.	11
Figura 5. Ilustración de la realización de riegos manuales después del trasplante y durante el crecimiento de las plantas.....	13
Figura 6. Aplicaciones foliares de insecticidas y fungicidas.	14
Figura 7. Ilustración del monitoreo de pH y CE con ayuda de un potenciómetro en la aplicación de la solución nutritiva.	14
Figura 8. Determinación del peso de los frutos.	15
Figura 9. Toma de medidas del diámetro polar, con ayuda de un vernier.	15
Figura 10. Toma de medidas del diámetro ecuatorial, con ayuda de un vernier.	16
Figura 11. Toma de lectura de los °Brix de los frutos.....	16
Figura 12. Obtención del contenido de vitamina C.....	17
Figura 13. Obtención del contenido de flavonoides.	18
Figura 14. Respuesta de las plantas de fresa (cv. Albión) a la interacción de silicio y ácidos húmicos sobre el peso del fruto.	20
Figura 15. Respuesta de las plantas de fresa (cv. Albión) a la interacción de silicio y ácidos húmicos sobre el diámetro polar del fruto.	21
Figura 16. Respuesta de las plantas de fresa (cv. Albión) a la interacción de silicio y ácidos húmicos sobre el diámetro ecuatorial del fruto.	22
Figura 17. Respuesta de las plantas de fresa (cv. Albión) a la interacción de silicio y ácidos húmicos sobre el contenido de sólidos solubles totales.	23
Figura 18. Respuesta de las plantas de fresa (cv. Albión) a la interacción de silicio y ácidos húmicos sobre el contenido de vitamina C.	24

Figura 19. Respuesta de las plantas de fresa (cv. Albión) a la interacción de silicio y ácidos húmicos sobre el contenido de flavonoides.25

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la respuesta de plantas de fresa (cv. Albión) a las distintas aplicaciones tanto de silicio y ácidos húmicos. En el cual se evaluaron 16 tratamientos los cuales fueron tratamiento 1 (0.0 mM L⁻¹ de silicio y 0 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 2 (0.0 mM L⁻¹ de silicio y 1 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 3 (0.0 mM L⁻¹ de silicio y 2 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 4 (0.0 mM L⁻¹ de silicio y 4 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 5 (1.5 mM L⁻¹ de silicio y 0 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 6 (1.5 mM L⁻¹ de silicio y 1 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 7 (1.5 mM L⁻¹ de silicio y 2 ml L⁻¹ de ácidos húmicos) tratamiento 8 (1.5 mM L⁻¹ de silicio y 4 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 9 (3 mM L⁻¹ de silicio y 0 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 10 (3 mM L⁻¹ de silicio y 1 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 11 (3 mM L⁻¹ de silicio y 2 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 12 (3 mM L⁻¹ de silicio y 4 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 13 (6 mM L⁻¹ de silicio y 0 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 14 (6 mM L⁻¹ de silicio y 1 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 15 (6 mM L⁻¹ de silicio y 2 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), tratamiento 16 (6 mM L⁻¹ de silicio y 4 ml L⁻¹ de ácidos húmicos), con cuatro repeticiones cada una obteniendo un total de 64 plantas por tratamiento. Obteniendo que al utilizar 6 mM L⁻¹ de silicio se incrementó un 92% del contenido de flavonoides (FL) y al interactuar el silicio y ácidos húmicos influyeron de manera positiva en el contenido de vitamina C (VC) incrementando un 5% con dosis de (3mM L⁻¹ de silicio y 1 mL⁻¹ de ácidos húmicos) y el de solidos solubles totales (SST) incrementando un 2.4% utilizando dosis de (6mM L⁻¹ de silicio y 1mL⁻¹ de ácidos húmicos), en cambio para las variables de diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE) y peso del fruto (PF), no se obtuvieron efectos positivos.

Palabras claves: Silicio, Ácidos húmicos, Rendimiento y Calidad.

I.- INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria x ananassa*) es un cultivo de gran valor económico que se produce en campo abierto e invernadero, empleando sistemas de producción orgánicos y convencionales en los que se utilizan distintas tecnologías como macro y microtuneles, sustratos, acolchados y sistemas hidropónicos (Terrones *et al.*, 2022).

Hoy en día los productores enfrentan una serie de problemas durante la producción como la contaminación del agua, la salinización y degradación de los suelos, por el uso indiscriminado de fertilizantes químicos produciendo un impacto negativo en el rendimiento del cultivo (Hernández *et al.*, 2022).

El uso de bioestimulantes ha sido una alternativa esencial por su contenido de aminoácidos libres con bajo peso molecular, estos a su vez son fácilmente absorbidos y transportados por la planta, permitiendo aumentar el rendimiento del cultivo (Sánchez, 2022).

Como es el uso de silicio considerado un elemento benéfico y el cual es uno de los componentes minerales más abundante del suelo (Cruz, 2018). Se ha demostrado que el silicio tiene efectos benéficos en algunos cultivos, como son resistencia a plagas, tolerancia a la toxicidad por metales pesados, al estrés hídrico y salino, menor evapotranspiración y aumenta la tasa fotosintética (Tapia, 2019).

Dentro de los componentes nutricionales, el Si es considerado un elemento poco estudiado ya que no existen aún datos unificados (Arruda, 2019). Se busca algún criterio de estandarización, acerca de cómo realizar una interpretación adecuada de los niveles críticos de Si en el suelo, o acerca de cuáles son los requerimientos particulares en cultivo de fresa (Pinilla, 2019).

El uso de ácidos húmicos hoy en día ha sido una alternativa de solución, porque son macromoléculas polielectrolíticas que desempeñan un papel importante en el ciclo global de carbono y nitrógeno ayudando a regular la contaminación ambiental. El uso de ácidos húmicos en la agricultura se ha extendió debido a la producción de efectos positivos (Rivera, 2017) como activador importante en los procesos bioquímicos, como la respiración, fotosíntesis, absorción de nutrientes, incremento en el contenido de clorofila, crecimiento

de organismo en el suelo, desarrollo de raíces, calidad y rendimiento en muchos cultivos (Elizarrarás *et al.*, 2009).

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la respuesta de plantas de fresa a diferentes dosis de silicio y ácidos húmicos.

1.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Analizar la concentración óptima de silicio y ácidos húmicos que permita una mejor respuesta a la determinación de compuestos antioxidantes en fruto.
- Evaluar y comparar la efectividad del uso de silicio y ácidos húmicos al aumento de solidos solubles totales del fruto.
- Determinar y proporcionar información sobre el comportamiento en propiedades físicas de calidad como: diámetro polar, ecuatorial y peso de frutos sometidos a diferentes concentraciones de silicio y ácidos húmicos.

1.3 HIPÓTESIS

Al menos una de las concentraciones de silicio y ácidos húmicos provocara respuestas positivas en el rendimiento y la calidad de fruto.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen e historia

El cultivo de fresa es una planta que puede llegar a vivir varios años; pero dura dos años en producción económica. Perteneciente de las rosáceas, perenne y rastrera (Duarte y Ruiz, 2010).

Actualmente se considera que el cultivo de fresa es una especie hortícola que se ha cultivado y originado desde varios siglos en Europa y Estados Unidos de América, constituyéndose como una de las principales frutas de consumo (Nolasco, 2019), La constante investigación y desarrollo de variedades con distintas formas de adaptación ecológica y niveles tecnológicos ha impulsado su expansión y su comercialización a nivel mundial (Mena *et al.*, 2017).

2.2 Importancia del cultivo

El cultivo de fresa en México se inició a mediados del siglo pasado en el estado de Guanajuato. Sin embargo, no fue hasta 1950 que tomo mayor importancia por la creciente demanda de los EE. UU. Originando que el cultivo se extendiera a diferentes estados y cubrir las necesidades del mercado y poder llegar a ser el mayor productor a nivel nacional (Ávila y González, 2012), y fue así como este cultivo generó gran importancia socioeconómica, debido a que ha generado empleo y divisas por ser un producto de exportación para sus distintos consumos ya sea en fresco, congelado y procesado (Gonzales *et al.*, 2020).

Este cultivo ha generado una gran importancia social debido a la alta demanda de trabajadores que se requieren para la producción y procesamiento en campo, postcosecha y en la industria (Alejandro, 2013). Cabe mencionar que la producción de fresa representa la segunda actividad económica del estado de Michoacán más importante con un valor de 13 mil 130 millones de pesos, generando más de tres mil empleos fijos al año y más de 45 mil empleos temporales ligados a las distintas actividades (SAGARPA, 2022).

No solo en Michoacán es el principal estado productor de fresa si no también destacan otros cuatro estados como Baja California, Guanajuato, Baja California sur y Estado de México, en su conjunto, estas entidades aportan el 99 % de la producción total destacando más en los meses de mayo, junio y julio (SIACON, 2022).

2.3 Bioestimulante

En los últimos años, el uso de bioestimulantes, ha sido una estrategia dentro del programa de fertilización como un complemento a la fertilización aplicada en diferentes cultivos (Martínez *et al.*, 2022). Ya que últimamente se han desarrollado diversos productos y sustancias en el mercado de insumos agrícolas para poder mejorar las funciones biológicas del suelo y planta, o sus interacciones. Estas sustancias y mezclas conocidas como bioestimulantes, generan mecanismos de acción (Salas, 2019).

Los bioestimulantes son productos que se obtienen a partir de materia orgánica, sus composiciones suelen variar, la aplicación de estos productos en la agricultura está centrados en los efectos fisiológicos y su metabólicos de las plantas, tanto en el crecimiento de su sistema radicular favorecer una mayor área de absorción de nutrientes (Barros *et al.*, 2022).

