

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



TITULO

**EFFECTO DE SILICIO Y SUSTANCIAS HÚMICAS PARA ATENUAR EL
ESTRÉS SALINO EN PEPINO**

Tesis

Que presenta **ALBERTO PAUL OSUNA ZÁRATE**

Como requisito parcial para obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

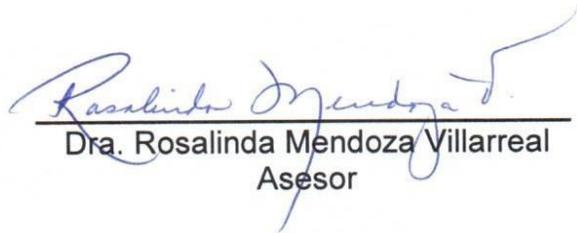
**EFFECTO DE SILICIO Y SUSTANCIAS HÚMICAS PARA ATENUAR EL
ESTRÉS SALINO EN PEPINO**

Tesis

Elaborado por **ALBERTO PAUL OSUNA ZÁRATE** como requisito para obtener
el Grado de Maestro en Ciencias en Horticultura, con la supervisión y
aprobación de su Comité de Asesoría



Dr. Valentín Robledo Torres
Asesor Principal



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor



Dra. Francisca Ramírez Godina
Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por brindarme la oportunidad de seguir adquiriendo conocimiento y reforzar mi desarrollo como humano.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por otorgarme el apoyo financiero para la realización de la Maestría.

A mi asesor principal, **Dr. Valentín Robledo Torres**, por su apoyo, dedicación, esfuerzo, interés, motivación y orientación.

A mis asesores de Tesis, Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal, Dra. Francisca Ramírez Godina y Dr. Alberto Sandoval Rangel, por su valiosa colaboración en esta investigación.

A los integrantes del Departamento de Horticultura de la UAAAN, **T.A. Martina de la Cruz Casillas, Ing. Juan Manuel Ramírez Cerda, T.A. Laura María Durón Ochoa.**

A mis amigos y compañeros de posgrado: **Lic. Juan Francisco Sánchez Navarro, M.C. Marco Antonio Villegas, M.C. José Rafael Paredes, M.C. Yolanda González, Ing. Rubén Lecona, Ing. Melisa Huizar, Ing. Fredy González, M.C. Simeon Martínez, Ing. Tomas Moreno y Lic. Briseida Luviano.**

DEDICATORIAS

A **Dios**, por darme la oportunidad de experimentar esta etapa.

A mis padres, **Alberto Osuna Villavicencio** y **Gloria Margarita Zárate Alfaro**. Gracias por guiarme, educarme, ser mentores y sobre todo ofrecerme amor incondicional, soy muy afortunado tenerlos a mi lado.

A mi hermano, **Eduardo Alonso Osuna Zárate**. Gracias por enseñarme que lo ordinario puede ser extraordinario y no enfocarme en resultados sino disfrutar los procesos.

Y a todas aquellas personas que han formado parte de mi vida y que ahora están en mis recuerdos.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIAS.....	iii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Antecedentes del cultivo.....	4
Importancia Mundial.....	5
Importancia Nacional.....	5
Salinidad en Suelos Agrícolas.....	5
Fotosíntesis y Pigmentos Fotosintéticos.....	6
Las Especies Reactivas del Oxígeno (ROS).....	7
Relación Hídrica y Transpiración en Plantas.....	8
Importancia de las Sustancias Húmicas (SH).....	8
Importancia del Silicio (Si).....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Localización.....	11
Clima y suelo.....	11
Material vegetal.....	11
Establecimiento del cultivo.....	12

Preparación de terreno.....	12
Manejo de cultivo	12
Diseño experimental.....	13
Variables Agronómicas	14
Variables de calidad de fruto	15
Variables relacionadas con acumulación de biomasa	16
Variables de contenido mineral en fruto	17
Análisis estadístico.....	19
RESULTADOS Y DISCUSION	20
Variables agronómicas.....	20
Variables de calidad de fruto	24
Variables relacionadas con acumulación de biomasa	29
Variables de contenido mineral en fruto	33
CONCLUSIONES	38
REFERENCIAS	38
ANEXOS.....	48

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características agronómicas de los híbridos utilizados en el experimento.	12
Cuadro 2. Tratamientos estudiados en el cultivo de pepino, bajo condiciones de invernadero en Satillo, Coahuila.	14
Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza aplicado a variables agronómicas del cultivo de pepino desarrollado en suelo con salinidad inducida.	21
Cuadro 4. Respuesta de variables agronómicas de híbridos de pepino, sometidos a estrés por salinidad.	22
Cuadro 5. Numero de frutos por planta de dos híbridos de pepino y su interacción con tres niveles de silicato de potasio.	23
Cuadro 6. Respuesta del rendimiento de fruto de dos híbridos de pepino y su interacción con tres niveles de silicato de potasio.	24
Cuadro 7. Resultados del análisis de varianza aplicado a variables de calidad de fruto componentes del rendimiento del cultivo de pepino desarrollado en un suelo con salinidad inducida.	25
Cuadro 8. Comportamiento de variables agronómicas a la aplicación de tres niveles de silicato de potasio.	26
Cuadro 9. Firmeza de fruto de híbridos de pepino a la aplicación de tres niveles de silicato de potasio.	27
Cuadro 10. Respuesta del contenido de sólidos solubles totales a la interacción de silicato de potasio y sustancias húmicas.	28
Cuadro 11. Respuesta del contenido de la firmeza de fruto a la interacción de silicato de potasio y sustancias húmicas.	29
Cuadro 12. Resultados del análisis de varianza aplicado a variables relacionadas con la acumulación de biomasa del cultivo de pepino desarrollado en un suelo con salinidad inducida.	30
Cuadro 13. Altura de planta en respuesta a la interacción del híbrido por el Silicato de potasio.	32

Cuadro 14. Peso seco de hoja (g) en respuesta a la interacción del híbrido por el Silicato de potasio.....	32
Cuadro 15. Peso seco de hoja en pepino en respuesta a la interacción de silicato de potasio con sustancias húmicas.	33
Cuadro 16. Cuadrados medios de los factores evaluados para las variables de minerales en fruto.	34
Cuadro 17. Respuesta del contenido de N en fruto de pepino, a la interacción H*SK, en suelos con salinidad inducida.....	35
Cuadro 18. Respuesta del contenido de fósforo en fruto de pepino, a la interacción H*SK, en suelos con salinidad inducida.	36
Cuadro 19. Respuesta del contenido de potasio en fruto de pepino, a la interacción H*SK, en suelos con salinidad inducida.	36
Cuadro 20. Respuesta del contenido de nitrógeno en fruto de pepino, a la interacción H*SH, en suelos con salinidad inducida.	37
Cuadro 21. Respuesta del contenido de fósforo en fruto de pepino, a la interacción H*SH, en suelos con salinidad inducida.	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Determinación de N por microdigestores Kjeldahl.	17
Figura 2. Determinación de P por espectrofotómetro UV-VIS	18
Figura 3. Determinación de K, Ca, Mg y Fe por espectrometría de absorción atómica.	19

RESUMEN

EFFECTO DE SILICIO Y SUSTANCIAS HÚMICAS PARA ATENUAR EL
ESTRÉS SALINO EN PEPINO

POR

ALBERTO PAUL OSUNA ZÁRATE

MAESTRÍA EN CIENCIA EN HORTICULTURA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. VALENTÍN ROBLEDO TORRES -ASESOR-

SALTILLO, COAHUILA

MAYO 2022

RESUMEN

México ocupa el sexto lugar a nivel mundial en producción de pepino con 956,005 toneladas anuales, sin embargo, este cultivo enfrenta diferentes problemáticas en el proceso de producción, uno de estos problemas es la salinidad, que ocasiona la reducción del crecimiento de las plantas debido a el estrés osmótico y la toxicidad iónica, en general la salinización del suelo es consecuencia de la acumulación de sales solubles en el mismo y que limita el rendimiento y calidad de las cosechas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue, evaluar el efecto de silicato de potasio y sustancias húmicas para mitigar el estrés salino en pepino cultivado en invernadero, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en primavera-verano del 2020. Los cultivares de pepino americano que se utilizaron fueron Induran y SV2516CP (factor A), los bioestimulantes que se aplicaron fueron el silicato de potasio (SK) a una concentración del 4% y con dosis 0, 10, 20 mL·L⁻¹ (factor B) y las sustancias húmicas con una concentración de ácidos húmicos al 65% y fúlvicos al 20% con dosis de 0, 10, 20 kg/ha (factor C). Las variables estudiadas fueron; días a cosecha (DC), número de frutos por planta (NFPP), número de frutos deformes por planta (NFD), rendimiento de fruto por metro cuadrado (RFM), peso total de fruto (PTF), diámetro de fruto (DF), longitud de fruto (LF), sólidos solubles totales (SST), firmeza de fruto (FF), contenido de vitamina C (CVC), altura de planta (AT), diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH), peso seco de tallo (PST), peso seco de hoja (PSH) y contenido de N, P, K, Ca, Mg, Fe y Cu en fruto. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con arreglo factorial 2x3x3 y tres repeticiones. En las variables agronómicas el híbrido SV2516CP manifestó un mejor comportamiento con frutos de mayor longitud, diámetro y peso de fruto. Los niveles de SK no influyeron sobre las variables agronómicas estudiadas, pero si influyó significativamente ($p \leq 0.05$) en las variables SST y FF, mientras que las SH aumentaron significativamente la FF de plantas sometidas a estrés salino. La aplicación de 20 mL·L⁻¹ de SK afectó negativamente el contenido de N, pero esta dosificación indujo la mayor cantidad de P y K.

La aplicación de SH a razón de $10 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$, el mayor contenido de N en fruto ($20.22 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) y el contenido de P. De los resultados observados se concluye que el genotipo es un factor importante en las variables de interés para los productores, igualmente el uso de bioestimulantes como los aquí estudiados, pueden contribuir para lograr altos rendimientos y calidad de fruto.

Palabras Clave: Estrés salino, sustancias húmicas, silicato de potasio.

ABSTRACT

Mexico ranks sixth worldwide in cucumber production with 956,005 tons per year, however, this crop faces different problems in the production process, one of these problems is salinity, which causes reduced plant growth due to osmotic stress and ionic toxicity, in general soil salinization is a consequence of the accumulation of soluble salts in it and that limits the yield and quality of the crops. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of potassium silicate and humic substances to mitigate saline stress in cucumber grown in a greenhouse, at the Antonio Narro Autonomous Agrarian University, in spring-summer 2020. The cultivars of American cucumber that were used were Induran and SV2516CP (factor A), the biostimulants that were applied were potassium silicate (SK) at a concentration of 4% and with a dose of 0, 10, 20 mL·L⁻¹ (factor B) and humic substances with a concentration of 65% humic and 20% fulvic acids with doses of 0, 10, 20 kg/ha (factor C). The variables studied were; days to harvest (DC), number of fruits per plant (NFPP), number of deformed fruits per plant (NFD), fruit yield per square meter (RFM), total fruit weight (PTF), fruit diameter (DF) , fruit length (LF), total soluble solids (TSS), fruit firmness (FF), vitamin C content (CVC), plant height (AT), stem diameter (DT), number of leaves (NH) , stem dry weight (PST), leaf dry weight (PSH) and content of N, P, K, Ca, Mg, Fe and Cu in fruit. The experimental design used was complete randomized blocks with a 2x3x3 factorial arrangement and three repetitions. In the agronomic variables, the hybrid SV2516CP showed a better behavior with fruits of greater length, diameter and fruit weight. The levels of SK did not influence the agronomic variables studied, but it did influence significantly ($p \leq 0.05$) on the variables SST and FF, while SH significantly increased the FF of plants subjected to saline stress. The application of 20 ml·L⁻¹ of SK negatively affected the N content, but this dosage induced the highest amount of P and K.

The application of HS at a rate of 10 ml·L⁻¹, the highest N content in the fruit (20.22 g·kg⁻¹) and the P content. From the observed results it is concluded that the

genotype is an important factor in the Variables of interest to producers, likewise the use of biostimulants such as those studied here, can contribute to achieve high yields and fruit quality.

Key Words: Salt stress, humic substances, potassium silicate.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los cultivos hortícolas que se producen en invernaderos se encuentran las cucurbitáceas, entre ellos el pepino (*Cucumis sativus* L.), distinguiéndose por ser un producto con una alta demanda mundial (Eifediyi & Remison, 2010). El pepino se caracteriza por cultivarse en sistemas tradicionales en campo abierto o bajo condiciones protegidas con malla sombra o invernaderos, con sistema de riego presurizado para cumplir con las necesidades hídricas, nutrimentales y de esta forma lograr precocidad en las cosechas e incrementar el rendimiento (Preciado *et al.*, 2011).

