

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN DE CALCIO, SILICIO Y NANOPARTÍCULAS DE HIDROXIAPATITA  
SOBRE LA CALIDAD DE HIGO (*Ficus carica* L.) PRODUCIDO EN DOS  
DENSIDADES, EN INVERNADERO**

**TESIS**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**PRESENTA**

**HÉCTOR MIGUEL AZPEITIA CASTILLO**

**GENERAL ESCOBEDO, N.L.**

**SEPTIEMBRE 2022**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN DE CALCIO, SILICIO Y NANOPARTÍCULAS DE HIDROXIAPATITA  
SOBRE LA CALIDAD DE HIGO (*Ficus carica* L.) PRODUCIDO EN DOS  
DENSIDADES, EN INVERNADERO**

**TESIS**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**PRESENTA**

**HÉCTOR MIGUEL AZPEITIA CASTILLO**

**GENERAL ESCOBEDO, N.L.**

**SEPTIEMBRE 2022**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN DE CALCIO, SILICIO Y NANOPARTÍCULAS DE HIDROXIAPATITA  
SOBRE LA CALIDAD DE HIGO (*Ficus carica* L.) PRODUCIDO EN DOS  
DENSIDADES, EN INVERNADERO**

**TESIS**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**PRESENTA**

**HÉCTOR MIGUEL AZPEITIA CASTILLO**

**GENERAL ESCOBEDO, N.L.**

**SEPTIEMBRE 2022**

EL COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
COMITÉ PARTICULAR

---

Ph. D. Emilio Olivares Sáenz  
Director de Tesis

---

M. C. Carlos Alberto Garza Alonso  
Codirector

---

Dr. Edgar Vladimir Gutiérrez Castorena  
Asesor

---

Ph. D. Rigoberto Eustacio Vázquez Alvarado  
Asesor

---

Dr. María del Carmen Ojeda Zacarías  
Asesor

## **DEDICATORIA**

A mis padres, que siempre han apoyado mi educación de forma incondicional. Gracias a su esfuerzo he podido cumplir todos mis sueños y metas académicas. Los admiro por ser ejemplo de grandes seres humanos y les agradezco por acompañarme en cada etapa de mi vida y por enseñarme a ser un buen hombre.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ph. D. Emilio Olivares Sáenz, por acompañarme y orientarme en el desarrollo de mi proyecto de investigación, por compartir su conocimiento y por apoyarme siempre tanto en lo académico como en lo personal.

A la Facultad de Agronomía de la UANL por abrirme sus puertas para realizar mis estudios de posgrado.

Al Centro de Agricultura Protegida y a la gente que ahí labora, por la facilitación de las instalaciones y el equipo para desarrollar mis actividades académicas.

Al Centro de Ciencias Agropecuarias de la UAA por su colaboración en mi proyecto de investigación.

Al pueblo de México quienes a través del CONACYT financiaron mis estudios de posgrado.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Hipótesis General.....	4
1.1.1. Hipótesis específica.....	4
1.2. Objetivo General.....	4
1.2.1. Objetivos específicos.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1. Historia y Origen.....	6
2.2. Taxonomía.....	6
2.3. Morfología.....	7
2.3.1. Raíz.....	7
2.3.2. Hojas.....	8
2.3.3. Tallo y ramas.....	8
2.3.4. Flor.....	8
2.3.5. Fruto.....	9
2.4. Requerimientos Edafoclimáticos.....	10
2.5. Consumo.....	10
2.6. Producción.....	11
2.7. Manejo Intensivo.....	12
2.8. Calidad Postcosecha.....	13
2.9. Nutrición Vegetal.....	14
2.9.1. Función del Ca.....	14
2.9.2. Función del Si.....	15
2.9.3. Nanotecnología.....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18