Al hablar de un bioestimulante puede tener doble función siendo la primordial bioestimulante y en secuencia ser un agente de biocontrol el cual se encuentra incluido en combinación con fertilizantes. Se encuentran hoy en día estos productos en diversas presentaciones y formulaciones comerciales como pueden ser, (Jurado, 2022) los ácidos húmicos y fúlvicos, materiales orgánicos complejos, elementos químicos benéficos (tales como el Si, Se, Co, Na, I), sales inorgánicas (tales como los fosfitos), extractos de algas y plantas, derivados de quitina y quitosan, aminoácidos, microorganismos y otras sustancias nitrogenadas, (Stadnik *et al.*, 2017).

2.4 Generalidades del silicio

El silicio es uno de los elementos químicos cuyo símbolo es Si y el cual se encuentra en la tabla periódica en el grupo 14 o IVA. Por su abundancia (2.57x 10⁵ ppm) (Vinces, 2021).

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante de la corteza terrestre, y se encuentra casi exclusivamente en forma de SiO₂ en asociaciones con una amplia gama de minerales que contiene. A principios de la década de 1900, el Si fue reconocido como uno de los 15 elementos necesarios para la vida vegetal, sin embargo, hasta la fecha la esencialidad del Si solo se conoce para las diatomeas (Calderón, 2022).

2.4.1 El silicio en las plantas

El silicio juega un papel importante en la planta, debido a que controla el desarrollo del sistema radicular, la asimilación y distribución de nutrientes minerales, incrementa la resistencia de la planta al estrés abiótico (alta temperatura, baja temperatura, concentración de sales y metales pesados) y biótico (insectos, hongos, enfermedades) (Espinoza, 2019). Se menciona que además el Si es conocido por su rol en los componentes electrónicos; sin embargo, se ha demostrado que a pesar de no ser un elemento esencial para la planta, tienen bastantes cualidades que nos permiten mejorar el desarrollo y rendimientos de algunos cultivos (Villalón *et al.*, 2018).

También se tienen investigaciones que determinan que la planta de fresa tiene las herramientas genéticas necesarias para absorber Si, pero los regímenes de fertilización con Si influirán en la cantidad absorbida por la planta y, por lo tanto, en los beneficios que obtienen del Si (Ouellette *et al.*, 2017).

Hernández *et al.*, (2022) menciona que la aplicación de este elemento a una planta de fresa bajo túnel o invernadero llegó a limitar significativamente los efectos negativos del estrés por altas temperaturas, reduciendo la incidencia de enfermedades y llegó a aumentar el rendimiento de frutos comerciables.

El efecto benéfico del Si también se encuentra en otros cultivos, donde se evidencia que este elemento ha llegado a incrementar el contenido de fenoles y polifenoles en las plantas, así como su capacidad antioxidante, y así poder incrementar la calidad alimenticia de las plantas (Espinoza, 2021).

Zamora (2019) determinó que la fertilización de silicio y magnesio en el cultivo de arroz, variedad Iniap FL 1480 "Cristalino", mostró excelente respuesta al aumentar la altura de la planta, macollos y panículas por m², longitud de panícula, granos por panícula y peso de 1000 granos aplicando dosis de 10 kg ha⁻¹ de Si más 20 kg ha⁻¹ de Mg.

Arce (2019) indicó en su investigación sobre la aplicación de silicio (0, 25, 75 mg L⁻¹ en la solución nutritiva y 56,112 y 224 mg L⁻¹ al follaje) en cultivo de fresa que al adicionar 25 mg L⁻¹ de Si en la solución nutritiva se puede llegar a incrementar un 2.3% en el rendimiento, también favoreciendo hasta un 30% el área foliar con dosis de 50 mg L⁻¹.

Cazares *et al.* (2022) señalo que el uso de silicio puede llegar a aumentar la capacidad fotosintética, disminución de la transpiración, mayor crecimiento de la planta e incrementando los rendimientos del cultivo de pepino utilizando concentraciones de 30 o 50 mg L⁻¹ Si.

Sadeghi *et al.* (2020) realizo aplicaciones foliares de silicio (0, 1, 2 mM) en tres cultivares de cártamos (Goldasht, Padideh y Golmehr), obteniendo que al usar Goldasht con silicio de 2 mM genero efectos positivos reduciendo la deshidratación.

Cárdenas *et al.* (2014) evaluó distintas concentraciones de silicio (0, 200, 400, 600 g) en el cultivo de chile habanero obteniendo como resultado que la dosis de 200 g por planta se puede obtener un incremento de hasta 255 flores y 235 frutos por planta, por esto es recomendable utilizar fertilización enriquecidas con Si

2.4.2 El silicio en la protección de cultivos

Uno de los efectos más notables del Si es la reducción de la intensidad de ciertas enfermedades foliares, incluso al mismo nivel alcanzado por algunos fungicidas. El papel del Si ha sido atribuido, en parte, a su acumulación y polimerización en las paredes celulares, lo cual genera una barrera física contra el ataque de patógenos (Nascimento *et al.*, 2019).

Se menciona que al usar Si trae como consecuencia un aumento en la síntesis de enzima peroxidasa, polifenoloxidas, glucanasa y quitinasa; las cuales están relacionadas con un incremento en la producción de quinonas que tienen propiedades antibióticas, favoreciendo la lignificación de los tejidos lo cual genera, un decrecimiento en la preferencia de los insectos por las plantas (González *et al.*, 2015).

Al realizar aplicaciones con productos de silicio logran acumular gran cantidad de ese elemento, provocando que los insectos no puedan introducir su aparato bucal y su estilete reproductivo, por lo que emigran en la búsqueda de plantas más propicias para poder alimentarse y ovopositor lográndose por lo tanto una resistencia mecánica (Herrera *et al.*, 2011).

2.8 Generalidades de los ácidos húmicos

Hoy en día el conocimiento de la estructura de las sustancias húmicas, a pesar de su gran heterogeneidad, es totalmente necesaria para poder describir su reactividad química y su participación en los procesos biológicos que tiene lugar en las plantas ya que esta interacción aun no queda clara hoy en día (Huelva *et al.*, 2013).

Los ácidos húmicos están formados de asociaciones de compuestos predominantes hidrofobicos (ácidos grasos, compuesto esteroidales, cadenas de grupos metilenos), que están estabilizadas aun pH neutro por fuerzas dispersivas. Estas conformaciones crecen en tamaño cuando se aumentan los puentes de hidrogeno intermoleculares a bajo valores de pH, lo cual hace que estos materiales húmicos floculen (Veobide *et al.*, 2018)

2.9 Función de los ácidos húmicos

El desarrollo óptimo de los cultivos demanda una elevada aplicación de diferentes fertilizantes, pero hoy en día se ha comprobado científicamente que el uso indiscriminado de estos insumos químicos ha generado impacto negativo en el medio ambiente. Una alternativa ecológica es el empleo de abonos orgánicos como los ácidos húmicos (Alarcón *et al.*, 2018).

Los ácidos húmicos poseen grupos auxínicos intercambiables que inducen la proliferación en sitios de emergencia de raíces laterales y estimulan la actividad de la H⁺-ATPasa de la membrana plasmática (Malagón *et al.*, 2007).

El uso de estas sustancias ha generado efectos físicos, químicos y biológicos sobre el suelo, en especial en aquellos que presentan malas condiciones físicas que dificultan la producción de cultivos, y llegan a tener un efecto estimulante para el crecimiento de las plantas, también influye en la movilidad de compuestos orgánicos no iónicos (Rodríguez *et al.*, 2009). Se menciona que son una enmienda orgánica del suelo en combinación con otros materiales, mejorando las propiedades hidrofísicas. Los complejos orgánicos minerales permiten a la planta superar los efectos de salinidad de los suelos, mejora la aireación, permeabilidad, capacidad de retención de agua y la disminución de algunos elementos tóxicos (López *et al.*, 2014).

Investigaciones confirman que los ácidos húmicos no solo tienen un impacto directo en el mejoramiento de la fertilidad del suelo, sino que también contribuye significativamente a su

resistencia, incide en la absorción de nutrientes y como resultado directo, afecta positivamente en el crecimiento de plantas saludables (Reyes *et al.*, 2021).

Como hoy en día se tienen muchas investigaciones sobre los efectos que ha generado el uso de ácidos húmicos en distintos cultivos como indica Ganchozo, (2021), que evaluó distintas dosis de ácidos húmicos concluyendo que al utilizar concentraciones de 112 g NPK + 7,5cc Ácidos Húmicos se obtuvieron resultados positivos en el cultivo de banano como mayor altura, días de cosecha, número de manos por racimo y diámetro de pseudotallo.

Ayala, (2020), menciona que, al aplicar ácidos húmicos con dosis de 1L/19 L de agua fue el tratamiento con mejores resultados en el cultivo de chile jalapeño, obteniendo mayor longitud, diámetro y peso del fruto.

Seguel *et al.*, (2019), presenta que al utilizar ácidos húmicos en una dosis de 15 kg ha⁻¹ favoreció el llenado de grano por espiga, sin afectar el peso del grano produciendo una mayor producción de biomasa en trigo.

Murillo *et al.*, (2017), nos indica que el uso de ácidos húmicos tiene un gran efecto bioestimulante favoreciendo a las plantas de zanahoria la longitud de la raíz, número de hojas, largo de la hoja, biomasa fresca y diámetro superior al utilizar concentraciones de 10 mg L⁻¹ de los ácidos húmicos.