Se ha estimado que el 20% de las tierras cultivadas en todo el mundo y el 33% de las tierras agrícolas irrigadas están afectadas por la alta salinidad. Además, las áreas salinizadas aumentan a una tasa del 10% anual (Jamil *et al.*, 2011) por diversas razones, entre ellas, el cambio climático, el uso excesivo de aguas subterráneas (principalmente si están cerca del mar), el uso creciente de agua de baja calidad en el riego y la introducción masiva de riego asociado con la agricultura intensiva y el drenaje deficiente (Bartels & Sunkar, 2005).

Por otro lado, se ha calculado que más del 50% de las tierras cultivables serán salinas para el año 2050. El Na⁺ es la causa principal del estrés salino, una alta acumulación puede provocar toxicidad en la planta.

Un suelo salino se define generalmente como, uno en el que la conductividad eléctrica (C.E) del extracto de saturación en la zona de la raíz supera los 4 dS m⁻¹ (aproximadamente 40 mM de NaCl) a 25 °C y tiene un 15% de sodio intercambiable (Jamil *et al.*, 2011). Las sales afectan el crecimiento de las plantas debido al aumento de la presión osmótica del suelo y a la interacción con la nutrición de las plantas. Una alta concentración de sal en la solución del suelo reduce la capacidad de las plantas para adquirir agua, lo que se conoce como efecto osmótico o de déficit hídrico de la salinidad. El efecto osmótico de la salinidad induce cambios metabólicos en la planta, idénticos a los causados por el “marchitamiento” inducido por estrés hídrico (Machado & Serralheiro, 2017). También afecta la fotosíntesis principalmente a través de la reducción del área

foliar, el contenido de clorofila y la conductancia estomática y en menor medida a través de una disminución de la eficiencia del fotosistema II. De la misma manera afecta negativamente el desarrollo reproductivo al evitar la microsporogénesis y el alargamiento del filamento del estambre, lo que induce la muerte celular, el aborto de óvulos y la senescencia de embriones fertilizados (Shrivastava & Kumar, 2015).

Los bioestimulantes se integran cada vez más en los sistemas de producción, con el objetivo de modificar los procesos fisiológicos en las plantas para optimizar la productividad, con un enfoque potencialmente novedoso para la regulación y modificación de procesos fisiológicos para estimular el crecimiento, mitigar las limitaciones inducidas por el estrés y aumentar el rendimiento (Yakhin *et al.*, 2017). Es por esto, que las sustancias húmicas (SH) han sido reconocidas durante mucho tiempo como contribuyentes esenciales a la fertilidad del suelo, actuando sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, químicas y biológicas del mismo. La mayoría de los efectos bioestimulantes de la SH se refieren a la mejora de la nutrición de las raíces a través de diferentes mecanismos. Uno de ellos es la mayor absorción de macro y micronutrientes, debido a la mayor capacidad de intercambio catiónico del suelo (Du Jardin, 2015).

Por otro lado, el silicio tiene propiedades benéficas por sus efectos positivos sobre la tolerancia al estrés abiótico y la resistencia a patógenos y enfermedades (Albrecht, 2019). El papel del Si sigue siendo controvertido, pero los rendimientos de los cultivos pueden depender del Si biodisponible en el suelo (Caubet *et al.*, 2020). Las plantas deficientes en Si son más propensas a tensiones como la sequía, la toxicidad por metales, salinidad y deficiencia de nutrientes (Bakhat *et al.*, 2017). La deposición de sílice sólido refuerza la pared celular, particularmente por el engrosamiento de la superficie de la cutícula superior e inferior, esto ayuda a lograr la protección a las plantas y también está relacionado con la biosíntesis de compuestos fenólicos (Bakhat *et al.*, 2018).

La premura por alimentar a la creciente población mundial, mientras se combate la contaminación del suelo, la salinización y la desertificación, sin deterioro de la calidad de los alimentos, ha dado importancia vital a la investigación sobre la

productividad agrícola del suelo. En tales circunstancias, se requiere un conjunto de herramientas y productos adecuados no solo para mejorar la productividad de los cultivos sino también para mejorar la salud del suelo.

Objetivo General

Evaluar el efecto de silicato de potasio y sustancias húmicas para mitigar el estrés salino en pepino cultivado en invernadero.

Objetivos Específicos

Analizar calidad de fruto y rendimiento en pepino bajo estrés salino.

Determinar macro y microminerales en fruto de pepino.

Hipótesis

Por lo menos un tratamiento influirá en mitigar el estrés causado por salinidad, en pepino.

REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes del cultivo

El pepino (*Cucumis sativus L.*) se considera originario de la India en donde existen vestigios de ser cultivado desde hace más 3,000 años, más tarde fue domesticado en Asia y después fue introducido a Europa, posteriormente fue llevado a América por Cristóbal Colón (Wehner & Maynard, 2003). La producción hortícola en invernadero es de gran importancia, debido a que reduce el riesgo e incrementa la rentabilidad del sector productivo, además de generar fuente de trabajo, disminución en la contaminación ambiental y los daños causados a la salud (Grijalva & Robles, 2003).

El pepino (*Cucumis sativus L.*) se caracteriza principalmente por los frutos, que pueden ser de diferentes tamaños, formas, coloraciones, sabores y desarrollo vegetativo. Se clasifica en cinco grupos, donde encontramos el pepino para ensalada, tipo "Caipira", japonés, holandés, e industrial (para conserva). Sin embargo, otros autores indican que los tipos más comunes de pepino son clasificados como: americano, europeo, del este medio, holandés y oriental (López *et al.*, 2015).

El cultivo de pepino requiere suelos con alta capacidad de retención de agua y buen drenaje. También requiere suelo rico en materia orgánica o estiércol. El pH del suelo oscila entre 5.5 y 7.0. El desarrollo adecuado se ve afectado por el suelo anegado, por lo que necesita una buena cantidad y calidad de agua. La cosecha suele ser de 40 a 60 días después del trasplante (Abbey *et al.*, 2017). Los frutos de pepino son fuente de compuestos minerales y fibra dietética, contienen aproximadamente 95% de agua, 3,6% de carbohidratos y 0,65% de proteínas, y son bajos en calorías. Son fuente de vitamina C (8 mg / 100 g), retinol (28 µg/ 100 g), vitamina E(0.16mg/100g) y vitaminas del grupo B, incluido el ácido fólico (15 µg / 100 g), ácido pantoténico y compuestos fenólicos y flavonoides (Preciado *et al.*, 2019).

Importancia Mundial

Los principales países productores de pepino son China, Irán, Rusia, Turquía, EUA y México. Nuestro país ocupa el sexto lugar alcanzando una producción a nivel mundial de 956 005 toneladas anuales. De las cuales 20 mil hectáreas aproximadamente se le dedican a este cultivo, logrando exportaciones de 693, 611 t con un valor alrededor de 483 millones de dólares (FAOSTAT, 2017).

Importancia Nacional

México cuenta con una superficie de 40 mil 862 ha de agricultura protegida, con un crecimiento al año de 1200 ha (SIAP, 2017). El Estado de Sinaloa produce el 43.9 % del total de pepinos en México, es decir de cada 10 toneladas que se producen a nivel nacional 4 toneladas son proporcionadas por Sinaloa. Sin embargo, Sonora, Michoacán, Guanajuato y Yucatán son considerados estados productores de pepino a menor escala. El SIAP en el 2017 reportó que el consumo anual per cápita del mexicano es de 1.4 kg, teniendo el cultivo una participación nacional del 5.8 % entre las hortalizas.

Salinidad en Suelos Agrícolas

La salinización es consecuencia de la acumulación de sales solubles en el suelo, el 3.2% los suelos de México se ven afectados por concentraciones de sales (Trasviña *et al.*, 2018). En las regiones áridas el lavado y transporte de sales solubles al océano no es tan completo como ocurre en las regiones húmedas; por lo que normalmente en regiones áridas el lavado es de naturaleza local y las sales solubles no pueden ser transportadas lejos. Esto ocurre no solamente porque hay menos precipitaciones pluviales disponibles para lavar y transportar las sales, sino también a consecuencia de la elevada evaporación (Pulido, 2016). Las principales limitaciones nutricionales de los suelos sódicos incluyen toxicidad por Na y B, deficiencias de Zn, Fe, Cu y P, cuya solubilidad disminuye a pH alcalino y en menor medida, deficiencias Ca, K y Mg (Taleisnik, 2019). Las sales pueden incluir cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de sodio, potasio, magnesio y calcio; la diversa composición iónica de los suelos afectados por

sales da como resultado una amplia gama de propiedades fisicoquímicas. En el caso de suelos salino-sódicos, el crecimiento se ve obstaculizado por una combinación de alta alcalinidad, alta concentración de Na^+ y alta concentración de sales (Hanin *et al.*, 2016).

Efecto de la Salinización en la Germinación y Crecimiento de las Plantas

La germinación de la semilla es una de las fases fundamentales y vitales en el ciclo de crecimiento de una planta, que determina el rendimiento en varias especies de cultivos de interés económico (Parihar *et al.*, 2015). Kumar *et al.*, (2017), mencionan que los altos niveles de salinidad del suelo pueden inhibir la germinación y crecimiento de plántulas debido al efecto combinado de alto potencial osmótico y toxicidad de iones específicos. La reducción del crecimiento de las plantas después de la exposición a la sal se debe a dos fases, el estrés osmótico y la toxicidad iónica. Ante un estrés salino, la primera fase es una respuesta rápida a un aumento en la presión osmótica de la solución del suelo, mientras que la segunda es una respuesta más lenta y tiene lugar después de la acumulación de Na^+ en los tejidos fotosintéticos (Machado & Serralheiro, 2017). Sin embargo, el ion de Na^+ es el principal factor que interfiere en la absorción de potasio (K^+), afecta la regulación de los estomas que en última instancia causa la pérdida de agua, mientras que el Cl^- afecta la producción de clorofila y causa toxicidad clorótica (Tavakkoli *et al.*, 2011).

Fotosíntesis y Pigmentos Fotosintéticos

El estrés salino afecta la fotosíntesis tanto a corto como a largo plazo. A corto plazo, la salinidad puede afectar la fotosíntesis por limitaciones estomáticas, lo que lleva a una disminución de la asimilación de carbono. A largo plazo, el estrés salino también puede afectar el proceso fotosintético debido a la acumulación de sal en las hojas jóvenes y la disminución de las concentraciones de clorofila y carotenoides, incluso en plantas halófitas (Acosta *et al.*, 2017). También se ha reportado que la salinidad reduce el área foliar, contenido de pigmentos fotosintéticos, alteración de la morfología de los cloroplastos y la actividad de la

Rubisco (Aldesuquy *et al.*, 2014). Los estomas son las principales estructuras responsables del control del intercambio de gases y el estrés salino no solo afecta la apertura de los estomas, sino también su tamaño y densidad, lo que resulta en una disminución de la conductancia de los estomas. En consecuencia, también se reducen las tasas de transpiración, es decir, pérdida de agua y fotosíntesis (Hanin *et al.*, 2016). El contenido de clorofila bajo estrés salino es un fenómeno comúnmente reportado, y en varios estudios, la concentración de clorofila se ha utilizado como un indicador sensible del estado metabólico celular en plantas (Chutipaijit *et al.*, 2011). Se ha reportado que en algunos cultivos que fueron sometidos a concentraciones crecientes de NaCl, se ha observado una disminución lineal en los niveles de clorofila total, clorofila a, clorofila b, carotenos y xantofilas, comparado con el control, el contenido de pigmentos disminuyó en 31 %, 22 %, 45%, 14% y 19% respectivamente (Hasanuzzaman *et al.*, 2013).

Las Especies Reactivas del Oxígeno (ROS)

El estrés salino provoca una generación excesiva de ROS como aniones superóxido (O_2^-), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y radicales hidroxilo (OH), que dañan los lípidos, proteínas, ácidos nucleicos, cloroplastos, mitocondrias y membranas plasmáticas, que están vinculados al sistema de transporte de electrones y estos son sitios clave para la generación de ROS como subproductos de metabolismo del oxígeno (Gill & Tuteja 2010). Otros efectos que provoca la salinidad es la ruptura de la estructura de la membrana y baja permeabilidad, toxicidad metabólica y bajo transporte de nutrientes, causando aún más daño a las plantas a nivel celular (Fahad *et al.*, 2015). Para mitigar el daño oxidativo iniciado por las ROS formadas bajo estrés salino, las plantas poseen un sistema antioxidante complejo, que incluye antioxidantes no enzimáticos como ácido ascórbico, glutatión (GSH), tocoferoles y carotenoides; enzimas antioxidantes tales como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GPX) y peroxidasas (POD); y enzimas del llamado ciclo ascorbato-glutatión, incluida la ascorbato peroxidasa (APX) y la glutatión reductasa (GR) (Zhang *et al.*, 2014).