3.1. Localización del Experimento .....	18
3.2. Características del Suelo y Agua.....	19
3.3. Material Vegetal.....	20
3.4. Manejo del Cultivo.....	20
3.5. Tratamientos.....	21
3.6. Aplicación de Tratamientos.....	21
3.7. Cosecha.....	22
3.8. Variables Evaluadas.....	22
3.9. Metodologías.....	23
3.9.1. Características físicas del fruto.....	23
3.9.2. Propiedades químicas del fruto.....	24
3.9.3. Concentración mineral (Ca, Mg, K) .....	26
3.10. Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. Características Físicas del Fruto.....	28
4.1.1. Peso fresco.....	28
4.1.2. Diámetro polar y ecuatorial.....	29
4.1.3. Firmeza.....	31
4.1.4. Color.....	33
4.2. Propiedades Químicas del Fruto.....	34
4.2.1. Compuestos fenólicos.....	34
4.2.2. Capacidad antioxidante.....	35
4.3. Concentración Mineral en Hojas y Fruto.....	36
4.3.1. Concentración de minerales en hoja.....	36
4.3.2. Concentración de minerales en fruto.....	38
4.4. Densidad de Plantación.....	39
5. CONCLUSIONES.....	41
6. BIBLIOGRAFÍA.....	42

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros		Página
1	Contenido nutrimental de los frutos de higuera.....	11
2	Resultado del análisis del suelo utilizado en el experimento.....	19
3	Resultado del análisis de agua utilizada en el experimento.....	19
4	Distribución de aplicaciones y cosechas.....	21
5	Comparación de medias del peso fresco de frutos por planta, diámetro polar y diámetro ecuatorial.....	28
6	Comparación de medias de la firmeza y el color del fruto.....	31
7	Comparación de medias de los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de los frutos.....	34
8	Comparación de medias del % de Ca, Mg y K en hojas de higuera	37
9	Comparación de medias del % de Ca, Mg y K en frutos de higo....	38
10	Rendimientos obtenidos en las dos densidades.....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Invernadero tipo gótico del Centro de Agricultura Protegida de la FAUANL.....	18
2	Equipos utilizados para la determinar firmeza (a) y color (b) de frutos de higo.....	24

## RESUMEN

La higuera (*Ficus carica* L.) produce un fruto conocido como higo que se caracteriza por tener una vida de anaquel muy corta. La aplicación foliar de calcio y silicio mejora la calidad de los frutos en postcosecha y los nanofertilizantes han demostrado ser más efectivos que los fertilizantes convencionales. El objetivo del estudio fue evaluar la aplicación de calcio, silicio y nanopartículas de hidroxiapatita sobre la calidad de frutos de higuera producido en dos densidades de plantación en invernadero. La presente investigación se realizó en el Centro de Agricultura Protegida de la UANL, donde se utilizaron 24 plantas de higuera de la variedad Brown Turkey. Las variables analizadas fueron: peso fresco, diámetro polar y ecuatorial, firmeza, color, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y concentración mineral en hojas y frutos. Los tratamientos se evaluaron en un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que la aplicación de calcio, silicio y nanopartículas de hidroxiapatita incrementó el peso fresco y el tamaño de los frutos, la concentración de compuestos fenólicos y la concentración de minerales en hojas, sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos para el color y la firmeza de los frutos, ni para la concentración de minerales en fruto. En conclusión, el tratamiento de nanopartículas de hidroxiapatita tuvo el mayor efecto en las propiedades físicas y químicas de los frutos, dichos resultados son promisorios para seguir evaluando este material.

**Palabras clave:** *calidad postcosecha, densidad de plantación, nanotecnología, nutrición mineral, producción intensiva.*