III.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

El experimento se realizó en el ciclo primavera-verano del 2022 en el invernadero del departamento de horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro localizada en la ciudad de Saltillo en la región suroeste del estado de 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.

3.2 Descripción del material genético

Se utilizó planta de la variedad Albión con un fotoperiodo de día neutral y su diámetro de corona 10-15 mm, ya que esta variedad se caracteriza por su excelente calidad de frutos, tanto por su tamaño como por su sabor y firmeza.



Figura 1. Medición del diámetro de la corona de las plantas de fresa, con ayuda de un vernier.

3.3 Manejo nutricional

Se manejó la solución nutritiva de Hoagland teniendo una CE de 1.5 ds/m y un pH entre 5.8-6.0. Posteriormente tres días después del trasplante se comenzó aplicando solución a un 25% durante una semana. Diez días del trasplante se incrementó la dosis aplicando 100 mL de cada uno de los toneles y al mismo tiempo agregando 4.72 g de calcio para preparar 20 L de solución. Tres meses después del trasplante se ajustó nuevamente la solución ya que se presentaron problemas con la CE, agregando 50mL de nitrato de calcio, 50 mL de macronutrientes, 25 mL de ácidos y 100 mL de microelementos más 4.72 g de calcio, dejando propiedades químicas adecuadas (pH 6.1 y CE 1.3) para poder preparar 20 L de solución.



Figura 2. Preparación de la solución nutritiva.

3.4 Preparación del sustrato

La mezcla del sustrato que utilizamos fue 50:50 (V:V) perlita y peat moos de la marca Premie, mezclándolos perfectamente y al mismo tiempo humedeciéndolo, después se procedió a revisar las propiedades físicas y químicas dejando un pH de 6 y una aireación de 24% adecuado para el cultivo, posteriormente se rellenó las macetas y se colocó la planta.



Figura 3. Realización de la mezcla del sustrato, con perlita y peat moos 50:50.

3.5 Trasplante

El trasplante se realizó el 11 de febrero del año 2022, se seleccionaron y se clasificaron de acuerdo a su diámetro de corona y posteriormente se trasplantaron en macetas de 22 cm de altura por 10 cm de diámetro, obteniendo un total de 64 plantas y las cual se distribuyeron dentro del invernadero al azar. Se procedió a dar el primer riego con agua corriente para mantener la humedad del cultivo.



Figura 4. Llenado de las macetas con el sustrato, y posterior trasplante de plántulas.

3.6 Tratamientos

Se evaluaron 16 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, aplicándose una vez por semana. Factor A (SiO_2): 0mM (0 g L^{-1}), 1.5mM (0.090 g L^{-1}), 3mM (0.18 g L^{-1}), 6mM (0.36 g L^{-1}) y Factor B Húmicos: 0 ml L^{-1} , 1 ml L^{-1} , 2 ml L^{-1} 4 ml L^{-1} .

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos

Factor A SiO_2	Factor B Húmicos	Tratamientos	
0.0 mM L⁻¹	0 ml L^{-1}	T1	0.0mM (0mL)
	1 ml L^{-1}	T2	0.0mM (1mL)
	2 ml L^{-1}	T3	0.0mM (2mL)
	4 ml L^{-1}	T4	0.0mM (4mL)
1.5 mM L⁻¹	0 ml L^{-1}	T5	1.5mM (0mL)
	1 ml L^{-1}	T6	1.5mM (1mL)
	2 ml L^{-1}	T7	1.5mM (2mL)
	4 ml L^{-1}	T8	1.5mM (4mL)
3.0 mM L⁻¹	0 ml L^{-1}	T9	3mM (0mL)
	1 ml L^{-1}	T10	3mM (1mL)
	2 ml L^{-1}	T11	3mM (2mL)
	4 ml L^{-1}	T12	3mM (4mL)
6.0 mM L⁻¹	0 ml L^{-1}	T13	6mM (0mL)
	1 ml L^{-1}	T14	6mM (1mL)
	2 ml L^{-1}	T15	6mM (2mL)
	4 ml L^{-1}	T16	6mM (4mL)

3.7 Manejo del cultivo

3.7.1 Riego

Los riegos se realizaron de forma manual. Durante los dos primeros meses se regó cada planta con 500 mL de solución nutritiva. Los siguientes meses incremento el volumen cada tercer día o dependiendo de las condiciones climáticas que se presentaran.



Figura 5. Ilustración de la realización de riegos manuales después del trasplante y durante el crecimiento de las plantas.

3.7.2 Control de plagas y enfermedades

Antes de realizar el trasplante se aplicó un bactericida (Metalaxil) al 0.5ml L^{-1} como preventivo para hongos y bacterias.

Siete días después del trasplante se presentó mosca blanca por cual aplicamos un adherente (Pena Trex) al 0.5ml L^{-1} y un insecticida agrícola (Confidel) al 1ml L^{-1} de forma foliar por las mañanas. La segunda aplicación para la mosca ya fue con la solución nutritiva la misma cantidad del confidel. Se realizando aplicaciones preventivas de fungicidas (Captan) 0.5g L^{-1} de forma foliar para prevenir enfermedades por exceso de humedad. Después de tres meses se presentó araña roja, se controló con un acaricida de acción traslaminar (Abamectina Delta) a 1ml L^{-1} de forma foliar cada siete días por dos semanas, posteriormente variamos el producto para no generar resistencia y en este caso utilizamos un acaricida (Amitraz) a 1ml L^{-1} más un adherente (Pena Trex) al 0.5ml L^{-1} por dos semanas. Luego se procedió a realizar una aplicación de dos productos Abamectina y Amitraz de

forma foliar finalmente aplicamos un ovicida-acaricida (Atzingao) a 5ml L^{-1} más el adherente. Al mismo tiempo estuvimos lavando la planta con jabón Roma® tres veces por semana aplicando 2.15g L^{-1} como preventivo.



Figura 6. Aplicaciones foliares de insecticidas y fungicidas.

3.7.3 Monitoreo de pH y CE

Para el monitoreo de pH y CE se utilizó un potenciómetro de la marca Hanna de alta gama, estos datos se medían siempre que regábamos para poder mantener o ajustar en caso de ser necesario, manteniendo un pH entre 5.5-6 y CE de 1.3 mS/cm .



Figura 7. Ilustración del monitoreo de pH y CE con ayuda de un potenciómetro en la aplicación de la solución nutritiva.

3.8 Variables evaluadas

3.8.1 Peso de frutos

En esta variable los frutos fueron cosechados y en seguida se procedió a pesar cada uno de los frutos frescos con una balanza electrónica de Babol-100g Rhino.



Figura 8. Determinación del peso de los frutos.

3.8.2 Diámetro polar

Con ayuda de un vernier de la marca Truper CALDI-6MP, calibrador digital con capacidad máxima 6"/150mm, capacidad mínima de 0.0005"/0.01 mm.

Cada vez que se cosechaba se tomaban las medidas del diámetro polar en mm de cada uno de los frutos para al final sacar un promedio de todos los frutos cosechados y registrarlos.



Figura 9. Toma de medidas del diámetro polar, con ayuda de un vernier.

3.8.3 Diámetro ecuatorial

Con ayuda de un vernier de la marca Truper CALDI-6MP, calibrador digital con capacidad máxima 6"/150mm, capacidad mínima de 0.0005"/0.01 mm.

Cada vez que se cosechaba se tomaban las medidas del diámetro ecuatorial en mm de cada uno de los frutos para al final sacar un promedio de todos los frutos cosechados y registrarlos.



Figura 10. Toma de medidas del diámetro ecuatorial, con ayuda de un vernier.

3.8.4 Sólidos solubles totales

Con ayuda de un refractómetro de la marca ATAGO y calibrado a 20°C con una escala del 0-33°B, se procedió a retirar con una navaja una parte del tejido carnoso del fruto para agregar una pequeña gota de muestra sobre el refractómetro, se tomó la lectura de los frutos y se registró °Brix.



Figura 11. Toma de lectura de los °Brix de los frutos.

3.8.5 Contenido de vitamina C

Se pesaron 20 g de peso fresco de fruto de cada uno de los tratamientos y se colocaron en un mortero, en el cual se agregó 100 mL de agua destilada y 10 mL ácido clorhídrico al 2% y se fue homogenizando perfectamente buscando liberar todo el contenido de vitamina. Posteriormente se filtró con ayuda de gasas sobre un matraz de aforación de Erlenmeyer. Se aforo a 100 mL con agua destilada y se tomó un alícuota de 10 mL del filtrado y se realizó el proceso de titulación con 2-6 diclorofenolindofenol hasta poder obtener una coloración rosácea persistente (Padayatt *et al.*, 2001).



Figura 12. Obtención del contenido de vitamina C.

Para poder obtener el contenido de vitamina C en cada una de nuestras muestras se utilizó la siguiente fórmula:

$$Vit = \frac{(mL \text{ utilizados de } 2 - 6 \text{ diclorofenolindofenol} * 0.088 * \text{Volumen total} * 100)}{(\text{Volumen de alícuato} * \text{Peso de muestra})}$$

3.9 Determinación de compuestos antioxidantes en fruto

3.9.1 Extracto metanolico

En un mortero de porcelana se trituraron 150 µg de pulpa de fresa (obtenida de la mezcla de cuatro frutos por tratamiento) con 1.5 mL de metanol acuoso 80% (v/v), la mezcla se homogenizo con agitación en un vortex; posteriormente, se colocó en sonicación por 15 min a temperatura ambiente, la mezcla se dejó reposar por 24h y se centrifugo por 10 min a 12500 rpm a 4°C. Con este extracto se cuantificó la variable de flavonoides totales (Chang *et al.*, 2002).