Relación Hídrica y Transpiración en Plantas

Las plantas son capaces de absorber agua y minerales esenciales por la presión del agua que es más alta en el suelo en condiciones normales (Safdar *et al.*, 2019). El aumento de sal en el medio radicular puede conducir a una disminución en el potencial hídrico de las hojas y, por lo tanto, puede afectar los procesos de la planta (Yadav *et al.*, 2011). Dos componentes de las relaciones hídricas de una planta son el potencial hídrico y la conductividad hidráulica. El potencial hídrico se refiere a la energía potencial del agua en relación con el agua pura y, por lo tanto, determina la dirección del movimiento del agua, donde el agua se mueve desde un lugar con un mayor potencial hídrico a un lugar con un menor potencial hídrico. La conductividad hidráulica se refiere a la facilidad con la que el agua puede fluir de un lugar a otro y, por lo tanto, afecta la velocidad del movimiento del agua (Negrão *et al.*, 2017). Una mayor respuesta de las plantas a la salinidad se demuestra por una reducción en la apertura de los estomas que se cree que se induce por el efecto osmótico. La salinidad altera la conductancia estomática rápida y transitoriamente, debido a la interrupción de las relaciones hídricas y marcadamente la síntesis local de ABA de vida corta en las raíces, para inmediatamente reubicarse en las hojas a través del xilema, esto es uno de los primeros mecanismos que se activan para expulsar las sales del citosol en las células vegetales (Polash *et al.*, 2019). La capacidad de las plantas para mantener tasas normales de transpiración bajo solución salina es un indicador importante de tolerancia a la sal, particularmente porque la transpiración está relacionada con las tasas normales de captación de CO₂ para la fotosíntesis. Sin embargo, la evaluación de la tasa de transpiración de la planta usando porómetro y gas infrarrojo pueden ser difíciles debido a los rápidos cambios en la estructura del estoma (Bhangare *et al.*, 2019).

Importancia de las Sustancias Húmicas (SH)

Las SH son el componente principal de la materia orgánica del suelo, el agua y los sedimentos y químicamente se pueden representar como una colección de componentes diversos, de masa molecular relativamente baja, son moléculas

orgánicas que forman asociaciones dinámicas estabilizadas por interacciones hidrófobas y enlaces de hidrógeno a escala nanométrica (Olivares *et al.*, 2017). El papel y la importancia de las SH en suelos y en particular el del humus, están probados desde hace mucho tiempo. Sus múltiples propiedades, especialmente su capacidad de "secuestro" (adsorbente y quelante) con compuestos orgánicos y minerales (pesticidas y metales) les confieren un papel esencial en la solubilización, la biodisponibilidad, la degradabilidad, el transporte y los intercambios de estos compuestos en el agua y el suelo (Ouni *et al.*, 2014). La capacidad de los ácidos húmicos y fúlvicos para disociar los iones de varios grupos funcionales (principalmente carboxilo y fenólico) dan como resultado una amplia gama de diferentes cargas negativas que contribuyen notablemente a la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Weber *et al.*, 2018). En cuanto al metabolismo primario en las plantas, la aplicación de SH desencadena la alteración de la expresión génica vegetal y el contenido de compuestos químicos que participan en diferentes procesos de fisiología vegetal (por ejemplo, ciclo de Krebs y fotosíntesis) (Conselvan, *et al.*, 2018; Roomi *et al.*, 2018). Además, se demostró que el efecto positivo sobre la fotosíntesis es el resultado no solo de un aumento en el contenido de clorofila, también un aumento de Rubisco (ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa / oxigenasa) (Ertani *et al.*, 2011). El efecto de la SH sobre la asimilación y el metabolismo del N se ha revisado desde hace tiempo, mejorando la absorción y asimilación de nitratos, lo que resulta en un aumento de la nitrato reductasa (NR), actividades de glutamato deshidrogenasa (GDH) y glutamina sintetasa (GS) (Vaccaro *et al.*, 2015). Olk *et al.*, (2018) enumeraron 33 estudios en 30 cultivos agrícolas y otras plantas, donde encontraron efectos positivos de los materiales húmicos en la biomasa vegetal, el rendimiento o el crecimiento de las raíces.

Importancia del Silicio (Si)

El Si es un componente importante de la corteza terrestre, formando los minerales de silicato. En los suelos, estos minerales sufren meteorización química y física, que resulta en la liberación de Si en solución del suelo, que se

combina con otros elementos para formar minerales de arcilla o liberados hacia arroyos y océanos o absorbidos por la vegetación (Guntzer *et al.*, 2012). Aunque el Si es abundante en el suelo, la mayor parte no puede ser absorbido directamente por las plantas. La raíz en general absorbe el Si en forma de ácido silícico soluble de manera activa, pasiva, exclusivo o combinado a una molécula no disociada que normalmente está presente en 0.1 a 0.6 mM en la solución del suelo de forma natural (Li *et al.*, 2020; Zhu & Gong, 2014). La cantidad de ácido monosilícico en los tejidos vegetales varía del 6 al 38% dependiendo de la especie vegetal y ácido polisilícico del 10 al 70% del contenido total de Si en plantas (Imtiaz *et al.*, 2016).

Si bien se sabe, el Si no está clasificado como un elemento esencial para las plantas, estudios han demostrado que el Si puede ser beneficioso para algunos cultivos, como cebada, pepino, melón, calabaza, arroz, soja, fresa, caña de azúcar y trigo (Liang *et al.*, 2015). Una adecuada y eficiente nutrición de los cultivos con silicio, refuerza a la planta permitiendo que la misma pueda tener un adecuado crecimiento y desarrollo vegetativo, incrementando su capacidad de almacenamiento y distribución de carbohidratos (Arévalo, 2017). El intercambio de gases y el contenido relativo de agua de las hojas se encuentran entre los principales mecanismos por los cuales la sequía y el estrés salino reducen la productividad de los cultivos. Se ha demostrado que el Si anula tales deterioros inducidos por estrés. Se ha demostrado que la fotosíntesis, la tasa de transpiración y el contenido de agua de las hojas de plantas de tomate bajo estrés hídrico, se conservaron cuando se les suministró Si, lo que sugiere que hubo una mayor absorción y transporte de agua, en lugar de una disminución de la transpiración por efecto del estrés hídrico (Debona *et al.*, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en el Departamento de Horticultura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, a una altura de 1790 msnm, con coordenadas de 25° 21" Latitud Norte y a los 101° 01" de Longitud Oeste; en Saltillo, Coahuila, México.

Clima y suelo

El clima de Saltillo es templado-semiseco, con temperaturas medias del mes más frío (enero) de 12.1 °C, la del mes más cálido (junio) es de 23.2 °C. Las precipitaciones ascienden a 370 mm por año: son por lo tanto bastante escasas. En los meses menos lluviosos (febrero, marzo, noviembre) caen 10 mm de lluvia, en el más lluvioso (septiembre) caen 65mm (CONAGUA, 2020).

En Coahuila casi el 90% de los suelos están clasificados como Litosoles, Xerosoles, Regosoles, Yermosol y Rendzinas, los cuales son originarios de rocas sedimentarias, generalmente estos suelos están presentes en las Zonas Áridas. La clase textural del suelo que predomina en el Estado de Coahuila es la media (81.59%) seguida de la fina (15.71%), mientras la clase gruesa ocupa sólo el 2.68% del territorio estatal (SIIAEC, 2020).

Material vegetal

Se trabajó con dos híbridos comerciales de Pepino (*Cucumis sativus L*) tipo americano, el híbrido Indurain y SV2516CP, que son dos genotipos de que se describen en el (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características agronómicas de los híbridos utilizados en el experimento.

Variedad	Características
Induran	Es una planta de la empresa Harris Moran® con porte muy vigoroso y semi-cerrado, presenta una excelente capacidad de rebrote. Sus frutos de color verde oscuro y brillante, con tamaños que van de los 22 a 24 cm. Su madurez es intermedia y se adapta a temperaturas frías.
SV2516CP	Es un híbrido partenocarpico tipo americano de la empresa Seminis®. Es una planta precoz con un follaje vigoroso y excelente capacidad de amarre de frutos, sus frutos son de alta calidad, color verde oscuro, casi sin espinas, sin formación de estrellas, de pulpa firme y con larga vida de anaquel.

Establecimiento del cultivo

Los híbridos de Pepino se sembraron el 15 de marzo del 2020, colocando una semilla por cavidad, se utilizaron charolas germinadoras de poliestireno de 72 cavidades, como sustrato se usó una mezcla a base de peat moss, perlita y vermiculita con una relación 1:1:1 V/V/V. Una vez realizada la siembra las charolas se cubrieron con polietileno negro y se colocaron en invernadero con temperaturas máximas de 30°C.

Preparación de terreno

El manejo del cultivo de pepino se realizó en invernadero bajo un sistema de producción tipo holandés. Previamente al trasplante, el terreno fue aflojado y volteado. Fueron retirados residuos vegetales y malas hierbas. Las camas de siembra se formaron a una separación de 1.60 metros entre línea de siembra y 15 metros de largo, donde se les colocó cintilla de riego y acolchado. El trasplante se efectuó a los 20 días de la siembra, cuando las plántulas tuvieran dos hojas verdaderas, con una distancia de 20 cm entre plantas, a una sola hilera.

Manejo de cultivo

Los dos cultivares de pepino fueron tutorados a un solo tallo, se realizaron podas de formación inicial y podas conforme crecieran brotes axilares y zarcillos durante todo el ciclo de cultivo.

Para el control de plagas se aplicó Lambda Cyhalotrina con una dosis de 1.5 mL·L⁻¹ para control de gusano soldado, para mosquita blanca se aplicó Imidacoprid con dosis 1 mL·L⁻¹. Por otro lado, se presentó Damping Off a los primeros días del trasplante y Cenicilla polvorienta al final del ciclo del cultivo, y se aplicó Metalaxil y Azoxistrobin con una dosis de 2.5 mL·L⁻¹ de agua y 2 mL·L⁻¹ de agua respectivamente.

En la fertilización se aplicó una solución de (Steiner, 1969), la cual vario según la etapa fenológica del cultivo, al inicio se aplicó solo al 25%, etapa vegetativa 50%, floración 75% y llenado de fruto y cosecha se aplicó al 100%. El gasto de agua fue de 0.75 L, 1.5 L, 2.25 L y 3 L por etapa fenológica. La solución nutritiva fue suministrada por fertirriego. La solución quedo ajustada a 1.8 dS m⁻¹ y pH 6. Posteriormente a las dos semanas del trasplante se añadió 25 mM de cloruro de sodio para provocar un estrés salino.

El bioestimulante silicato de potasio con una concentración de 4% fue aplicado vía foliar, cada 7 días durante todo el ciclo y además se aplicó el humus a una concentración de 65% de ácidos húmicos y 20% de ácidos fúlvicos, que fueron suministradas en tres ocasiones en forma de drench en la etapa vegetativa, floración y llenado de fruto.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un bloques completos al azar con arreglo factorial 2 x 3 x 3 y tres repeticiones. El primer factor son las variedades de pepino (Var); Induran (I) y SV2516 (SV), el segundo factor es el silicato de potasio (SK) con dosis 0, 10, 20 mL·L⁻¹ y el tercer factor son las sustancias húmicas (SH) con dosis 0, 10, 20 kg/ha (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos estudiados en el cultivo de pepino, bajo condiciones de invernadero en Sotillo, Coahuila.

Tratamiento	Variedad	Silicato de potasio (SK) ml/L	Sustancias húmicas (SH) Kg/ha
1	Induran	0	0
2	Induran	0	10
3	Induran	0	20
4	Induran	10	0
5	Induran	10	10
6	Induran	10	20
7	Induran	20	0
8	Induran	20	10
9	Induran	20	20
10	SV2516CP	0	0
11	SV2516CP	0	10
12	SV2516CP	0	20
13	SV2516CP	10	0
14	SV2516CP	10	10
15	SV2516CP	10	20
16	SV2516CP	20	0
17	SV2516CP	20	10
18	SV2516CP	20	20

Variables Agronómicas

Días a cosecha (DC). Esta variable fue estimada mediante el conteo de días transcurridos desde el trasplante hasta el inicio de cosecha de cada tratamiento.

Numero de frutos por planta (NFPP). Para la estimación de esta variable se consideró que el fruto tuviera las características para su comercialización, se contabilizaron los frutos totales por planta y tratamiento durante los 12 cortes.

Numero de frutos deformes por planta (NFD). En esta variable se consideró el número de frutos deformes cosechados por tratamiento y repetición a lo largo del ciclo de cultivo, que por sus características no cumplen características para su comercialización.

Rendimiento de fruto por metro cuadrado (RFM). Se pesaron todos los frutos cosechados de cada tratamiento por metro cuadrado, utilizando una báscula de la marca Steren® modelo MED-080 con peso máximo de 5kg y un peso mínimo de 0.001Kg.