## ABSTRACT

The fig tree (*Ficus carica* L.) produces a fruit known as a fig that is characterized by having a very short shelf life. The foliar application of calcium and silicon improves the quality of postharvest fruits and nanofertilizers have been shown to be more effective than conventional fertilizers. The objective of the study was to evaluate the application of calcium, silicon and hydroxyapatite nanoparticles on the quality of fig fruits produced at two greenhouse planting densities. The present investigation was carried out at the Center for Protected Agriculture of the UANL, where twenty-four fig plants of the Brown Turkey variety were used. The variables analyzed were: fresh weight, polar and equatorial diameter, firmness, color, phenolic compounds, antioxidant capacity, and mineral concentration in leaves and fruits. Treatments were evaluated in a randomized block experimental design with four replications. The results showed that the application of calcium, silicon and hydroxyapatite nanoparticles increased fresh weight and fruit size, concentration of phenolic compounds and concentration of minerals in leaves, however, there were no significant differences between treatments for color and fruits firmness, nor for concentration of minerals in fruit. In conclusion, the hydroxyapatite nanoparticles treatment had the greatest effect on the physical and chemical properties of the fruits, these results are promising to continue evaluating this material.

**Keywords:** *intensive production, mineral nutrition, nanotechnology, planting density, postharvest quality.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La higuera (*Ficus carica* L.) es una especie perteneciente a la familia *Moraceae* y es originaria de la región de Asia sudoccidental. Es considerada por diversos historiadores como la primer planta cultivada en el mundo (Pereira *et al.*, 2015; Stover *et al.*, 2007). La higuera produce un fruto blando, carnoso y de sabor dulce conocido como higo. El higo en realidad no es un fruto, sino una infrutescencia dentro de un receptáculo al que botánicamente se le llama sicono (Solomon *et al.*, 2006). El higo es apreciado en el mundo por su sabor y su gran cantidad de propiedades nutraceuticas. El fruto de higo puede consumirse ya sea fresco, deshidratado o procesado (Catraro, 2015).

Turquía es el país con la mayor producción de higo en el mundo. México hasta el año 2019, cultivaba poco más de 1,300 ha de higo, ocupando el lugar 18 en producción mundial (FAOSTAT, 2022). El higo se produce de manera convencional en huertas a cielo abierto, con un manejo extensivo y con rendimientos promedios de 6.5 t. ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2022), no obstante, en años recientes se ha optado por producirlo bajo estructuras de protección como macrotúneles o invernaderos, con altas densidades de plantación, fertirriego localizado, podas de tallos y hojas, conducción de tallos productivos y en algunos casos, en sistemas hidropónicos usando algún sustrato. La producción intensiva de higo ha incrementado los rendimientos considerablemente, llegando a superar las 100 t. ha<sup>-1</sup> en trabajos de investigación realizados en México (Mendoza *et al.*, 2017).

Los frutos de higo, una vez cosechados, tienen una vida útil muy corta, debido a que sufren alteraciones fisiológicas y microbiológicas (Crisosto *et al.*, 2011). El higo es un fruto climatérico, esto quiere decir que tiene la capacidad de seguir madurando después de ser cosechado (Catraro, 2015). Los frutos de higo son susceptibles al ataque de hongos en postcosecha y pueden perder hasta la mitad de su peso en los primeros días después de cosecharlos (Fernández, 2016). Todo esto afecta negativamente la comercialización del higo, siendo necesario buscar alternativas que permitan mejorar las características del fruto y prolongar su vida de anaquel.

Nutrientes como el calcio (Ca) y el silicio (Si) han demostrado retrasar la maduración de los frutos y mejorar sus propiedades. El Ca es un nutriente esencial para las plantas y tiene un papel importante en la división celular y el crecimiento de los frutos (Wang *et al.* 2021). El Ca forma parte de la estructura de la pared celular y protege a la célula de la degradación enzimática. Aplicaciones de Ca brindan mayor firmeza a los frutos y retrasan su maduración (White y Broadley, 2003). El cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) es el fertilizante más utilizado en frutos para preservar su vida útil en postcosecha (Manganaris *et al.*, 2007). Por su parte, el Si es un nutriente considerado benéfico para las plantas y específicamente para los frutos. El Si mejora la acumulación de biomasa y el fortalecimiento de tejidos, brindándole a la planta resistencia a factores bióticos y abióticos (Ma *et al.*, 2001). El Si mejora la absorción de otros nutrientes y ha demostrado retrasar la maduración de los frutos y mejorar sus propiedades fisicoquímicas (Peris *et al.*, 2020; Marodin *et al.*, 2016). La aplicación foliar de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) podría prolongar la vida útil de frutos de higo y mejorar sus propiedades.