3.9.2 Flavonoides totales

Se tomaron 1000 µL del extracto metanolico obtenido previamente, se agregó 1000 µL de tricloruro de aluminio (AlCl₃ al 2%), se dejó reposar por 20 minutos en oscuridad. La lectura se tomó a 415 nm en un espectrofotómetro Thermo Spectronic modelo Genesys 10 UV (New York, EUA). La concentración se determinó con una curva patrón de flavonol quercetina. Los resultados se expresaron en mg equivalente de quercetina por 100 g de peso fresco (mg EQ 100 g⁻¹ P.F.) (Arvouet *et al.*, 1994).

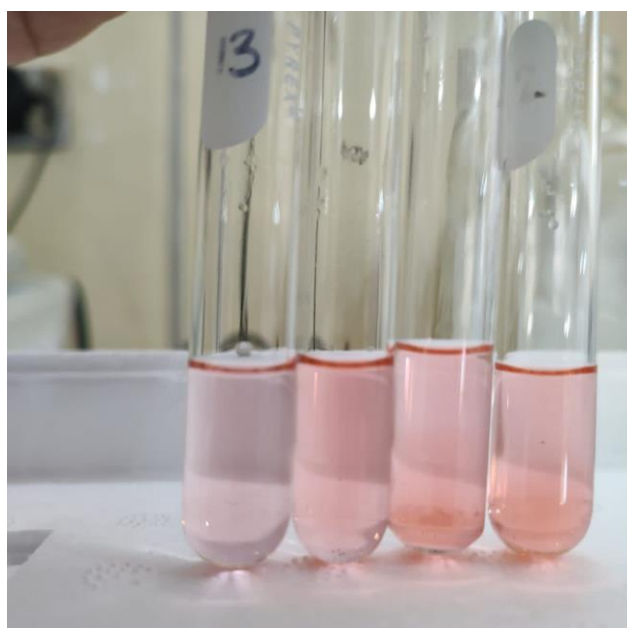


Figura 13. Obtención del contenido de flavonoides.

3.10 Diseño experimental

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial obteniendo 16 tratamientos (4x4) con cuatro repeticiones cada uno y dos factores, aplicándose una vez por semana. El factor A, corresponde a cuatro dosis de SiO₂ (0 mM, 1.5 mM, 3.0 mM, 6.0 mM), mientras que el factor B, corresponde a cuatro dosis de ácidos húmicos (0 ml L⁻¹, 1ml L⁻¹, 2 ml L⁻¹, 4 ml L⁻¹).

3.11 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis estadístico (ANOVA) y comparación de medias con la ayuda de la prueba Tukey (0.05), mediante un paquete estadístico SAS versión 9 bajo la plataforma Windows.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. El peso del fruto (PF)

Los resultados analizados nos muestran que al utilizar distintas concentraciones de SiO₂ y ácidos húmicos en plantas de fresa se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados. Sin embargo, el testigo presentó los valores medios más altos con 8.17g seguido del tratamiento T3 (0 mM SiO₂ y 2 mL de ácidos húmicos) que fue uno de los valores más altos, pero no supero al testigo (Figura1). El peso del fruto en el T9 (3 mM SiO₂ y 1mL de ácidos húmicos) fue 40.5 % menor que las plantas testigo. Los resultados reportados aquí no coinciden con los publicados por Garza *et al.*, (2022) quienes mencionan que el uso de sustancias húmicas en el caso de la fresa, ha generado efectos positivos relacionados con su crecimiento y rendimiento, como la calidad de la fruta, pero esto varía en función a su dosis y forma de aplicación. Al igual que los datos presentados por Cruz, (2018) las plantas tratadas con silicio vía foliar produjeron frutos más pesados con la dosis más alta pero también los más ligeros en ausencia de silicio en la solución asperjada. Los resultados sugieren que las dosis utilizadas en esta investigación no fueron suficientes para obtener frutos con mayor peso que los producidos por las plantas testigo.

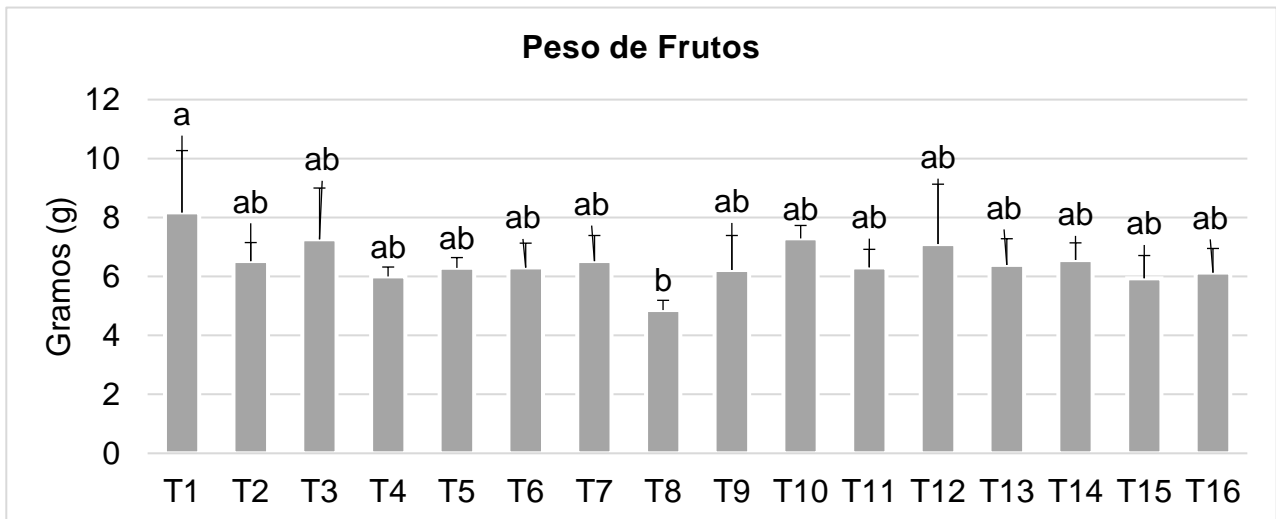


Figura 14. Respuesta de las plantas de fresa (cv. Albión) a la interacción de silicio y ácidos húmicos sobre el peso del fruto. T1 0mM SiO₂ y 0mL AH, T2 0mM SiO₂ y 1mL AH, T3 0mM SiO₂ y 2mL AH, T4 0mM SiO₂ y 4mL AH, T5 1.5mM SiO₂ y 0mL AH, T6 1.5mM SiO₂ y 1mL AH, T7 1.5mM SiO₂ y 2mL AH, T8 1.5mM SiO₂ y 4mL AH, T9 3.0mM SiO₂ y 0mL AH, T10 3.0 mM SiO₂ y 1mL AH, T11 3.0 mM SiO₂ y 2mL AH, T12 3.0mM SiO₂ y 4mL AH, T13 6.0mM SiO₂ y 0mL AH, T14 6.0 mM SiO₂ y 1mL AH, T15 6.0 mM SiO₂ y 2mL AH, T16 6.0mM SiO₂ y 4mL AH. La barra superior en cada columna representa el error estándar y las letras representan la separación de medias de acuerdo a Tukey p< 0.05.

4.2. Diámetro polar (DP)

De acuerdo al análisis de varianza y comparación de medias, los tratamientos aplicados no presentaron diferencias estadísticas significativas al comparar con las plantas testigo (Figura 2). Numéricamente podemos observar un ligero incremento del 8% en el diámetro polar de los frutos de las plantas tratadas con 2 mL de ácidos húmicos (T3), respecto al tratamiento testigo, por otro lado, se observa una disminución numérica del 9% en el diámetro polar del tratamiento con 6mM de SiO₂ y 3mL de ácidos húmicos (T16) en comparación al testigo. Delgado, (2014) reporta que al utilizar un producto con una concentración de 200 g L⁻¹ de SiO₂ en cultivo de fresa no se encontró diferencia significativa en el rendimiento del diámetro polar, por lo tanto, menciona que no fue necesario adicionar silicio como fertilizante adicional para la obtención de una mejor productividad. Los datos obtenidos por Coello, (2019) presentan que obtuvo un mayor incremento en el diámetro polar del tomate (*Solanum lycopersicum* L) mediante la aplicación de ácidos húmicos en la cual registro un promedio de 5.20 cm estadísticamente iguales a los demás tratamientos

indicando que al utilizar esta sustancia en la agricultura se obtienen notoriamente efectos positivos a nivel morfológico, fisiológico y bioquímico de la planta.