Peso total de fruto (PTF). Se pesaron por corte y por tratamiento, el total de los frutos cosechados y los pesos se sumaron durante todo el ciclo de cultivo tomando en cuenta que los frutos tuvieran las características que demanda el mercado. Esto se llevó a cabo con una báscula de la marca Steren® modelo MED-080 con peso máximo de 5kg y un peso mínimo de 0.001Kg.

Diámetro de fruto (DFr) y Longitud de fruto (LFr). El DF se evaluó en la parte media del fruto y la de LF de polo a polo, en ambos casos tomando 5 frutos por muestra de cada tratamiento y repetición, utilizando un vernier digital marca Steren® y un flexómetro marca Truper® modelo FH-5M respectivamente.

Variables de calidad de fruto

Sólidos solubles totales. Los °Brix se midieron con un refractómetro de la marca Hanna Instruments, modelo HI96801.

Firmeza de Fruto. Se tomaron dos puntos de referencia en cada fruto evaluado, para obtener una media el cual fue medido con un penetrómetro de la marca Wagner Instruments® modelo FDK 20.

Vitamina C. La Vitamina C se determinó por la metodología de (AOAC, 1984). En el cual se pesó 10 g de peso fresco de fruto y se macero, se añadió 10 ml de HCl al 2% para después homogenizar y se filtró con una gasa. Posteriormente se tomó una alícuota de 10 ml y se tituló con 2-6 diclorofenolindofenol.

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

Donde:

mL=mililitros utilizados de 2-6 diclorofenolindofenol.

V_t=Volumen total.

V_a=Volumen de la alícuota.

P_m=Peso de muestra.

Variables relacionadas con acumulación de biomasa

Altura de planta. Dos semanas después del trasplante, cada 15 días y hasta el final del ciclo del cultivo, se midió la longitud del tallo desde la base del mismo y hasta el punto de crecimiento, para lo cual se utilizó un flexómetro marca Truper® modelo FH-5M.

Diámetro de tallo. El diámetro de tallo principal se midió por arriba de la tercera hoja verdadera, con un vernier digital marca Steren® después de dos semanas del trasplante cada 15 días hasta el final del ciclo del cultivo. El sitio donde se evaluó fue después de la tercera hoja verdadera.

Numero de hojas. Se contabilizó cada 15 días el número de hojas de cada planta a lo largo del ciclo del cultivo, empezando por hojas basales hasta la última hoja totalmente extendida.

Peso seco de tallo (PST) y peso seco de hoja (PSH). Los tallos y hojas de cada tratamiento fueron secados en un horno, marca Yamoto modelo DX602 durante 72 horas a una temperatura de 60°C, posteriormente fueron pesados en una báscula de la marca Steren® modelo MED-080 con peso máximo de 5kg y un peso mínimo de 0.001Kg.

Variables de contenido mineral en fruto

Los macroelementos y microelementos que se evaluaron fueron N, P, K, Ca, Mg y Fe en fruto y hoja, se tomaron 3 repeticiones por unidad experimental. Para analizar el N se llevó a cabo un proceso de digestión, destilación y titulación como lo describen (Mckean, 1993). Primeramente, se pesó 0.050 g de muestra vegetal seca y molida, para colocarla en microdigestores Kjeldahl y se le añadió 5 mL de solución digestora, llevándola a 400° C para desintegrar el nitrógeno orgánico, la muestra quedó lista cuando esta alcanzó una tonalidad transparente. Las muestras se hicieron reaccionar con NaOH al 50% y se recibió el destilado en 30 mL de H₃BO₃ al 2% hasta que subiera a 60 mL, posteriormente se tituló con H₂SO₄ a 0.025 N, hasta que viró a rosa. La fórmula que se utilizó para calcular el N fue la siguiente.

$$\% N = \frac{(\text{ml ácido valorante} - \text{ml blanco}) \times N \text{ del ácido} \times 1.4007}{\text{Peso de la muestra en gramos}} \times 100$$



Figura 1. Determinación de N por microdigestores Kjeldahl.

Para P, K, Ca, Mg y Fe se llevaron a cabo digestiones ácidas o también conocidas como húmedas. Para esta etapa se pesó una muestra de 0.5 g de materia seca

y molida. En un vaso precipitado de 100 mL se colocó la muestra ya pesada y se le agregó 30 mL de HNO_3 con una pureza de 96%. Después fueron colocadas en vidrio de reloj en una parrilla para su digestión. Una vez que la muestra presentó color transparente, se aforó en un matraz Erlenmeyer de 50 mL con agua desionizada. El P se analizó por colorimetría con el método aminonaftol sulfónico (ANSA) en un espectrofotómetro UV-VIS modelo Bio Matte 5 de la marca Thermo (Terán, 2016). Para determinar el contenido de se utilizó la siguiente fórmula.

$$\text{mg/gr} = \frac{\text{Lectura de la curva} \times 10^{-3}}{\text{Gramos de la muestra} \times \text{la dilucion}}$$



Figura 2. Determinación de P por espectrofotómetro UV-VIS

Para K, Ca, Mg y Fe se analizó por espectrometría de absorción atómica para lo cual se usó un equipo modelo Xplora Dual de la marca GBC Scientific Equipment. Las digestiones de Ca y Mg fueron diluidas a $\frac{1}{50}$ de la concentración inicial (Williams, 1972). Para determinar la concentración de los minerales se tomó la absorbancia de cada uno de ellos para después apoyarnos con la siguiente fórmula.

$$\text{Elemento } (\mu/\text{g}) = \frac{(c)(V)(d.f.)}{(W)}$$

Donde:

C = Concentración del elemento que contiene la muestra utilizada.

V= Volumen de la muestra utilizada.

$$d.f = \frac{\text{Volumen de la muestra diluida en mL}}{\text{Volumen de la alicuota tomada de la dilusion en mL}}$$

W= Peso de la muestra en gramos.



Figura 3. Determinación de K, Ca, Mg y Fe por espectrometría de absorción atómica.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de la determinación de cada variable fueron sometidos a un ANOVA y prueba de comparación de medias Duncan ($p \leq 0.05$), mediante el programa estadístico Infostat versión 2018.

RESULTADOS Y DISCUSION

Variables agronómicas

El análisis de varianza aplicado a las variables agronómicas DFr, LFr, NFD, PTF, exhibió diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre híbridos, indicando que los híbridos bajo estudio son significativamente diferentes en dichas variables. Pero no se encontraron diferencias significativas entre híbridos en las variables DC, NFPP y RFM. Todas las variables antes indicadas no mostraron diferencias significativas a los niveles de SK y SH estudiados, indicando que los niveles bajo estudio de estos factores, no afectaron de manera significativa a las variables antes citadas (Cuadro 3) a diferencia de los resultados reportados por Soundharya *et al.*, (2019) que en estudios en tomate encontró resultados positivos suministrando K_2O_3Si (1%) favoreciendo el número de frutos, peso y número de flores comparados con sus controles, en otro trabajo reportado por Ekinci *et al.*, (2015), encontró que las SH en distintas dosis aplicadas en plantas de pepino mostraron resultados similares en el diámetro y la longitud de la fruto, coincidiendo con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

En las variables NFPP y RFM se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en las interacciones H*SK y H*SH, indicando que estas variables, respondieron de forma diferente con los diferentes niveles de SK y SH estudiados. Ninguna de las variables exhibió diferencias significativas en la interacción de SK*SH, aunque Al-Madhagi., (2019) reportó, que el efecto de los ácidos húmicos con dosis de 100 mg L^{-1} promueve el número y aumento de peso promedio de frutos en pepino, por otro lado se indica que los tratamientos con SH mejoraron algunas características de las frutas como número de frutos, peso de fruto y peso seco por fruto de varios cultivos como pepinos, tomates, cebollas, berenjenas y pimientos (Shehata *et al.*, 2016).

Se encontraron diferencias significativas en la triple interacción en las variables DFr, NFD y PTF indicando que los híbridos tuvieron un comportamiento diferente en función con los niveles de cada factor bajo estudio. Lo anterior indica que el híbrido en interacción con SK y SH manifestó una respuesta significativamente

favorable en dos de las variables más importantes como son el NFPP y RFM bajo condiciones de salinidad del suelo.

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza aplicado a variables agronómicas del cultivo de pepino desarrollado en suelo con salinidad inducida.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios						
		DFr mm	LFr cm	DC	NFPP	NFD	PTF g	RFM Kg/m ²
Repeticiones	2	12.45	0.46	26.38	62.66**	7.42*	485.97	51.74**
Híbridos (H)	1	69.13**	10.22**	7.41ns	2.67ns	18.57**	12884.68**	15.91ns
SK	2	3.29	1.77	2.89	1.63	1.34	4931.49	1.18
H*SK	2	2.94	1.36	12.96	20.18*	0.09	333.19	15.53*
SH	2	13.07	0.77	2.89	7.82	0.02	1892.82	3.72
H*SH	2	7.35	1.05	12.96	25.96**	4.20	4655.73	15.69*
SK*SH	4	3.54	1.98	13.44	0.75	1.76	2563.29	3.30
H*SK*SH	4	14.98*	0.15	1.85	6.23	5.07*	8957.23**	8.33
Error		6.56	1.31	5.31	4.13	1.74	1581.88	4.44
C.V		4.99	5.27	5.06	27.35	45.98	11.09	28.63

*= Significativo ($p \leq 0.05$); ** = Significativo ($p \leq 0.01$), DFr = Diámetro de fruto; LFr = Longitud de fruto; DC= Días a cosecha; NFPP = Numero de frutos por planta; NFD = Numero de frutos deformes; PTF= Peso total de fruto; RFM = Peso de fruto por m².

Las variables DFr y LFr están relacionadas con el tamaño celular, por lo tanto, un estrés por salinidad reduce los valores de dichas variables, indicando por lo tanto que el genotipo fue más tolerante o fue menos afectado por la salinidad. El híbrido SV2516 superó significativamente en el DFr y LFr al híbrido Indurain en 4.53 y 4.13 %. Mientras que en el PTF el primero supero al segundo en 9.0%, mostrando un mejor comportamiento el híbrido SV2516 bajo condiciones de salinidad controlada, en las demás variables agronómicas no hubo diferencias significativas (Cuadro 4). El mayor PTF del híbrido SV2516 es el resultado de su mayor tolerancia a la salinidad, por lo tanto, permitió tener frutos más grandes y por lo tanto con mayor PTF (Cuadro 4).

Cuadro 4. Respuesta de variables agronómicas de híbridos de pepino, sometidos a estrés por salinidad.

Híbridos	Variables agronómicas estimadas en el cultivo de pepino						
	DFr	LFr	DC	NFPP	NFD	PTF	RFM
Indurain	50.11b	21.29b	45.93a	7.21a	2.28a	343.21b	6.82a
SV2516CP	52.38a	22.17a	45.19a	7.65a	3.46a	374.10a	7.90a

Columnas con la misma letra son significativamente iguales; DFr = Diámetro de fruto; LFr = Longitud de fruto; DC= Días a cosecha; NFPP= número de frutos por planta; NFD=Numero de frutos deformes por planta; PTF=Peso de fruto; RFM = Rendimiento de fruto por metro cuadrado.

Los niveles los niveles de SK no influyeron sobre las variables agronómicas estudiadas, por lo tanto, se puede inferir que fue necesario estudiar niveles más altos de este factor. Las variables agronómicas antes indicadas no manifestaron respuestas significativas a los niveles de SH estudiados indicando que probablemente el espacio exploratorio de este factor debió de ser más amplio, dado que no hubo diferencias significativas no se muestra el cuadro respectivo.

El Cuadro 5 muestra que, aunque no se encontraron diferencias significativas en el NFPP entre híbridos o entre niveles de SK aplicados, si se observó que el híbrido Indurain mostro un NFPP de 7.99 como valor máximo y el valor mínimo fue de 5.96, obtenido con $10 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$, mientras que con esta dosificación el híbrido SV2516CP presentó el valor máximo de 8.63 NFPP. Lo antes citado indica que los híbridos usados interaccionan con los niveles de silicato de potasio utilizados, de lo anterior se infiere que uno de los híbridos es más eficiente en el aprovechamiento del SK aplicado. El material genético entre híbridos es un rasgo particular que está relacionado a la tolerancia a la salinidad y tiene un papel importante en la comprensión de la respuesta al estrés (Turan et al., 2012). Estudios en el cultivo de tomates arrojaron resultados positivos suministrando $\text{K}_2\text{O}_3\text{Si}$ (1%) en número de frutos, peso y numero de flores comparados con sus controles (Soundharya et al., 2019).

Cuadro 5. Numero de frutos por planta de dos híbridos de pepino y su interacción con tres niveles de silicato de potasio.