Los nanofertilizantes han resultado ser más eficientes que los fertilizantes convencionales. Las nanopartículas, debido a su tamaño, presentan una mayor superficie específica cuando se aplican, por lo que su reactividad es mayor (Ranjbar *et al.*, 2019). Las nanopartículas de hidroxiapatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ) también conocidas como nanofosfato de calcio es considerado uno de los materiales más promisorios para aplicarse como fertilizante en la agricultura por su alto contenido de Ca (Kottegoda *et al.*, 2017; Flores *et al.*, 2019). El presente trabajo es el primer estudio realizado en cultivos agrícolas para la validación de las nanopartículas de hidroxiapatita. El uso de nanopartículas que contengan Ca puede ser una alternativa para prolongar la vida útil de frutos de higo y mejorar sus propiedades fisicoquímicas.

El cultivo de higo en México tiene un gran potencial como sistema de producción intensivo, por lo que es importante enfocar los esfuerzos en mejorar la calidad postcosecha de los frutos (Fernández, 2016). El objetivo de este trabajo es evaluar la aplicación de calcio, silicio y nanopartículas de hidroxiapatita sobre la calidad de frutos de higo.

## **1.1. Hipótesis General**

La aplicación de calcio, silicio y nanopartículas de hidroxiapatita mejorará la calidad de los frutos de higuera producidos en dos densidades de plantación, en invernadero.

### **1.1.1. Hipótesis específicas**

-La aplicación de calcio, silicio y nanopartículas de hidroxiapatita mejorarán las características físicas y propiedades químicas de frutos de higuera producidos en invernadero.

-La aplicación de calcio, silicio y nanopartículas de hidroxiapatita aumentará la concentración mineral (Ca, Mg y K) en hojas y frutos de higuera producidas en invernadero.

-La densidad de plantación tiene efecto sobre el rendimiento de las higueras establecidas en invernadero.

## **1.2. Objetivo General**

Evaluar la aplicación de calcio, silicio y nanopartículas de hidroxiapatita sobre la calidad de frutos de higuera producidos en dos densidades de plantación en invernadero.

### **1.2.1. Objetivos específicos**

-Evaluar las características físicas en postcosecha (peso fresco, diámetro polar y ecuatorial, firmeza y color) de frutos de higuera tratados con calcio, silicio y nanopartículas de hidroxiapatita.

- Evaluar las propiedades químicas (compuestos fenólicos y capacidad antioxidante) en frutos de higuera tratados con calcio, silicio y nanopartículas de hidroxiapatita.
- Determinar la concentración mineral (Ca, Mg y K) en hojas y frutos de plantas de higuera tratadas con calcio, silicio y nanopartículas de hidroxiapatita.
- Evaluar el efecto de dos densidades de plantación sobre el rendimiento de las higueras establecidas en invernadero.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Historia y Origen

La higuera (*Ficus carica* L.) tiene como origen la región de Asia sudoccidental y es considerada como la primera especie cultivada por el hombre (Pereira *et al.*, 2015; Stover *et al.*, 2007). Existen registros que el cultivo de la higuera fue mencionado por el Rey Urukagina en la era sumeria cerca del 2,900 a.C. Se le dio el nombre de *carica* en referencia a la antigua región de Caria en Asia menor, región que actualmente pertenece al país de Turquía (Prataviera y Godoy, 1985).

La higuera fue cultivada por distintas civilizaciones quienes consideraban al fruto de higo como alimento fundamental para sus poblaciones. Los fenicios, griegos y romanos contribuyeron a la difusión de la higuera por toda la Cuenca del Mediterráneo y el resto de Asia y África. En algunas regiones de Asia sudoccidental y el Mediterráneo, hoy en día puede encontrarse a la planta de higuera como especie silvestre e incluso puede llegar a ser considerada una maleza (Prataviera y Godoy, 1985; Zohary *et al.*, 2012).