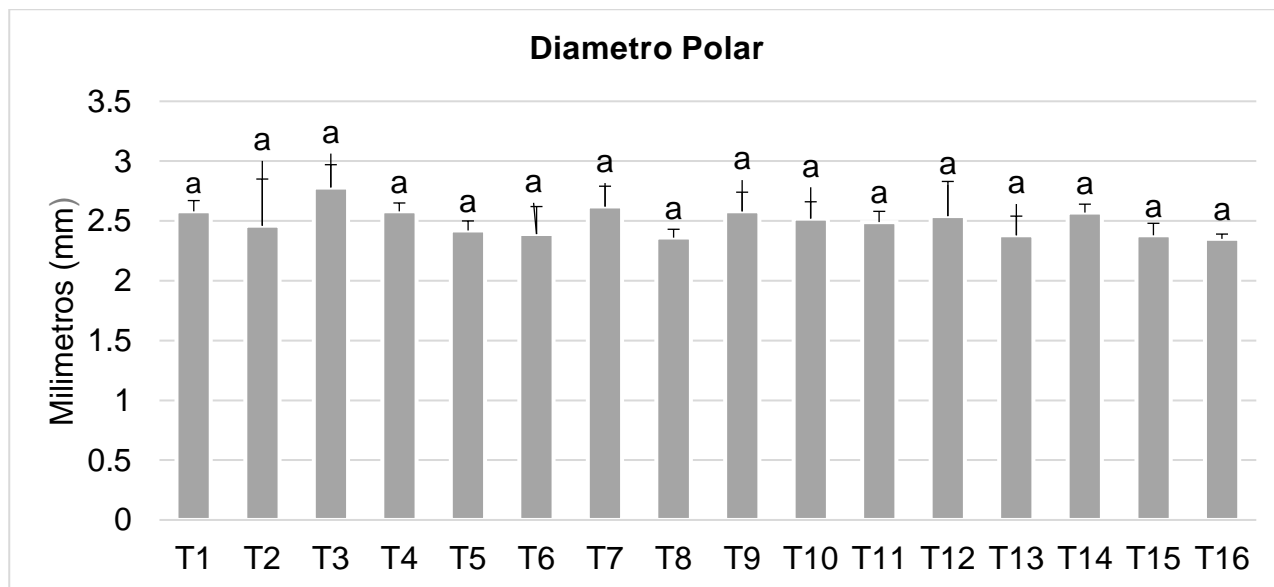


Figura 15. Respuesta de las plantas de fresa (cv. Albión) a la interacción de silicio y ácidos húmicos sobre el diámetro polar del fruto. T1 0mM SiO₂ y 0mL de ácidos húmicos AH, T2 0mM SiO₂ y 1mL AH, T3 0mM SiO₂ y 2mL AH, T4 0mM SiO₂ y 4mL AH, T5 1.5mM SiO₂ y 0mL AH, T6 1.5mM SiO₂ y 1mL AH, T7 1.5mM SiO₂ y 2mL AH, T8 1.5mM SiO₂ y 4mL AH, T9 3.0mM SiO₂ y 0mL AH, T10 3.0 mM SiO₂ y 1mL AH, T11 3.0 mM SiO₂ y 2mL AH, T12 3.0mM SiO₂ y 4mL AH, T13 6.0mM SiO₂ y 0mL AH, T14 6.0 mM SiO₂ y 1mL AH, T15 6.0 mM SiO₂ y 2mL AH, T16 6.0mM SiO₂ y 4mL AH. La barra superior en cada columna representa el error estándar y las letras representan la separación de medias de acuerdo a Tukey p< 0.05.

4.3. Diámetro ecuatorial (DE)

En cuanto al diámetro ecuatorial podemos observar que no se presentó diferencias estadísticas en referencia al testigo (figura3). Siendo el tratamiento 7 (1.5 mM SiO₂ y 2mL de ácidos húmicos) el que mostro un ligero incremento numérico del 1.4 % del diámetro ecuatorial respecto al testigo, pero también se observó una disminución numérica del 15% del diámetro ecuatorial en el tratamiento 8 (1.5 Mm SiO₂ y 4 mL de ácidos húmicos) en comparación con el testigo. Hernández *et al.*, (2022) mencionan que con respecto al diámetro ecuatorial de frutos en fresas no mostraron diferencia significativa a la aplicación de 20 ppm de silicio y sin silicio, mencionando que el Si no se transloca en frutos, por lo tanto, no se podrá tener efecto en la calidad de la fruta, lo que en nuestro experimento

indica porque no se observaron diferencias en tratamientos al comparar con el testigo. En contraste, Amaya, (2017) evaluó la adición de ácidos húmicos aplicando al suelo y follaje en el cual se obtuvieron mejores resultados para el aumento del diámetro del fruto de forma foliar utilizado dosis (20ml L^{-1}) es efectiva en fresa de la variedad San Andrés, siendo estas dosis 5 veces mayor que las dosis aplicadas en nuestro trabajo.

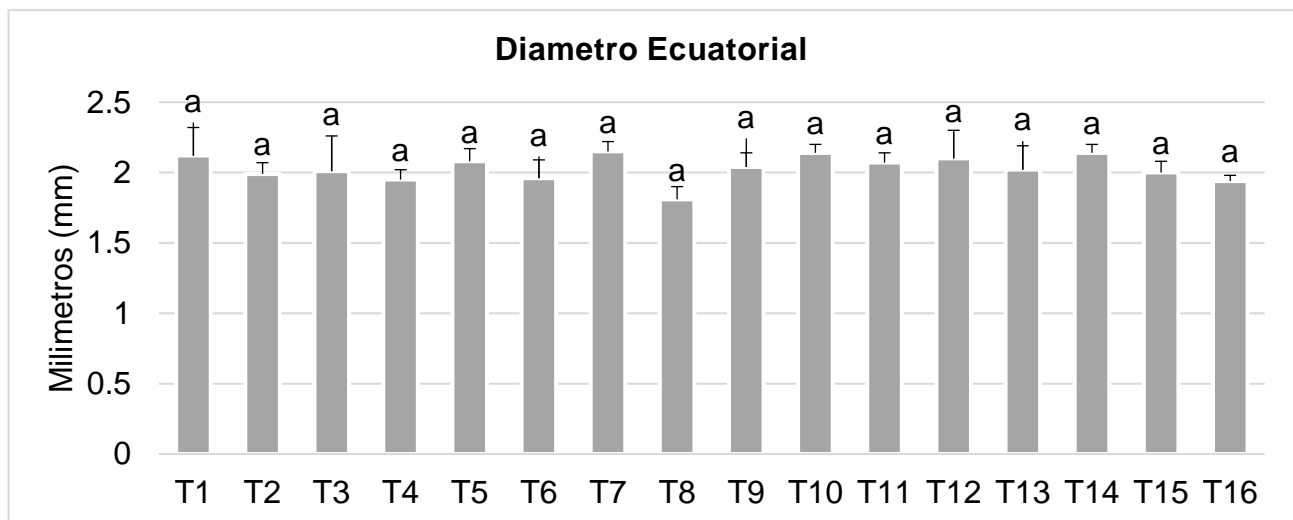


Figura 16. Respuesta de las plantas de fresa (cv. Albión) a la interacción de silicio y ácidos húmicos sobre el diámetro ecuatorial del fruto. T1 0mM SiO₂ y 0mL de ácidos húmicos AH, T2 0mM SiO₂ y 1mL AH, T3 0mM SiO₂ y 2mL AH, T4 0mM SiO₂ y 4mL AH, T5 1.5mM SiO₂ y 0mL AH, T6 1.5mM SiO₂ y 1mL AH, T7 1.5mM SiO₂ y 2mL AH, T8 1.5mM SiO₂ y 4mL AH, T9 3.0mM SiO₂ y 0mL AH, T10 3.0 mM SiO₂ y 1mL AH, T11 3.0 mM SiO₂ y 2mL AH, T12 3.0mM SiO₂ y 4mL AH, T13 6.0mM SiO₂ y 0mL AH, T14 6.0 mM SiO₂ y 1mL AH, T15 6.0 mM SiO₂ y 2mL AH, T16 6.0mM SiO₂ y 4mL AH. La barra superior en cada columna representa el error estándar y las letras representan la separación de medias de acuerdo a Tukey p< 0.05.

4.4. Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de sólidos solubles totales fue significativamente mayor cuando las plantas de fresa fueron tratadas con concentraciones de 6 mM de SiO₂ y 4 mL de ácidos húmicos (T16), incrementado hasta un 24% más en °Brix en comparación con el testigo. De forma similar al tratar las plantas con concentraciones de 3 mM SiO₂ y 2 mL de ácidos húmicos (T11) incrementando hasta un 22 % más en °Brix, así también al tratar las plantas con concentraciones de 1.5 mM SiO₂ y 1 mL de ácidos húmicos (T6) se incrementó en un 21 % más la concentración de °Brix al comparar los frutos producidos por las plantas testigo. En

contraste, las plantas que fueron tratadas con 3 mM de SiO₂ y 0 mL de ácidos húmicos (T9), se manifestó una disminución del 12% en contenido de °Brix en comparación con el testigo (Figura 4). Nada, (2020) menciona que al aplicar silicatos de potasio en plantas de fresa mostraron un aumento significativo en Solidos Solubles Totales en frutos, ya que a medida que se aumenta la tasa de silicato de potasio hasta 0.6g L⁻¹ de forma foliar, se puede incrementar la calidad química del fruto. Por otra parte, está relacionado a lo que Franco, (2014) nos indica en su investigación que es recomendable el uso de sustancias húmicas en el suelo para obtener un mejor incremento en el contenido de Solidos Solubles en el cultivo de sandía, ya que esto puede estar relacionado a las funciones que generan los ácidos húmicos al mejorar las condiciones químicas del suelo.