Variedades	Niveles Silicato de Potasio (ml·L ⁻¹)			
	0	10	20	Media
Indurain	7.66	5.96	7.99	7.21a
SV2516CP	7.89	8.63	6.44	7.65a
Media	7.78a	7.29a	7.22a	

El RFM de los híbridos utilizados respondió significativamente diferente en función de los niveles de SK utilizados, por lo tanto, para tener los mayores rendimientos con el híbrido Indurain se deberá de aplicar el nivel de 20 ml·L⁻¹, con este nivel se logra un rendimiento 22.8% superior al obtenido con el nivel de 10 ml·L⁻¹, mientras que con éste mismo nivel de SK, el híbrido SV2516 tuvo el mayor rendimiento 9.03 kg/m² superando en 34.7% al obtenido con 20 ml·L⁻¹ de SK. Por lo tanto, se concluye que los híbridos estudiados responden de forma significativamente diferente a los niveles de SK estudiados (Cuadro 6). En otros estudios se ha evaluado el efecto del uso de silicatos de sodio (Na₂SiO₃), potasio (K₂SiO₃), calcio (CaSiO₃) y amonio ((NH₄)₂SiO₃) agregados al sustrato y se encontró un efecto positivo sobre el rendimiento del cultivo. El aumento en el rendimiento del pepino se asoció con un aumento en la cantidad de frutos (Jarosz, 2013).

Cuadro 6. Respuesta del rendimiento de fruto de dos híbridos de pepino y su interacción con tres niveles de silicato de potasio.

Híbridos	Niveles Silicato de Potasio (ml·L ⁻¹)			
	0	10	20	Media
Indurain	6.98	6.04	7.42	6.82a
SV2516CP	7.97	9.03	6.70	7.90a
Media	7.47a	7.54a	7.06a	

Variables de calidad de fruto

Se encontraron diferencias significativas entre híbridos en las variables SST, FF y VCF indicando diferencias significativas entre los híbridos estudiados (Cuadro 7), el SK también influyó significativamente ($p \leq 0.05$) en las variables SST y FF, mientras que las SH solo afectaron significativamente la FF de plantas sometidas a estrés salino. Se observó una diferencia significativa ($p \leq 0.01$) en la firmeza de frutos en la interacción de H*SK, similares resultados fueron observados en la interacción de H*SH. Lo antes mencionado indica que la respuesta de firmeza de fruto a los niveles de SK o SH estudiados es diferente en los híbridos bajo estudio. Se encontró una diferencia significativa en la interacción SK*SH en las variables SST y FF, indicando que los sólidos solubles y la firmeza del fruto fue diferente en función de los niveles de SK y SH estudiados. En la triple interacción H*SK*SH, se encontraron diferencias significativas en las variables FF y VCF indicando que tanto la firmeza de fruto como el contenido de vitamina C, se comportaron en función de la combinación de los factores y de los niveles estudiados (Cuadro 7).

Cuadro 7. Resultados del análisis de varianza aplicado a variables de calidad de fruto componentes del rendimiento del cultivo de pepino desarrollado en un suelo con salinidad inducida.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios		
		SST ° Brix	FF kg/cm ²	VCF mg.100 g
Repeticiones	2	0.66	2.35	5.23
Híbridos (H)	1	2.88**	12.46**	29.84**
Silicato de potasio (SK)	2	1.45**	3.44*	0.55
Sustancias Húmicas (SH)	2	0.45	7.12**	1.87
H*SK	2	0.68	4.63**	1.35
H*SH	2	0.12	5.62**	0.38
SK*SH	4	1.85**	4.75**	4.98
H*SK*SH	4	0.40	3.42**	13.94**
Error		7.78	0.81	2.54
C.V		13.94	8.07	30.87

*= Significativo ($p \leq 0.05$); ** = Significativo ($p \leq 0.01$), SST = Sólidos solubles totales; FF= Firmeza de fruto; VCF= Contenido de vitamina C en fruto.

Los SST, FF y VCF son variables que al presentarse un estrés se incrementa la concentración de azúcares o metabolitos como la vitamina C, que son una respuesta ante una condición de estrés, en cambio el alto efecto que tuvo la salinidad en el híbrido Indurain indujo probablemente menor tamaño celular por menor tolerancia a la salinidad y por lo tanto manifestó mayor FF, el híbrido Indurain fue significativamente superior (3.66°B) al híbrido SV2516, al cual supero en 14.39%, mientras que en firmeza de fruto el Indurain (11.61 kg/cm^2) supero al híbrido SV2516 en 9.11%, igualmente el híbrido Indurain supero en contenido de vitamina C (5.91 mg.100g) al híbrido SV2515 en 33.71 %. Lo anteriormente mostrado indica que el híbrido Indurain es superior en calidad de fruto al híbrido SV2516CP.

La aplicación de silicato indujo una menor concentración de SST en los frutos de pepino, reduciendo de 3.72°Brix a 3.41°Brix , lo anterior probablemente porque se indujo un menor estrés por salinidad que origino mayor volumen celular, aunque con la aplicación de silicato de potasio se indujo mayor firmeza de fruto, por lo

tanto se infiere que dicha firmeza puede ser atribuida en parte a su acumulación y polimerización en las paredes celulares ya que además se favorece la mayor lignificación de los tejidos (Batista *et al.*, 2005). Caso contrario, en un experimento se estudiaron los efectos beneficiosos de la aplicación de Si en relación con la estabilidad poscosecha de frutos de tomate obtenidos de plantas cultivadas en condiciones de salinidad moderada (50 mM) y tratadas con o sin silicato de potasio, 2 mM, mostraron un aumento del 42% en SST y peso en los frutos tratados en comparación con los controles (Costan *et al.*, 2020), en este trabajo no se observó respuesta del contenido de vitamina C a la aplicación de diferentes niveles de SK (Cuadro 8).

Cuadro 8. Comportamiento de variables agronómicas a la aplicación de tres niveles de silicato de potasio.

Silicato de Potasio (ml·L ⁻¹)	Variables de calidad de fruto		
	SST	FF	VCF
0	3.72a	10.65b	5.36a
10	3.16b	11.52a	5.03a
20	3.41ab	11.20ab	5.09a

Columnas con la misma letra son significativamente iguales; FF= Firmeza de fruto; SST= Sólidos solubles totales; VCF = Contenido de vitamina C en fruto;

Los niveles de SH estudiados en este trabajo, solo afectaron la FF, el tratamiento con la aplicación de 10 Kg·ha⁻¹ (11.52 kg/cm²) supero en firmeza de fruto en 11% al tratamiento (10.65 kg/cm²) sin el uso de SH, mientras que las otras variables agronómicas no fueron afectadas. Estos resultados pueden deberse a una efecto positivo de las sustancias húmicas que aumentó la permeabilidad de la membrana celular, respiración y fotosíntesis en plantas (Husein *et al.*, 2015), gracias a estos aspectos fisiológicos hay más movilidad de diversos nutrientes en las plantas, ayudando a la firmeza de fruto.

El Cuadro 9 muestra la interacción de H*SK en la variable firmeza de fruto de pepino, donde se observó que la firmeza de fruto del híbrido Indurain se incrementó solo un 3% en el tratamiento con 20 ml·L⁻¹, respecto al valor más bajo

de FF, en cambio en el híbrido SV2516 tuvo la mayor FF en el tratamiento con 10 ml·L⁻¹, superando en 19.1% al tratamiento sin aplicación de SK. Considerando los dos híbridos y la mayor FF se observó con la variedad Indurain y nivel de 20 ml·L⁻¹, con un valor de 11.79, superando en 21.17% al valor más bajo observado con la variedad SV2516 y sin aplicación de Silicato de potasio. Se puede inferir que el factor genético de los híbridos de pepino es de relevancia, pero también se demostró que las aplicaciones foliares y en suelo de Si, aumentan la firmeza y el grosor de la cutícula de los frutos (Jayawardana *et al.*, 2014). Esto se debe a que se aumenta la resistencia mecánica de la pared celular (Marodin *et al.*, 2014).

Cuadro 9. Firmeza de fruto de híbridos de pepino a la aplicación de tres niveles de silicato de potasio.

Híbridos	Niveles Silicato de Potasio (ml·L ⁻¹)			Media
	0	10	20	
Indurain	11.58	11.44	11.79	11.60a
SV2516CP	9.73	11.59	10.61	10.64b
Media	10.65b	11.51a	11.2ab	

El uso del silicato de potasio y las sustancias húmicas interaccionan afectado de forma negativa el contenido de SST, ya que sin las aplicación de SH se obtuvo el mayor rendimiento medio y al incrementar en el nivel de SK, se reduce hasta en 44.3% la concentración de sólidos solubles totales. Mientras que con 10 Kg·ha⁻¹ de SH se observó una relación inversa a lo observado con los tratamientos sin SH (Cuadro 10), exhibiendo un aumento en los sólidos solubles totales con el aumento del SK, mostrando una diferencia de 19.6% entre el nivel más bajo y el nivel más alto de SK (Cuadro 11). Se infiere que a mayor nivel SK se favorece el mayor intercambio de iones y con el uso de SH se favorece el desarrollo celular, por lo tanto, se reduce la concentración de azúcares y otros compuestos. Parimala, M., & Singh, J. (2022), explica que la aumento en el contenido de SST debido al silicato de potasio desempeñó un papel destacado en la translocación

de foto asimilados (CO_2 , H_2O_2), azúcares y otros sólidos solubles en algunos frutales.

Cuadro 10. Respuesta del contenido de sólidos solubles totales a la interacción de silicato de potasio y sustancias húmicas.

Niveles de Silicato de Potasio ($\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$)	Niveles de sustancias Húmicas ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)			Media
	0	10	20	
0	4.43	3.06	3.68	3.72a
10	3.32	3.39	2.75	3.16b
20	3.07	3.66	3.50	3.41ab
Media	3.61a	3.37a	3.31a	

La FF del pepino muestra una interacción entre los niveles de SK y SH, reflejando el mayor valor con el nivel intermedio de cada factor de estudio, lo anterior indica que los valores de $10 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ de SK y $10 \text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de SH indujeron la mayor firmeza de fruto. Superando en 28% y significativamente al valor más bajo registrado con el tratamiento sin aplicación de SK y SH. Niveles con mayores cantidades de SK o SH afectan negativamente la FF, que está relacionada con paredes celulares o bien con tamaño celular (Cuadro 11). En un estudio demostraron que las aplicaciones de Si, favorece la firmeza, grosor de la cutícula y menos lesiones en los frutos donde fueron significativamente mayores en aplicaciones vía suelo y foliares (Jayawardana *et al.*, 2014). Por otro lado, los ácidos húmicos pueden mejorar ciertas propiedades de calidad en fruto por que aumentan la permeabilidad de la membrana celular, respiración y fotosíntesis en la planta (Abou & Husein., 2016)

Cuadro 11. Respuesta del contenido de la firmeza de fruto a la interacción de silicato de potasio y sustancias húmicas.

Niveles de Silicato de Potasio (ml·L ⁻¹)	Niveles de Sustancias Húmicas (Kg·ha ⁻¹)			
	0	10	20	Media
0	9.03	12.12	10.82	10.65b
10	11.63	11.91	11.01	11.52a
20	11.36	11.50	10.74	11.20ab
Media	10.67b	11.84a	10.86b	

También se observó una triple interacción en las variables Fr, FF, VCF, NFD y PTF, lo anterior indica que cada variable tuvo un comportamiento diferente en función de la variedad y los niveles de SK y SH utilizados, en el cultivo de pepino.

Variables relacionadas con acumulación de biomasa

El ANVA muestra diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la variable NH y PSH, indicando que los híbridos difieren significativamente en estas variables. Así mismo en la variable PST se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los niveles de SK estudiados. No se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables estudiadas, en respuesta a la aplicación de los niveles de SH estudiados.

En la variable AP solo se encontraron diferencias significativas en la interacción H*SK, lo cual indica que los híbridos respondieron de forma significativamente diferente ($p \leq 0.05$) a las dosis de silicato de potasio estudiadas. El DT no fue afectado por ninguno de los factores de estudio o sus interacciones. Mientras que en la variable PSH se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), en la interacción H*SK y en la interacción SK*SH. Lo antes observado indica que el PSH fue significativamente diferente entre híbridos estudiados, así mismo los niveles de SK y SH afectaron de forma significativa y en forma diferente en los híbridos bajo estudio (Cuadro 12).

Aunque si se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el número de hojas por la tripe interacción, lo cual indica que ésta variable cambio en función del híbrido, los niveles de SK o bien de SH.