### 2.2. Taxonomía

La Integrated Taxonomic Information System (ITIS, 2022), clasifica la planta de higuera de la siguiente manera:

Reino: *Plantae*

Subreino: *Viridiplantae*

Infrareino: *Streptophyta*

Superdivisión: *Embryophyta*

División: *Tracheophyta*

Subdivisión: *Spermatophytina*

Clase: *Magnoliopsida*

Superorden: *Rosanae*

Orden: *Rosales*

Familia: *Moraceae*

Género: *Ficus*

Especie: *Ficus carica* L.

### **2.3. Morfología**

La higuera es un árbol que puede alcanzar los 10 m de altura cuando las condiciones son adecuadas; la forma de la copa es globosa y ancha, en condiciones desfavorables adopta forma de arbusto y es considerada una planta muy longeva (Melgarejo, 2000). Además, la higuera pierde sus hojas cuando se presentan heladas, sin embargo, en climas cálidos puede retener sus hojas permanentemente. Las partes verdes de esta especie contienen látex color blanco y cuando es adulta produce madera color gris claro (Flores, 1990).

#### **2.3.1. Raíz**

El sistema radical es del tipo fasciculado, por lo que puede explorar grandes superficies y profundidades. Las raíces son robustas, extensas y superficiales. La mayoría de las raíces se localizan en los primeros 20 a 40 cm de profundidad (Flores, 1990). Su sistema radicular le permite soportar periodos largos de sequía (Melgarejo, 2000).

### **2.3.2. Hojas**

Las hojas miden de 10 a 20 cm, son palmeadas, alternas y con grandes estípulas, se insertan en un peciolo largo y grueso. Las hojas están divididas y acorazonadas en la base y pueden tener de tres a cinco lóbulos y nervaduras palmeadas y marcadas. El haz es de color verde intenso brillante y áspero debido a la presencia de tricomas fuertes y rígidos. El envés es reticulado, presenta también tricomas y tiene un color más claro que el haz (Flores, 1990; Melgarejo, 2000).

### **2.3.3. Tallo y ramas**

La madera de los tallos y las ramas es poco densa, frágil y elástica, tienden a curvarse de manera natural y en ellos se presentan nudos abultados. En la base del tallo se producen brotes secundarios (chupones) que deberán eliminarse debido a que estos no producen frutos, solo crecen vegetativamente. Además, los tallos y ramas pueden presentar protuberancias en la parte baja, las cuales pueden generar raíces nuevas si se les cubre con algún sustrato, generando una nueva planta (Flores, 1990; Melgarejo, 2000).

### **2.3.4. Flor**

Las flores no son expuestas, están contenidas en interior de una estructura carnosa llamada sicono. Las flores son muy pequeñas y no se aprecian a simple vista (Melgarejo, 2000). La mayoría de las variedades de higuera no requieren ser polinizadas por insectos, sus flores se consideran hermafroditas, al autopolinizarse sin que ocurra fecundación (Flores, 1990).

### 2.3.5. Fruto

El fruto que produce la higuera se le conoce como higo, aunque en realidad no es un fruto verdadero. Botánicamente, el higo es un conjunto de aquenios agrupados al interior de un receptáculo carnoso formando una infrutescencia a la que se le conoce como sicono (Solomon *et al.*, 2006; Flores, 1990). Los verdaderos frutos son muy pequeños y duros, y se encuentran dentro del sicono, el cual es blando, carnoso y dulce, presenta diferentes formas y colores dependiendo la variedad. Los higos presentan un orificio en la base al que se le conoce como ostiolo (Melgarejo, 2000).

Las higueras pueden ser uníferas o bíferas, dependiendo del número de cosechas que produzca por año. Los frutos que pasan latentes en invierno maduran en primavera y se les llama brevas, mientras que los frutos que maduran en verano en ramas desarrolladas ese mismo año se conocen como higos, aunque no exista alguna diferencia morfológica entre estos dos (Flores, 1990).