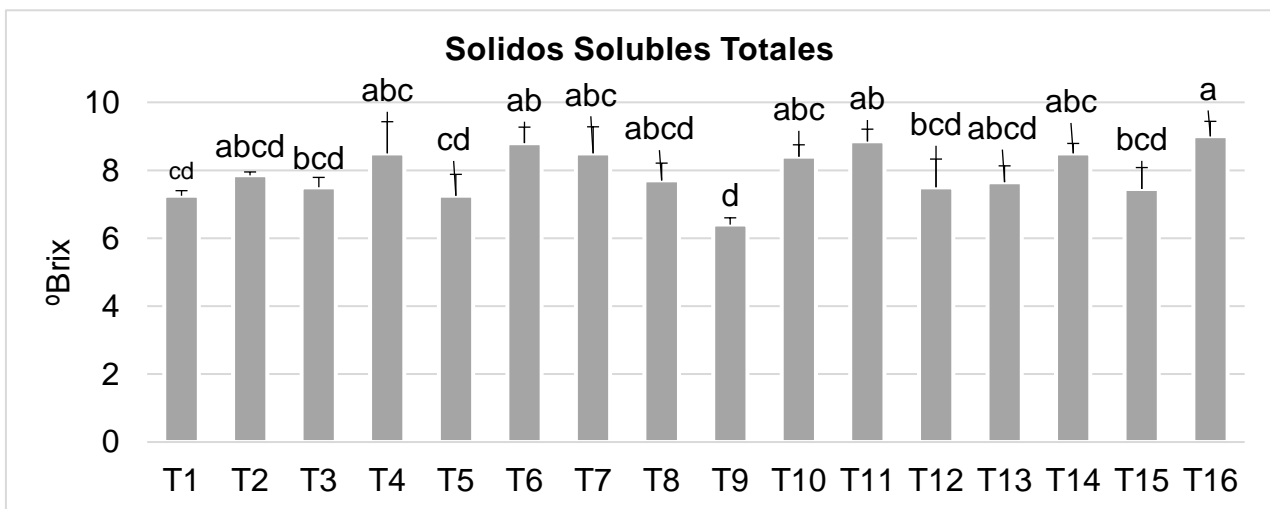


Figura 17. Respuesta de las plantas de fresa (cv. Albión) a la interacción de silicio y ácidos húmicos sobre el contenido de solidos solubles totales. T1 0mM SiO₂ y 0mL de ácidos húmicos AH, T2 0mM SiO₂ y 1mL AH, T3 0mM SiO₂ y 2mL AH, T4 0mM SiO₂ y 4mL AH, T5 1.5mM SiO₂ y 0mL AH, T6 1.5mM SiO₂ y 1mL AH, T7 1.5mM SiO₂ y 2mL AH, T8 1.5mM SiO₂ y 4mL AH, T9 3.0mM SiO₂ y 0mL AH, T10 3.0 mM SiO₂ y 1mL AH, T11 3.0 mM SiO₂ y 2mL AH, T12 3.0mM SiO₂ y 4mL AH, T13 6.0mM SiO₂ y 0mL AH, T14 6.0 mM SiO₂ y 1mL AH, T15 6.0 mM SiO₂ y 2mL AH, T16 6.0mM SiO₂ y 4mL AH. La barra superior en cada columna representa el error estándar y las letras representan la separación de medias de acuerdo a Tukey p< 0.05.

4.5. Contenido de vitamina C

En el contenido de vitamina C mostro diferencia significativa entre los tratamientos, en el cual se obtuvo el mayor efecto en el tratamiento 12 (3 mM de SiO₂ y 4 mL de ácidos húmicos) logrando un valor medio más alto del 5% en comparación al testigo, por otro lado, se observó una disminución del 49, 44 y 41 % en el contenido de vitamina C en los frutos de plantas tratadas con 6 mM SiO₂ y 4 mL de ácidos húmicos (T16), 6 mM SiO₂ y 2 mL de ácidos húmicos (T15) y 1.5 mM SiO₂ y 1 mL de ácidos húmicos (T6) respectivamente al comparar con los frutos de las plantas testigo (Figura.5). Cruz *et al.*, (2022) mencionan que al estudiar el efecto de los bioestimulantes a base de sustancias húmicas y rizobacterias, en la producción y calidad del cultivar de fresa “San Andrés” obtuvieron un incremento en el contenido de vitamina C en el fruto hasta un 17.1%, mencionando que son una gran alternativa ecológica para ser utilizada como bioestimulante. Mientras que, Velázquez, (2010) en el cultivo de tomate reportan que los frutos tratados con fertilización a base de silicio al 42-45% obtuvieron la mayor concentración de vitamina C con un 13% más que las plantas tratadas a base de silicio al 31-34%, mencionando que este elemento realza su contenido vitamina C en los frutos.

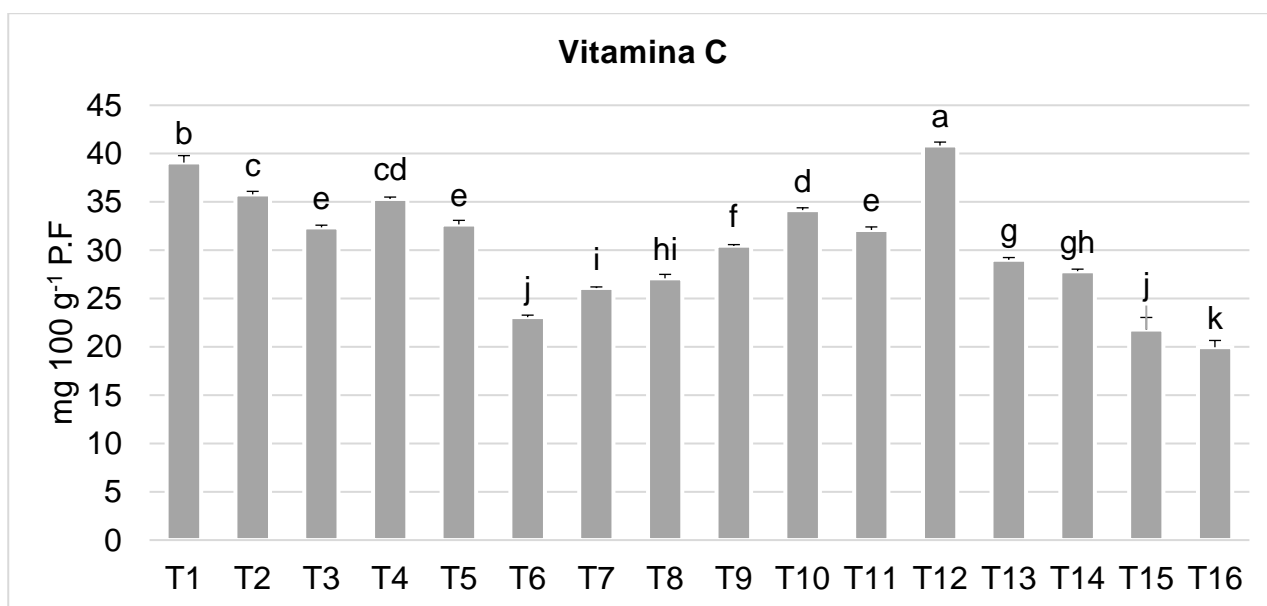


Figura 18. Figura 5. Respuesta de las plantas de fresa (cv. Albión) a la interacción de silicio y ácidos húmicos sobre el contenido de vitamina C. T1 0mM SiO₂ y 0mL de ácidos húmicos AH, T2 0mM SiO₂ y 1mL AH, T3 0mM SiO₂ y 2mL AH, T4 0mM SiO₂ y 4mL AH, T5 1.5mM SiO₂ y 0mL AH, T6 1.5mM SiO₂ y 1mL AH, T7 1.5mM SiO₂ y 2mL AH, T8 1.5mM SiO₂ y 4mL AH, T9 3.0mM SiO₂ y 0mL AH, T10 3.0 mM SiO₂ y 1mL AH, T11 3.0 mM SiO₂ y 2mL AH, T12 3.0mM SiO₂ y 4mL AH, T13 6.0mM SiO₂ y 0mL AH, T14 6.0

mM SiO₂ y 1mL AH, T15 6.0 mM SiO₂ y 2mL AH, T16 6.0mM SiO₂ y 4mL AH. La barra superior en cada columna representa el error estándar y las letras representan la separación de medias de acuerdo a Tukey p< 0.05.

4.6. Flavonoides

Los resultados muestran diferencias estadísticas significativas para esta variable (Figura 6). El tratamiento con 6 mM de SiO₂ y 0 mL de ácidos húmicos (T13) fue el que mayor contenido de flavonoides produjo, siendo 92 % mayor en comparación con el testigo. Así también al tratar las plantas con 1.5 mM de SiO₂ y 1 mL de ácidos húmicos (T6) se obtuvo 66 % más de flavonoides al comparar con el testigo. Con el resto de los tratamientos no se encontraron diferencia significativa. Sin embargo, en las plantas tratadas con 1.5 mM de SiO₂ y 2 mL de ácidos húmicos (T7) y 1.5 mM de SiO₂ y 0 mL de ácidos húmicos (T5), se observó una disminución de 44 % y 43 % respectivamente en el contenido de flavonoides en fruto en comparación con el testigo (Figura6). Flores, (2019) menciona que en el cultivo de pepino obtuvo un incremento de flavonoides en la aplicación postcosecha al aplicar silicio en forma iónica, en cambio en la aplicación precosecha el silicio en forma nano mejoro los resultados. Al igual que Pacheco, (2023) indican que al utilizar una concentración de 8 mL L⁻¹ de ácido húmico se puede llegar a tener un ligero incremento en el contenido de flavonoides en fresa de la variedad “Albión”.