Cuadro 12. Resultados del análisis de varianza aplicado a variables relacionadas con la acumulación de biomasa del cultivo de pepino desarrollado en un suelo con salinidad inducida.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios				
		AP	DT	NH	PST	PSH
Repeticiones	2	649.43	2.42	1.49	38.59	3.31
Híbridos (H)	1	160.20	8.21	136.96**	24.67	1886.83*
Silicato de potasio (SK)	2	330.69	0.99	7.85	55.04*	62.55
H*SK	2	5246.28*	2.95	22.39	0.56	1263.43*
Substancias húmicas (SH)	2	2037.61	5.10	28.84	17.18	631.38
H*SH	2	1513.64	2.20	11.35	18.25	462.19
SK*SH	4	480.06	2.84	7.09	6.59	1078.21*
H*SK*SH	4	2685.77	5.58	38.94*	8.97	360.27
Error						
C.V (%)		13.41	19.71	7.48	16.15	11.82

AP=Altura de planta; DT= Diámetro de tallo; NH= Número de hojas; PST=Peso seco de tallo; PSH=Peso seco de hoja; Si= Silicio; 0, 10, 20 ml·L⁻¹; SH= Sustancias húmicas; 0, 10, 20 kg/ha, I= Induran, SV= SV2516.

El híbrido SV2516CP supero significativamente ($p \leq 0.01$) al híbrido Indurain en 7.4% en el NH, lo cual representa un mayor número de hojas que podrían influir en mayor fotosíntesis. También un mayor número de hojas representan un mayor peso seco de hojas lo cual fue confirmado al encontrar diferencias significativas entre híbridos, respecto a esta variable PSH, donde el híbrido SV2516CP (162.66g) supero significativamente al híbrido Indurain (150.84g) en un 7.83%. De las cinco variables estudiadas en relación con su repuesta al SK, solamente el PST exhibió diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los niveles de SK estudiados, se encontró que el pepino sin la aplicación de SK presento el mayor PST (24.44g) aunque fue significativamente igual al tratamiento con 20 ml·L⁻¹

(21.86 gr), pero supero significativamente en 15.77% al tratamiento con la aplicación de 10 ml·L⁻¹ de SK.

En la variable de AP, la interacción H*SK, se encontró que el híbrido Indurain con 10 ml·L⁻¹ de SK se presentó la menor AP y fue superada en 9.78% por el nivel con 20 ml·L⁻¹ de SK, sin embargo, el híbrido SV2516CP tuvo su mayor AP con 10 ml·L⁻¹ de SK mientras que el menor fue registrado por tratamiento con 20 ml·L⁻¹ de SK y fue superado en 16.12%, lo antes mostrado indica que los híbridos rondan de forma diferencial en función del nivel de SK, estudiado (Cuadro 13). Además, Olle M. (2014), reportó, que el uso de fuentes de silicio en plantas de pepino obtuvo un 35% más en altura planta comparado con su control, y se atribuye a que también se incrementó el contenido de nitrógeno, fosforo y magnesio en materia seca del pepino. En un estudio con pimientos, en donde se aplicó silicio foliar (silicato de potasio que contiene 18% de Si) con zinc (0,2%) y boro (0,1%), independientemente de la concentración de silicio en la pulverización (0,1, 0,2, y 0,4%), aumentó significativamente la altura de la planta y la producción de biomasa, tanto 45 días después de la siembra como durante la madurez del fruto (Satisha *et al.*, 2017).

Aunque en este trabajo no se encontró respuesta del DT a los factores bajo estudio, se menciona que las aplicaciones foliares de silicato de potasio favorecen el aumento del crecimiento de las plantas de pepino y puede estar relacionado con la mejora elasticidad tisular y el volumen de agua tomada vía simplástica que se asociaron con todas la elongación celular (Shehata, 2018).

Cuadro 13. Altura de planta en respuesta a la interacción del híbrido por el Silicato de potasio.

Híbrido	Silicato de potasio (ml·L ⁻¹)			Media
	0	10	20	
Induran	275.22	251.91	276.57	267.90 a
SV2516CP	267.40	293.70	252.92	271.34 a
Media	271.47 a	272.80 a	264.74 a	

En la variable de PH, se encontró que con el híbrido Indurain y 20 ml·L⁻¹ de SK, se obtuvo el mayor PSH el cual supero en 10.8% al peso obtenido con 10 ml·L⁻¹ de SK, sin embargo, el híbrido SV2516CP el mayor PSH se obtuvo con 10 ml·L⁻¹ de SK y el menor PSH fue obtenido con 20 ml·L⁻¹ de SK, lo cual india que los híbridos tienen un comportamiento diferente con los niveles de SK, estudiados (Cuadro 14).

Cuadro 14. Peso seco de hoja (g) en respuesta a la interacción del híbrido por el Silicato de potasio.

Híbrido	Silicato de potasio (ml·L ⁻¹)			Media
	0	10	20	
Induran	150.10	143.45	158.95	150.83 b
SV2516CP	159.27	173.19	155.50	162.65 a
Media	154.68a	158.32a	157.22a	

En la interacción SK*SH se observaron diferencias significativas en la variable PSH, mostrando que en el nivel de 0 y 20 ml·L⁻¹ de SK no se encontraron diferencias significativas entre los niveles de SH, sin embargo, con el nivel de 10 ml·L⁻¹ de SK y 10 ml·L⁻¹ de SH se obtuvo un valor significativamente superior a los otros niveles estudiados de SH, superado en 28.77% al tratamiento sin sustancias húmicas y 10 ml·L⁻¹ de SK (Cuadro 15).

El incremento de los parámetros de crecimiento vegetativo que se lograron con aplicación de sustancias húmicas puede que sea a través del aumento de la absorción de nutrientes y su disposición en la solución del suelo (Hamail *et al.*,

2014). Un estudio de Artyszak., (2018), reporto que la fertilización con silicato de sodio (Na_2SiO_3), silicato de calcio (CaSiO_3) o silicato de potasio (K_2SiO_3) a una dosis de $1,5 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ de sustrato aumentó significativamente el contenido de materia seca en el tomate y extracto de fruta, pero no aumentó el rendimiento.

Cuadro 15. Peso seco de hoja en pepino en respuesta a la interacción de silicato de potasio con sustancias húmicas.

Silicato de potasio ($\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$)	Substancias húmicas ($\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$)			Media
	0	10	20	
0	162.20	153.30	148.56	154.68 a
10	138.13	177.88	158.96	158.32 a
20	160.23	159.56	151.89	157.23 a
Media	153.52 a	163.58 a	153.13 a	

Variables de contenido mineral en fruto

El análisis de varianza aplicado al contenido de minerales en fruto muestra que hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre híbridos en N, P y Ca, y no significativas en K, Mg, Fe y Cu, lo cual indica que los híbridos tuvieron diferente capacidad de tomar o translocar el N, P y Ca hacia el fruto, sin embargo, en el caso de los otros minerales se comportaron igual de un híbrido a otro. Al analizar el contenido de minerales en fruto en relación con la aplicación de SK se encontró que hubo diferencias significativas en los contenidos de N, P y K estimados en fruto, pero las aplicaciones de SK no afectaron el contenido de los otros minerales bajo estudio (Cuadro 16). La aplicación de SH afectó significativamente los contenidos de N, P y Mg, pero no afectaron los contenidos de K, Ca, Fe y Cu. En la interacción de H x SK se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para todos los contenidos de minerales en fruto, indicando que las aplicaciones de SK afectó de manera diferente a los híbridos bajo estudio. Mientras que en la interacción de H*SH se encontró que la interacción fue significativa solo para N, P y Fe, indicando que para estos elementos los híbridos se comportaron diferente

en función del nivel de SH utilizado (Cuadro 16). No se observaron diferencias significativas en la interacción de SK x SH para los elementos minerales estudiados en fruto indicando que los niveles de SK en combinación con los niveles de SH no afectaron de forma significativa el contenido de minerales en fruto. En la triple interacción solo se encontraron diferencias significativas para contenido de nitrógeno, lo cual indica que la combinación de los diferentes niveles indujo respuestas significativas en función del híbrido utilizado. ¹

Cuadro 16. Cuadrados medios de los factores evaluados para las variables de minerales en fruto.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios						
		N g·kg ⁻¹	P g·kg ⁻¹	K g·kg ⁻¹	Ca g·kg ⁻¹	Mg g·kg ⁻¹	Fe ppm	Cu ppm
Repeticiones	2	14.35	1.24	19.65	4.63	0.58	1531.4	3.55
Híbridos (H)	1	46.3*	3.09*	1.57	40.77*	1.18	557.45	31.13
Silicato de potasio (SK)	2	95.8*	11.12**	53.07*	0.01	0.31	5916.3	20.09
H x SK	2	12.57*	13.04**	64.90*	10.26*	6.88*	3372.3*	28.77*
Sustancias Húmicas(SH)	2	117.46**	2.97*	20.07	3.43	1.98*	722.63	2.53
H x SH	2	27.24*	4.41**	4.2	3.89	1.23	7853.84*	23.17
SK x SH	4	219.07	2.31	2.4	3.89	0.64	3674.98	10.41
H x SK x SH	4	112.52*	1.66	8.93	4.76	1.02	2955.55	29.22
Error		8.53	0.69	11.21	3.40	0.56	2182.49	11.51
C.V (%)		16.17	16.51	13.53	47.48	2.75	52.83	9.44

*= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$), F. V= Fuente de variación, H= Híbridos de pepino, SK= Silicato de potasio, SH= Sustancias húmicas, C. V= Coeficiente de variación.

Al comparar el contenido de N en fruto se observa que el híbrido Indurain (18.40 g·kg⁻¹) exhibió una cantidad de nitrógeno significativamente superior a la observada en el híbrido SV2516CP (16.55 g·kg⁻¹), sin embargo, en el contenido de P el híbrido SV2516CP fue significativamente superior al híbrido Induráin, al cual supero en 10.27%. En el contenido de Ca, el híbrido Induráin fue significativamente superior al híbrido SV2516CP, al cual superó en 57.81%.

Al comparar el efecto de los niveles de SK sobre el contenido de N, se muestra que con el nivel más bajo de SK se tuvo el valor más alto de este elemento (19.83 g·kg⁻¹) y con el nivel 10 ml·L⁻¹ de SK se tuvo el nivel más bajo de N (15.22 g·kg⁻¹). Mientras que el nivel más alto de P fue observado con 20 ml·L⁻¹ de SK (5.71

$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), el cual supero en 38.25% al tratamiento que recibió $10 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ SK y que mostro el nivel más bajo y ambos fueron significativamente diferentes. La aplicación de SK también afecto significativamente el contenido de K en fruto, igual que en el caso anterior el nivel con $20 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ fue el que presento el mayor contenido de K (26.68) y fue significativamente mayor que el tratamiento sin aplicación de SK, al cual supero en 11.49%.

La aplicación de SH también influyo significativamente sobre el contenido de N en fruto, el tratamiento con $10 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ de SH fue el que exhibió el mayor contenido de N en fruto ($20.22 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) y fue significativamente superior en 33.37% al tratamiento sin SH. La SH también influyeron significativamente sobre el contenido de P, se encontró que el tratamiento con $10 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ de SH exhibió el valor más alto con ($5.37 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), y fue significativamente ($p \leq 0.05$) mayor que el tratamiento sin aplicación de SH, al cual supero en 12.57%. También influyo sobre el contenido de Mg en fruto, el tratamiento sin aplicación de SH exhibió el mayor contenido ($3.08 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) y supero significativamente al tratamiento con $20 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ al cual supero en 27.27%.

El cuadro 17 muestra que el híbrido Indurain manifestó el mayor contenido de N sin la aplicación de SK igualmente que el híbrido SV2516CP, aunque las respuestas del híbrido Indurain son más notorias que el otro híbrido.

Cuadro 17. Respuesta del contenido de N en fruto de pepino, a la interacción H*SK, en suelos con salinidad inducida.

Híbridos	Silicato de potasio ($\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$)			Media
	0	10	20	
Induráin	20.22	17.11	17.88	18.40 a
SV2516CP	19.44	13.33	16.88	16.55 b
Media	19.83 a	15.22 b	17.38b	

En la interacción H*SK muestra que el híbrido Induráin no exhibió diferencias significativas al pasar de un nivel a otro de SK, sin embargo, en el caso del híbrido SV2516CP si exhibió diferencias significativas en el contenido de fósforo al pasar

de un nivel a otro, el mayor cantidad de P observada fue con el nivel de 20 ml·L⁻¹ cuyo valor supero en 93.6% al tratamiento con 10 ml·L⁻¹.

Cuadro 18. Respuesta del contenido de fósforo en fruto de pepino, a la interacción H*SK, en suelos con salinidad inducida.

Híbridos	Silicato de potasio (ml·L ⁻¹)			Media
	0	10	20	
Induraín	4.56	4.79	4.67	4.67 b
SV2516CP	5.24	3.48	6.74	5.15 a
Media	4.9 b	4.13 c	5.71 a	

En el contenido de K en fruto, también se observaron diferencias significativas en la interacción de H*SK, encontrando que el híbrido Indurain sin la aplicación de SK manifestó una diferencia mínima de 7.1 % respecto al mismo híbrido con la aplicación de 10 ml·L⁻¹ de SK, a diferencia del híbrido SV2516CP que con 10 ml·L⁻¹ manifestó el menor contenido de K y el mayor contenido de K fue registrado con la aplicación de 20 ml·L⁻¹ de SK, y la diferencia entre el contenido más bajo y el más alto es de 32.5% mostrando que los híbridos se comportaron de forma diferente con la aplicación de SK (Cuadro 19). En muchas especies de plantas, las aplicaciones foliares de ácido silícico aumentan la absorción de N, P y K en grano como hojas banderas en cultivos de cereales (Soratto *et al.*, 2012).