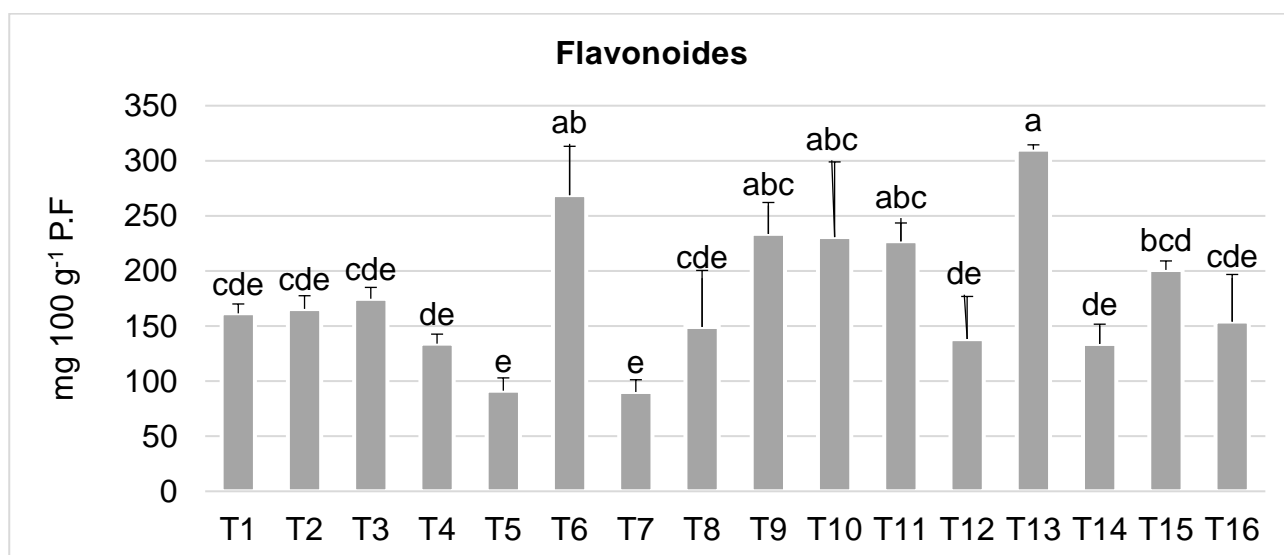


Figura 19. Respuesta de las plantas de fresa (cv. Albión) a la interacción de silicio y ácidos húmicos sobre el contenido de flavonoides. T1 0mM SiO₂ y 0mL de ácidos húmicos AH, T2 0mM SiO₂ y 1mL AH, T3 0mM SiO₂ y 2mL AH, T4 0mM SiO₂ y 4mL AH, T5 1.5mM SiO₂ y 0mL AH, T6 1.5mM SiO₂ y 1mL AH, T7 1.5mM SiO₂ y 2mL AH, T8 1.5mM SiO₂ y 4mL AH, T9 3.0mM SiO₂ y 0mL AH, T10 3.0 mM SiO₂ y 1mL AH, T11 3.0

mM SiO₂ y 2mL AH, T12 3.0mM SiO₂ y 4mL AH, T13 6.0mM SiO₂ y 0mL AH, T14 6.0 mM SiO₂ y 1mL AH, T15 6.0 mM SiO₂ y 2mL AH, T16 6.0mM SiO₂ y 4mL AH. La barra superior en cada columna representa el error estándar y las letras representan la separación de medias de acuerdo a Tukey p< 0.05.

V.- CONCLUSIÓN

Al tratar las plantas de fresa cv Albión con SiO₂ y ácidos húmicos en conjunto en concentraciones de 6mM de SiO₂ y 4mL AH, 3mM de SiO₂ y 2mL AH y 1.5mM de SiO₂ y 1mL AH por litro de agua se incrementan los SST del fruto en 24, 22 y 21% respectivamente.

La vitamina C en frutos incremento en 5% con la aplicación de 3mM de SiO₂ y 4 mL de AH.

Los Flavonoides en frutos de fresa incrementan en 92% al aplicar solamente 6 mM de SiO₂ y al aplicarlos combinados 1.5 mM de SiO₂ y 1 mL de AH incrementan en 66% al comparar con el testigo.

VL. - LITERATURA CITADA

- Alarcón-Zayas, A., Barreiro-Elorza, P., Boicet-Fabré, T., Ramos-Escalona, M., y Morales-León, J. Á. (2018). Influencia de ácidos húmicos en indicadores bioquímicos y físico-químicos de la calidad del tomate. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 243-255.
- ALEJANDRO, M. (2013). Estrategias biológicas para el manejo de enfermedades en el cultivo de fresa (*Fragaria spp.*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 263-276.
- Amaya, L. A. (2017). Comportamiento de Algunos Compuestos Orgánicos e Inorgánicos en la Calidad de la Fresa. Saltillo, Coahuila: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Arce Romero, M. H. (2012). Nutrición silíceas en fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Chapingo).
- Arvouet-Grand, A., Vennat, B., Pourrat, A., & Legret, P. (1994). [Standardization of propolis extract and identification of principal constituents]. *Diario De Pharmacie De Belgique*, 49 (6), 462-468. Consultada el 27 de marzo de 2023.
- Ávila-Arce, A., y González-Milán, D. D. J. (2012). La competitividad de las fresas (*Fragaria spp.*) mexicanas en el mercado nacional, regional y de Estados Unidos. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 9(1), 17-27.
- Ayala Sigcha, C. A. (2020). "Producción del chile jalapeño (*Capsocum annum L Cv. Jalapeño*) con la aplicación de diferente dosis de biofertilizantes orgánicos foliares en la comunidad de Chipe Hamburgo 2" (Bachelor's thesis, Ecuador: La Maná: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- Barros, J. S. C., Araujo, E. A. Y., y Batista, R. M. G. (2022). Efecto en las aplicaciones de tres bioestimulantes en la germinación y desarrollo de especies hortícolas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 27-40.
- Calderón Revelo, J. J. (2022). Evaluación de la aplicación de silicio en el control de *bactericera cockerelli (sulc)* en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum l.*) en San Vicente de Pusir, Carchi (Bachelor's thesis).

- Cárdenas-Cágal, A., García-Pestaña, J., Delgado-Blancas, M., y Gutiérrez-Rivera, B. (2014). Efecto de diferentes concentraciones de silicio adicionado al suelo en el cultivo de chile habanero a cielo abierto. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(2), 92-96.
- Cázarez-Flores, L. L., Partida-Ruvalcaba, L., Velázquez-Alcaraz, T. D. J., Ayala-Tafoya, F., Díaz-Valdés, T., Yáñez-Juárez, M. G., y López-Orona, C. A. (2022). Silicio y cloro en el crecimiento, rendimiento y calidad postcosecha de pepino y tomate. *Terra Latinoamericana*, 40.
- Chang C. C., M. H. Yang, H. M. Wen and J. C. Chern (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis* 10:178-182.
- Coello Muñoz, J. A. (2019). Efecto del quitosano, hongos micorrízicos y ácidos húmicos sobre el crecimiento y desarrollo de variedades de tomate (*Solanum lycopersicum L*) bajo condiciones controladas (Bachelor's thesis, Quevedo-UTEQ).
- Cruz Hipólito, J. P. (2018). Respuesta agronómica y fisiológica de la fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) a la aplicación de silicio (Master's thesis).
- Delgado, A. (2014). Efecto de líneas de riego por goteo y la aplicación de silicio en un cultivo de fresa (*Fragaria sp*) bajo cubierta.
- Duarte Canales, H. A., y Ruiz, M. A. (2010). Efecto de tres láminas de riego y tres dosis de aplicación de biofertilizante en el cultivo orgánico de fresa (*Fragaria spp.*) cv Festival en el Castillito, Las Sabanas, Matriz (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA).
- Elizarrarás-Lozano, S., Serratos-Arévalo, J. C., López-Alcocer, E., y Román-Miranda, L. (2009). La aplicación de ácidos húmicos sobre características productivas de *Clitoria ternatea L.* en la región Centro-Occidente de México. *Avances en investigación agropecuaria*, 13(3), 11-16.
- Espinoza Orozco, C. L. (2021). Efecto del silicio y vermicompost en el crecimiento, producción de biomasa y contenido de nutrimentos en plantas de *Moringa oleifera Lam* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

- Espinoza Ruiz, J. (2019). Efecto de diferentes dosis de Óxido de MAGNESIO (MGO) al 28% con Óxido de Silicio (SiO_2) al 35% en la reducción del porcentaje de plantas anormales en fase de vivero de palma aceitera (*Elaeis guineensis jacq*) en Campo Verde, Ucayali–Perú.
- Flores Robles, V. (2019). Efecto de la aplicación pre y postcosecha de nanopartículas de silicio y silicato de potasio en los compuestos bioactivos de frutos de pepino.
- Franco Pinto, M. G. (2014). Efectos de la aplicación de sustancias húmicas y microorganismos eficaces dirigidas al suelo, en el rendimiento y calidad del fruto del cultivo de sandía (*Citrullus lanatus L*), en la irrigación la cano–Arequipa 2012.
- Ganchozo Rodriguez, N. L. (2021). “Respuesta agronómica del cultivo de banano (*Musa paradisiaca*) a la aplicación de ácidos húmicos” (Bachelor's thesis, Ecuador: La Maná: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- Garza-Alonso, C. A., Olivares-Sáenz, E., González-Morales, S., Cabrera-De la Fuente, M., Juárez-Maldonado, A., González-Fuentes, J. A.,... y Benavides-Mendoza, A. (2022). Strawberry Biostimulation: From Mechanisms of Action to Plant Growth and Fruit Quality. *Plants*, 11(24), 3463.
- González, L. C., Campos, C. N. S., y de Mello Prado, R. (2015). El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 36, 16-24.
- González-Jiménez, S. L., Castillo-González, A. M., García-Mateos, M., Valdez-Aguilar, L. A., Ybarra-Moncada, C., y Avitia-García, E. (2020). Respuesta de fresa cv. Festival a la salinidad. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(1), 53-60.
- Hernández, V. R. D., Juárez, M. A., Pérez, H. A., Lozano, C. C. J., Zermeño, G. A., y González, F. J. A. (2022). Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad nutracéutica del cultivo de fresa. *Nova scientia*, 14(28).
- Hernández-Figueroa, K. I., Sánchez-Chávez, E., Ojeda-Barrios, D. L., Chávez-Mendoza, C., Muñoz-Márquez, E., y Palacio-Márquez, A. (2022). Efectividad a la aplicación de bioestimulantes en frijol ejotero bajo estrés hídrico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(SPE28), 149-160.