Cuadro 19. Respuesta del contenido de potasio en fruto de pepino, a la interacción H*SK, en suelos con salinidad inducida.

Híbridos	Silicato de potasio (ml·L ⁻¹)			Media
	0	10	20	
Induraín	23.95	25.66	25.03	24.88 a
SV2516CP	23.91	21.38	28.33	24.54 a
Media	23.93 b	23.52 b	26.68 a	

En el resto de los elementos también se encontraron diferencias significativas en la interacción de H*SK. Indicando que los híbridos se comportan de forma

diferente con la aplicación de los diferentes niveles de SK. Bajo estrés salino (NaCl 150 mM), el Si (Na₂SiO₃ 2 mM) aumentó el contenido de Ca y Mg y disminuyó el de Na y Cl en las raíces, tallos y hojas del tomate. Esto no fue mediado por una translocación reducida de la raíz al tallo o del tallo a las hojas, sino a un efecto de dilución de la sal desencadenado por un crecimiento mejorado, es decir, una mayor biomasa de brotes acumulada bajo estrés salino y aplicación de Si (Li *et al.*, 2015). Estudios demuestran la capacidad del Si para modular la actividad de la raíz para absorción de Fe en pepino en una etapa temprana de estrés por deficiencia de Fe a través de la regulación de los niveles de expresión génica de las proteínas involucradas en este proceso (Pavlovic *et al.*, 2013).

Se encontraron diferencias significativas en la interacción de H x SH, para N, se observa que el híbrido Indurain con la aplicación de 10 ml·L⁻¹ de SH significativamente superior al registrado en frutos de plantas sin aplicación de SH, superando el primero al segundo en 45.01% mientras que la respuesta observada en el híbrido SV2516CP, es significativamente menor, manifestando una interacción diferente de los híbridos con los niveles aplicados de las SH.

Cuadro 20. Respuesta del contenido de nitrógeno en fruto de pepino, a la interacción H*SH, en suelos con salinidad inducida.

Híbridos	Substancias húmicas (ml·L ⁻¹)			Media
	0	10	20	
Induraín	15.55	22.55	17.11	18.41 a
SV2516CP	14.77	17.89	17.0	16.55 b
Media	15.16 b	20.22 a	17.05 b	

En el Cuadro 21, muestra que los híbridos probados tuvieron un comportamiento en diferente en los niveles de SH utilizadas, mientras que el híbrido Indurain presento el mayor contenido de fosforo con 20 ml·L⁻¹ de SH, el mayor contenido de P observado en el híbrido SV2516CP fue con 20 ml·L⁻¹ de SH.

Cuadro 21. Respuesta del contenido de fósforo en fruto de pepino, a la interacción H*SH, en suelos con salinidad inducida.

Híbridos	Substancias húmicas (ml·L ⁻¹)			Media
	0	10	20	
Induraín	4.24	4.85	4.93	4.67 b
SV2516CP	5.30	5.90	4.27	5.15 a
Media	4.77 ab	5.37 a	4.60 b	

CONCLUSIONES

El uso de Silicato de potasio y Sustancias húmicas en distintas dosis aunado con la interacción de cultivares de pepino mejorados que existen en el mercado para diferentes tipos de estrés abiótico puede mejorar en ciertas variables de productividad, calidad y absorción de nutrientes, como; DFr, LFr, NFPP, PTF y RFM. Mientras en calidad de fruto FF, VC y SST. Por otro lado, en asimilación de minerales en fruto favorece al contenido de N, P, K, Ca, Fe y Cu.

Es necesario que se sigan haciendo investigaciones que involucre distintas fuentes de silicio y sustancias húmica como su forma de aplicaciones, la cantidad y su frecuencias de estas en cultivares de pepino para poder mitigar de una manera amplia el estrés causado por factores abióticos en las regiones de interés económico.

REFERENCIAS

Abbey, B. W., Nwachoko, N., & Ikiroma, G. N. (2017). Nutritional value of cucumber cultivated in three selected states of Nigeria. *Biochemistry Analytical Biochemistry*, 6(3), 10-13.

- Abd Elkareem, N. S., Moursy, M. A. M., Mostafa, M. M., & Elbably, W. Applying (2017) Deficit Irrigation and Natural Fertilization for Cucumber Yield Enhancement under Greenhouse.
- Abd-alkarim, E., Bayoumi, Y., Metwally, E., & Rakha, M. (2017). Silicon supplements affect yield and fruit quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in net houses. *African Journal of Agricultural Research*, 12(31), 2518-2523.
- Abou El Hassan, S. y Husein, ME (2016). Respuesta de plantas de tomate a la aplicación foliar de ácidos húmicos, fúlvicos y calcio quelado. Egipto. *J. Soil Sci* , 56 (3), 401-141.
- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18.
- Albrecht, U. (2019). [HS1330] Plant Biostimulants: Definition and Overview of Categories and Effects. EDIS, 2019(3).
- Aldesuquy H, Baka Z, Mickky B (2014) Kinetin and spermine mediated induction of salt tolerance in wheat plants: leaf area, photosynthesis and chloroplast ultrastructure of flag leaf at ear emergence. *Egypt J Bas Appl Sci* 1:77–87.
- Al-madhagi, I. (2019). Effect of humic acid and yeast on the yield of greenhouse cucumber. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 2(1), 67-82.
- Ameta, K. D., Sharma, S. K., Dubey, R. B., & Kaushik, R. A. (2017). Effect of Humic Acid and Micro Nutrients on Growth and Yield of Poly House Grown Cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Chemical Science Review and Letters*.
- AOAC. 1984. Association of Official Analytical Chemist. Official Methods of Analysis. (14ta. ed.). Arlington, VA, USA.
- AOAC. 1997. Association of Official Analytical Chemist. Official Methods of Analysis. (16ta. ed.). Gaithersburg, MD, USA.
- Arévalo Castro, T. J. (2017). Respuesta del cultivo de arroz *Oriza sativa* L. a dos fuentes y dos dosis de silicio orgánico (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil).

- Artyszak, A. (2018). Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality—A literature review in Europe. *Plants*, 7(3), 54.
- Bakhat, H. F., Bibi, N., Zia, Z., Abbas, S., Hammad, H. M., Fahad, S., ... & Saeed, S. (2018). Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: a review. *Crop Protection*, 104, 21-34.
- Bakhat, H.F., Zia, Z., Fahad, S., Abbas, S., Hammad, H.M., Shahzad, A.N., Abbas, F., Alharby, H., Shahid, M., 2017. Arsenic uptake, accumulation and toxicity in rice plants: possible remedies for its detoxification: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.*
- Bartels, D., & Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical reviews in plant sciences*, 24(1), 23-58.
- Batista GF, Campos MJ, Donizete SC, Marcos GM (2005). Resistance
- Benyamin Esho, K., & Saeed, S. H. (2017). Effect of humic acid on growth and yield of three cultivars of summer squash (*Cucurbita pepo* L.). *Egypt. J. Exp. Biol. (Bot.)*, 13(2), 167-171.
- Bhangare, R. V., & Dadarwal, B. K. (2019). Assessing physiological responses of plants to salinity stress. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 2832-2836.
- Bityutskii, N., Pavlovic, J., Yakkonen, K., Maksimović, V., & Nikolic, M. (2014). Contrasting effect of silicon on iron, zinc and manganese status and accumulation of metal-mobilizing compounds in micronutrient-deficient cucumber. *Plant physiology and Biochemistry*, 74, 205-211.
- Caubet, M., Cornu, S., Saby, NP y Meunier, JD (2020). La agricultura aumenta la biodisponibilidad del silicio, un elemento beneficioso para el cultivo, en suelos templados. *Informes científicos*, 10 (1), 1-11.
- Chutipaijit S, Chaum S, Sompornpailin K (2011) High contents of proline and anthocyanin increase protective response to salinity in *Oryza sativa* L. spp. indica. *Aust J Crop Sci* 5:1191–1198.
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Estadistica/5048.pdf> [Consulta: 26 de septiembre de 2020].

- Conselvan, G. B., Fuentes, D., Merchant, A., Peggion, C., Francioso, O., & Carletti, P. (2018). Effects of humic substances and indole-3-acetic acid on *Arabidopsis* sugar and amino acid metabolic profile. *Plant and Soil*, 426(1), 17-32.
- Costan, A., Stamatakis, A., Chrysargyris, A., Petropoulos, S. A., & Tzortzakis, N. (2020). Interactive effects of salinity and silicon application on *Solanum lycopersicum* growth, physiology and shelf-life of fruit produced hydroponically. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(2), 732-743.
- De Pascale, S., Roupael, Y., & Colla, G. (2017). Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *Eur. J. Hortic. Sci*, 82(6), 277-285.
- Debona, D., Rodrigues, F. A., & Datnoff, L. E. (2017). Silicon's role in abiotic and biotic plant stresses. *Annual Review of Phytopathology*, 55, 85-107. Disponible en: <http://www.dicta.hn/files/2005,-El-cultivo-de-la-sandia,-G.pdf>
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14.
- Eifediyi, E. K. y Remison, S. U. 2010. Growth and yield of cucumber (*Cucumis sativum* L.) as influenced by farm yard manure and inorganic fertilizer. *J. Plant Breed. Crop Sci.* 2:216-220.
- Ekinci, M., ESRİNGÜ, A., Dursun, A., Yildirim, E., Turan, M., KARAMAN, M. R., & Arjumend, T. (2015). Growth, yield, and calcium and boron uptake of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) as affected by calcium and boron humate application in greenhouse conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(5), 613-632.
- El-Nemr, M. A., El-Desuki, M., El-Bassiony, A. M., & Fawzy, Z. F. (2012). Response of growth and yield of cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) to different foliar applications of humic acid and bio-stimulators. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(3), 630-637.

- Ertani, A., Francioso, O., Tugnoli, V., Righi, V., & Nardi, S. (2011). Effect of commercial lignosulfonate-humate on *Zea mays* L. metabolism. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(22), 11940-11948.
- Fahad, S., Hussain, S., Matloob, A., Khan, F. A., Khaliq, A., Saud, S., ... & Huang, J. (2015). Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review. *Plant growth regulation*, 75(2), 391-404.
- FAOSTAT. (2017). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC.2017>. [Consulta: 20 de marzo de 2019].
- Gill SS, Tuteja N (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol Biochem* 48:909–930.
- González-Terán, G. E., Gómez-Merino, F. C., & Trejo-Téllez, L. I. (2020). Effects of silicon and calcium application on growth, yield and fruit quality parameters of cucumber established in a sodic soil. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 19(3).
- Grijalva, R. L., & Robles, F. (2003). Avances en la producción de hortalizas en invernaderos. *Publicación Técnica*, (7), 14-18.
- Guntzer, F., Keller, C., & Meunier, J. D. (2012). Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 201-213.
- Hamail. A. F., M. S. Hamada, E. A. Tartoura & M. A. Abd El-Hady. (2014). Effect of n-forms and some bio-stimulants on productivity of cucumber: 1-vegetative growth and chemical constituents.
- Hanin, M., Ebel, C., Ngom, M., Laplaze, L., & Masmoudi, K. (2016). New insights on plant salt tolerance mechanisms and their potential use for breeding. *Frontiers in plant science*, 7, 1787.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2013). Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In *Ecophysiology and responses of plants under salt stress* (pp. 25-87). Springer, New York, NY.

- Husein, M. E., El-Hassan, S. A., & Shahein, M. M. (2015). Effect of humic, fulvic acid and calcium foliar application on growth and yield of tomato plants. *International Journal of Biosciences*, 7(1), 132-140.
- Imtiaz, M., Rizwan, M. S., Mushtaq, M. A., Ashraf, M., Shahzad, S. M., Yousaf, B., ... & Tu, S. (2016). Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: a review. *Journal of environmental management*, 183, 521-529.
- induction in wheat plants by silicon and aphids. *Sci. Agric.* 62:
- Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2011). Gene expression profiling of plants under salt stress. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(5), 435-458.
- Jarosz, Z. (2013). The effect of silicon application and type of substrate on yield and chemical composition of leaves and fruit of cucumber. *Journal of Elementology*, 18(3).
- Jayawardana, H. A. R. K., Weerahewa, H. L. D., & Saparamadu, M. D. J. S. (2014). Effect of root or foliar application of soluble silicon on plant growth, fruit quality and anthracnose development of capsicum.
- Khaled, H., & Fawy, H. A. (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil and Water Research*, 6(1), 21-29.
- Kumar, K., Amaresan, N., & Madhuri, K. (2017). Alleviation of the adverse effect of salinity stress by inoculation of plant growth promoting rhizobacteria isolated from hot humid tropical climate. *Ecological Engineering*, 102, 361-366.
- Li, H., Zhu, Y., Hu, Y., Han, W., & Gong, H. (2015). Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture. *Acta physiologiae plantarum*, 37(4), 71.
- Li, Y., Heckman, J., Wyenandt, A., Mattson, N., Durner, E., & Both, A. J. (2020). Potential Benefits of Silicon Nutrition to Hydroponically Grown Sweet Basil. *HortScience*, 55(11), 1799-1803.

- Liang, Y., Nikolic, M., Belanger, R., Gong, H. & Song, A. 2015 Silicon in agriculture from theory to practice. Springer, Dordrecht, the Netherlands.
- López-Elías, J., Ortega, S. G., López, M. A. H., León, J. J., Puente, E. O. R., & Amador, B. M. (2015). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) en función de la densidad de plantación en condiciones de invernadero. *European Scientific Journal*, 11(24).
- Machado, R. M. A., & Serralheiro, R. P. (2017). Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, 3(2), 30.
- Marodin, J.C.; J.T. Resende; R.G. Morales; M.L. Silva; A.G. Galvão and D.S. Zanin. 2014. Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. *Hortic. Bras.*, 32:220-224.
- Mckean, S. J. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: una guía teórica y práctica de metodologías. Ciat.
- Mercedes, L. C., & Daury, G. P. (2016). Determinación de nitrógeno total y amoniacal con microdigestor y destilador marca Labconco.
- Mohammed, W. F. H. I. (2017). Effect of Bio-Organic Fertilization in some Nutrients Availability, Growth and Yield of Cucumber (*Cucumis sativus* L.). *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 10(10), 13-17.
- Negrão, S., Schmöckel, S. M., & Tester, M. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of botany*, 119(1), 1-11.
- Olivares, F. L., Busato, J. G., De Paula, A. M., da Silva Lima, L., Aguiar, N. O., & Canellas, L. P. (2017). Plant growth promoting bacteria and humic substances: crop promotion and mechanisms of action. *Chemical and biological technologies in agriculture*, 4(1), 1-13.
- Olk, D. C., Dinnes, D. L., Scoresby, J. R., Callaway, C. R., & Darlington, J. W. (2018). Humic products in agriculture: potential benefits and research challenges—a review. *Journal of Soils and Sediments*, 18(8), 2881-2891.
- Olle, M. (2014). The effect of Silicon on the organically grown cucumber transplants growth and quality. In *World Fertilizer Congress* (Vol. 16, p. 90).

- Ouni, Y., Ghnaya, T., Montemurro, F., Abdelly, C., & Lakhdar, A. (2014). The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity. *International Journal of Plant Production*, 8(3), 353-374.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(6), 4056-4075.
- Parimala, M., & Singh, J. (2022). Soil and foliar application of silicon on quality parameters and yield of horticultural crops.
- Pavlovic, J., Samardzic, J., Maksimović, V., Timotijevic, G., Stevic, N., Laursen, K. H., & Nikolic, M. (2013). Silicon alleviates iron deficiency in cucumber by promoting mobilization of iron in the root apoplast. *New Phytologist*, 198(4), 1096-1107.
- Polash, M. A. S., Sakil, M. A., & Hossain, M. A. (2019). Plants responses and their physiological and biochemical defense mechanisms against salinity: A review. *Trop. Plant Res*, 6, 250-274.
- Preciado Rangel, P., Reyes Pérez, JJ, Ramírez Rodríguez, SC, Salas Pérez, L., Fortis Hernández, M., Murillo Amador, B. y Troyo Diéguez, E. (2019). La aspersión foliar de ácido salicílico mejora los compuestos fenólicos y flavonoides, y también el rendimiento de frutos en pepino (*Cucumis sativus* L.). *Plantas*, 8 (2), 44.
- Preciado, R. P.; Fortis, V.; García, J. L.; Rueda, E.; Esparza, R. J. R.; Lara, A.; Segura, M. A. y Orozco, V. 2011. Evaluation of organic nutrient solutions for greenhouse tomato production. *Interciencia*. 36(9):689-693.
- Pulido Madrigal, L. (2016). Cambio climático, ensalitramiento de suelos y producción agrícola en áreas de riego. *Terra Latinoamericana*, 34(2), 207-218.
- Ristaino, J. B., and Thomas, W. 1997. Agriculture, methyl bromide and the ozone hole, can we fill the gap? *Plant Dis*. 81:964-977.
- Roomi, S., Masi, A., Conselvan, G. B., Trevisan, S., Quaggiotti, S., Pivato, M., ... & Carletti, P. (2018). Protein profiling of arabidopsis roots treated with

- humic substances: insights into the metabolic and interactome networks. *Frontiers in plant science*, 9, 1812.
- Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R., Shoukat, A., ... & Sarwar, M. I. (2019). A review: Impact of salinity on plant growth. *Nat. Sci*, 17(1), 34-40.
- Satisha, G. C., Saxena, A. K., & Ganesshamurthy, A. N. (2017, October). Effect of silicon and macronutrients on plant growth, yield and disease incidence in chilli (*Capsicum annum* L). In *Proceedings of the 7th International Conference on Silicon in Agriculture*, Bengaluru, India (Vol. 24, p. 28).
- Shehata, S. A. (2018). Effect of Foliar spray with Potassium Silicate on Growth, Yield, Quality and Storability of Cucumber Fruits. *Annals of Agricultural Science*, Moshtohor, 56(2), 385-396.
- Shehata, S. A., Hassan, H. A., Tawfik, A. A., & Farag, M. F. (2016). Improving the productivity and quality of the cucumber crop grown under greenhouse conditions using some stimulants and spraying amino acids. *Journal of Plant Production*, 7(4), 385-392.
- Shrivastava, P. y Kumar, R. (2015). Salinidad del suelo: un problema ambiental grave y bacterias promotoras del crecimiento de las plantas como una de las herramientas para su alivio. *Revista saudita de ciencias biológicas*, 22 (2), 123-131.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, México. Atlas agroalimentario de México 2016 Disponible en https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016 [Consulta: 20 de marzo de 2019].
- SIIAEC. Sistema integral de información del estado de Coahuila. Disponible en: <https://www.sema.gob.mx/SRN-SIIAECC-DG-MF/SUELOS.php#:~:text=En%20Coahuila%20casi%20el%2090,%2C%20Vertisol%2C%20Casta%C3%B1ozem%2C%20Fluvisol%2C> [Consulta: 26 de septiembre de 2020].
- Soratto, R. P., Crusciol, C. A. C., Castro, G. S. A., Costa, C. H. M. D., & Ferrari Neto, J. (2012). Leaf application of silicic acid to white oat and wheat. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(5), 1538-1544.

- Soundharya, N., Srinivasan, S., Sivakumar, T., & Kamalkumaran, P. R. (2019). Effect of Foliar Application of Nutrients and Silicon on Yield and Quality Traits of Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Int J Pure App Biosci*, 7(2), 526-531.
- Steiner, G. A. (1969). Top management planning.
- Taleisnik, E. (2019). La salinidad. *Anales de la ANAV*, 70.
- Tavakkoli, E., Fatehi, F., Coventry, S., Rengasamy, P., & McDonald, G. K. (2011). Additive effects of Na⁺ and Cl⁻ ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 62(6), 2189-2203.
- Terán Ruiz, C. F. (2016). Comparación de los métodos de digestión seca y digestión ácida por microondas para el análisis de fósforo en brócoli y acelga por espectrofotometría ultravioleta-visible (Bachelor's thesis, PUCE).
- Trasviña Barriga, A., Bórquez Olgún, R., Leal Almanza, J., Castro Espinoza, L., & Gutiérrez Coronado, M. (2018). Rehabilitación de un suelo salino con yeso agrícola en un cultivo de nogal en el Valle del Yaqui. *Terra Latinoamericana*, 36(1), 85-90.
- Tripathi, D. K., Singh, V. P., Gangwar, S., Prasad, S. M., Maurya, J. N., & Chauhan, D. K. (2014). Role of silicon in enrichment of plant nutrients and protection from biotic and abiotic stresses. In *Improvement of crops in the era of climatic changes* (pp. 39-56). Springer, New York, NY.
- Turan, S., Cornish, K. y Kumar, S. (2012). Tolerancia a la salinidad en las plantas: fitomejoramiento e ingeniería genética. *Revista australiana de ciencia de cultivos*, 6 (9), 1337-1348.
- Turhan, A., & KUŞÇU, H. (2020). The Influence of Irrigation Water Salinity and Humic Acid on Nutrient Contents of Onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Agricultural Sciences*, 26(2), 147-153.
- Vaccaro, S., Ertani, A., Nebbioso, A., Muscolo, A., Quaggiotti, S., Piccolo, A., & Nardi, S. (2015). Humic substances stimulate maize nitrogen assimilation and amino acid metabolism at physiological and molecular level. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2(1), 1-12.

- Weber, J., Chen, Y., Jamroz, E., & Miano, T. (2018). Preface: humic substances in the environment. *Journal of Soils and Sediments*, 18(8), 2665-2667.
- Wehner, T.C. y Maynard, D.N. 2003. Cucumbers, melons, and other cucurbits. Vol. 1. *Encyclopedia of food and culture*. New York, USA. Pp 474-479.
- Williams, T. R. (1972). *Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry* (Perkin-Elmer Corp.).
- Yadav, S., Irfan, M., Ahmad, A., & Hayat, S. (2011). Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: a review. *Journal of Environmental Biology*, 32(5), 667.
- Yakhin, O. I., Lubyantov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in plant science*, 7, 2049.
- Yasir, N. F., Seheib, M. W., & Hasan, O. A. K. (2016). Effect of adding different organic fertilizers in the absorption of some of nutrient elements from soil in properties of plant growth and yield of cucumber plant. *Global J. Agric. Res*, 4(6), 13-19.
- Zhang, L., Ma, H., Chen, T., Pen, J., Yu, S., & Zhao, X. (2014). Morphological and physiological responses of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plants to salinity. *PLoS One*, 9(11), e112807.
- Zhu, Y., & Gong, H. (2014). Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 455-472.

ANEXOS

Factores estudiados	NH	PSH	PF	DF	LF	SST
Variedades		(g)	(g)	(mm)	(cm)	(°Brix)
Induran	44.04 b	150.84 b	343.21 b	50.12 b	21.30 b	3.66 a
SV2516	47.13 a	162.66 a	374.10 a	52.38 a	22.17 a	3.20 b

Cuadro 22. Pruebas de medias en NH= Número de frutos, PSH= Peso seco de hoja, PF= Peso de fruto, DF= Diámetro de fruto, LF= Largo de fruto, SST= Solidos solubles totales. Diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos según Duncan ($p \leq 0.05$).

Factor estudiado	FF	VC	pH	CHF	N	P	Ca
Variedades	(kg/cm ²)	(mg·100 g)		(%·100 g)	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹
Induran	11.61a	5.91a	5.92a	95.87a	18.4a	4.68b	4.75a
SV2516	10.6b	4.42b	5.77b	95.60b	16.56b	5.16a	3.01b

Cuadro 23. Pruebas de medias en FF= Firmeza de fruto, VC= Vitamina C, pH=pH en fruto, N= Nitrógeno en fruto, P= Fosforo en fruto, Ca= Calcio en fruto. Diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos según Duncan ($p \leq 0.05$).

Factor estudiado	PSH	SST	pH	CHF	N	P
Silicato de potasio (Si)	(g)	(°Brix)		(%·100 g)	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹
Si0	24.44a	3.72a	5.84ab	95.54b	19.83a	4.9ab
Si10	21.11b	3.16b	5.92a	95.93a	17.39ab	4.14b
Si20	21.86b	3.41ab	5.77b	95.73ab	15.22b	5.71a

Cuadro 24. Pruebas de medias en PSH= Peso seco en hoja, SST= Sólidos solubles totales, pH= pH en fruto, N=Nitrógeno en fruto, P= Fosforo en fruto, Si; 0, 10, 20 ml·L⁻¹. Diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos según Duncan ($p \leq 0.05$).

Factor estudiado	FF	pH	CHF	N	P	Mg
Sustancias húmicas (SH)	(kg/cm ²)		(%·100 g)	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹
SH0	10.67b	5.91a	95.7ab	15.17b	4.77b	3.09a
SH10	11.84a	5.86ab	95.86a	20.22a	5.38a	2.74ab
SH20	10.86b	5.77b	95.64b	17.06ab	4.60b	2.43b

Cuadro 25. Pruebas de medias en FF=Firmeza de fruto, pH= pH en fruto, CHF= Contenido de humedad en fruto, N= Nitrógeno en fruto, P= Fosforo en fruto, Mg= Magnesio en fruto, SH; 0, 10, 20 kg/ha