- Herrera-Barrantes, A. (2011). Efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) var CR 4477.
- Huelva López, R., Martínez Balmori, D., Calderín García, A., Hernández González, O. L., y Guridi Izquierdo, F. (2013). Propiedades químicas y química-físicas de derivados estructurales de ácidos húmicos obtenidos de vermicompost. Actividad biológica. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2), 56-60.
- Jurado Álvarez, G. P. (2022). Aplicación de bioestimulantes en el cultivo de camote (*Ipomoea batatas L.*) en el cantón Daule provincia del Guayas (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil: Facultad de Ciencias Agrarias).
- López-Salazar, R., González-Cervantes, G., Vázquez-Alvarado, R. E., Olivares-Sáenz, E., Vidales-Contreras, J. A., Carranza de la Rosa, R., y Ortega-Escobar, M. (2014). Metodología para obtener ácidos húmicos y fulvicos y su caracterización mediante espectrofotometría infrarroja. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(SPE8), 1397-1407.
- Malagón, R. R., Borodanenko, A., Alejo, N. O., Moreno, L. P., Guerra, J. L. B., Y Palenius, H. G. N. (2007). Efecto del genotipo, ambiente y ácido húmico en el cultivo In Vitro de anteras de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(2), 159-165.
- Martínez-De La Cruz, S., González-Fuentes, J. A., Robledo-Olivo, A., Mendoza-Villarreal, R., Hernandez-Perez, A., Dávila-Medina, M. D., & Alvarado-Camarillo, D. (2022). Humic substances and rhizobacteria enhance the yield, physiology and quality of strawberries. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 50(1), 12578-12578.
- Martínez-Gutiérrez, A., Zamudio-González, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Cardoso-Galvão, J. C., y Vázquez-Carrillo, M. G. (2022). Rendimiento de híbridos de maíz en respuesta a la fertilización foliar con bioestimulantes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(2), 289-301.
- Mena, C. L. M., Sarmiento, S. G. J y Camargo, S. P. (2017). Impacto del abonamiento integral en el rendimiento y calidad de fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) cv. Selva bajo sistema de riego por goteo y cobertura plástica. *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 357-366.

- Morales Meléndez, R. (2019). Efecto de la fertilización orgánica a base de ácidos húmicos y fúlvicos sobre la calidad del cultivo de fresa (*Fragaria ananassa* var. Albion).
- Moreno, G. D. E., Santiago, E. E., Trejo, T. L. I., y Vilchis, Z. R. (2019). Uso de níquel, silicio y plata para el manejo de *Botrytis cinérea* en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) hidropónica. Memoria Mesa 3, 105.
- Murillo, R. A. L., Pacheco, F. A., Burgos, D. Z., Pérez, J. J. R., Mendoza, W. O. R., Morán, V. F. V.,... y Bravo, D. A. C. (2017). Ácidos húmicos y su efecto sobre variables morfométricas en plantas de zanahoria (*Daucus carota* L). *Biotecnia*, 19(2), 25-29.
- Nada, M. (2020). Efecto de la Aplicación Foliar con Silicato de Potasio y Glicina betaína sobre el crecimiento y la Calidad del rendimiento de las plantas de fresa. *Journal de Producción Vegetal*, 11 (12), 1295-1302. <https://www.researchgate.net/deref/https%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.21608%2Fjpp.2020.149800>
- Nascimento-Silva, K., Roca, L. F., Benlloch-González, M., y Fernández-Escobar, R. (2019). Influencia del silicio en el control de *Fusicladium oleagineum* en el olivo. VII JORNADAS DEL GRUPO DE FERTILIZACIÓN, 47.
- Nolasco, J. B. B. (2019). Efecto del polímero “lluvia sólida” en el rendimiento del cultivo de fresa (*fragaria x ananassa*), bajo condiciones de invernadero en Huaraz, 2017.
- 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.
- Pacheco Maldonado, G. E. (2023). Efecto de ácidos húmicos y silicio en producción de fresa (*Fragaria spp.*) variedad “Albión” en diferentes concentraciones.
- Padayatt, S. J., R. Daruwala, Y. Wang, P. K. Eck, J. Song, W. S. Koh, and M. Levine. 2001. Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. pp. 117-145. In: E. Cadenas and L. Packer (eds.). *Handbook of antioxidants*. CRC Press. Washington, DC, USA.

- Pinilla, F.N.F. (2019). Effect of silicon as an inducer of systemic resistance against *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*, causal agent of "foot sickness" in rice (*Oryza sativa*) cultivation.
- Reyes-Pérez, J. J., Enríquez-Acosta, E. A., Ramírez-Arrebato, M. Á., Rodríguez-Pedroso, A. T., y Falcón-Rodríguez, A. (2020). Efecto de ácidos húmicos, micorrizas y quitosano en indicadores del crecimiento de dos cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(3), 653-666.
- Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., Solórzano-Cedeño, A. E., Carballo-Méndez, F. D. J., Lucero-Vega, G., y Ruiz-Espinoza, F. H. (2021). Aplicación de ácidos húmicos, quitosano y hongos micorrízicos como influyen en el crecimiento y desarrollo de pimiento. *Terra Latinoamericana*, 39.
- Rivera-González, M. V., Gómez-Gómez, L., y Cubillos-Hinojosa, J. G. (2017). Efecto de ácidos húmicos sobre el crecimiento y la composición bioquímica de *Arthrospira platensis*. *Revista colombiana de biotecnología*, 19(1), 71-81.
- Rodríguez Torres, M. D., Venegas González, J., Angoa Pérez, M. V., y Montañez Soto, J. L. (2009). Extracción secuencial y caracterización fisicoquímica de ácidos húmicos de diferentes composts y su efecto sobre el cultivo del trigo. *Bioagro*, 21(3), 183-189.
- Sadeghi, M., Bazrafshan, F., Zare, M., Alizadeh, O., & Amiri, B. (2020). Evaluation of Silicon and irrigation on three Safflower cultivars. *Nexo*, 33(02), 297-307.
- SAGARPA. (2022). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Fresa mexicana. 20 p. Links: <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813>. Consultado el 22 de marzo del 2023.
- Salas, C. M. (2019). Los bioestimulantes en la legislación sobre productos fertilizantes. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, (313), 20-21.
- Sánchez, O. N. E. (2022). Evaluación de las propiedades bioestimulantes de dos productos alternativos en tres variedades de fresa (*Fragaria x ananassa*) en la parroquia Montalvo, provincia de Tungurahua (Bachelor's thesis).

- Seguel, O., Parra, C., Homer, I., Kremer, C., y Beyá-Marshall, V. (2019). Efecto del ácido húmico sobre las propiedades físicas de un Haplohumult cultivado con trigo. *Agro sur*, 47(3), 27-38.
- SIACON. 2022. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Modulo agrícola estatal del SIACON-NG. México: SIAP-SADER. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>. Consultado 22 de marzo del 2023.
- Stadnik, M. J., Astolfi, P., y Freitas, M. (2017). Bioestimulantes: una perspectiva global e desafíos para a américa latina. I Simpósio Latino-Americano sobre Bioestimulantes na Agricultura, 18-23.
- Tapia Cortez, J. A. (2019). Efectos del silicio en la resistencia a plagas en el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*) (Bachelor's thesis, BABAHOYO; UTB, 2019).
- Terrones, R. A. I., Caamal. C. I., Pat Fernández, V. G., Ávila, D. J. A., Martínez, L. D., y Caamal Pat, Z. H. (2022). Análisis de las variables económicas que determinan las exportaciones de fresa de México a Estados Unidos de América. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(4), 631-640.
- Velázquez Malacara, N. S. (2010). Análisis de la fertilización a base de silicio en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) en condiciones de invernadero y cultivo sin suelo.
- Veobides-Amador, H., Guridi-Izquierdo, F., y Vázquez-Padrón, V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos tropicales*, 39(4), 102-109.
- Villalón-Mendoza, H., Castillo-Villarreal, M. A., Garza-Ocañas, F., Guevara-González, J. A., y Sánchez-Castillo, L. (2018). Dióxido de silicio como estimulante del índice de calidad de plantas de chile piquín (*Capsicum annuum L. var. glabriusculum*) producidas en vivero. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(50), 294-303.
- Vinces Tachong, R. E. (2021). Evaluación de severidad en la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*) en el cultivo de maíz (*Zea mays*) bajo el efecto del óxido de silicio (SiO₂) (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).

Zamora Valero, C. M. (2019). "Respuesta agronómica del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio, en condiciones de secano" (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2019).