Algunos autores han descrito más de 600 variedades de higo en el mundo, de las cuales solo 46 se producen de forma comercial. Las variedades comerciales más producidas son: Black Mission, Brown Turkey, Conadria, Kadota, Adriatic y Sarylop (Condit, 1955; Crisosto *et al.*, 2010).

La variedad Brown Turkey produce un fruto en forma de pera que destaca por su gran tamaño, tiene cáscara de color bronce y pulpa de color ámbar, además de un ostiolo de tamaño mediano. La variedad Brown Turkey se consume fresca o procesada y se produce principalmente en Israel, Italia, Estados Unidos y en años recientes en México en sistemas intensivos (Polat y Caliskan, 2008; Crisosto *et al.*, 2010).

## **2.4. Requerimientos Edafoclimáticos**

La planta de higuera se adapta a una gran variedad de climas y suelos, por lo que puede estar presente en casi todas las regiones del mundo.

La higuera puede crecer en suelos desde gruesos y arenosos, hasta pesados y arcillosos, además tolera suelos ácidos y alcalinos, aunque prefiere suelos calcáreos, no obstante, la higuera tiene mayor productividad en suelos fértiles, profundos, bien drenados y con alto contenido de materia orgánica (Kurubar *et al.*, 2013). Esta planta tiene buena resistencia a la salinidad y pocas exigencias hídricas, requiere de 700 mm de agua al año para producir higos de calidad y no tolera suelos húmedos (Melgarejo, 2000).

La higuera puede desarrollarse exitosamente en una gran diversidad de climas, aunque prefiere el clima mediterráneo. Esta planta requiere de unas 4000 unidades calor para la maduración de los higos y de 100 a 300 horas frío para salir del reposo invernal. En regiones cálidas los higos maduran rápidamente, mientras que, en regiones templadas, las hojas de la higuera se caen durante el invierno y la planta entra en estado de latencia, para soportar periodos largos de frío intenso (Melgarejo, 2000).

## **2.5. Consumo**

El higo es un fruto de gran importancia a nivel mundial, apreciado principalmente por su sabor y su alto contenido nutrimental (Cuadro 1). El consumo de higo se realiza ya sea en fresco, deshidratado o procesado (Catraro, 2015).

Cuadro 1. Contenido nutrimental de los frutos de higuera.

<b>Componente del fruto fresco</b>	<b>Cantidad (100 g de porción)</b>
% de agua	79.11
Energía	74 kcal
Proteína	0.75 g
Carbohidratos	19.18 g
Grasa total	0.3 g
Fibra dietética total	2.9 g
Colesterol	0.0 mg
Calcio	35 mg
Fosforo	14 mg
Hierro	0.07 mg
Potasio	232 mg
Magnesio	17 mg
Sodio	1 mg
Zinc	0.15 mg

INCAP (2012)

El higo tiene una gran cantidad de propiedades nutraceuticas. Los frutos de higo contienen altos niveles de glucosa y fructosa, así como abundancia de ácido cítrico. El higo es considerado una de las frutas con más alto nivel de azúcar y fibra dietética. (Mars *et al.*, 2017). El fruto de higo cuenta con más de 50 metabolitos secundarios, además es una excelente fuente de vitaminas, minerales, aminoácidos, antioxidantes y polifenoles, son bajos en sodio y no tienen grasa ni colesterol (Caliskan, 2012; Solomon *et al.*, 2006).

## 2.6. Producción

La producción mundial de higo, hasta el año 2018, era de 1.14 millones de toneladas y 301,090 hectáreas cultivadas. Turquía es el país con la mayor producción de higo en el mundo, seguido de Egipto, Argelia, Irán y Marruecos. Los principales países

importadores de higo son Francia, Alemania, Rusia, Suiza, Estados Unidos, Japón e India. México se encuentra en el lugar 18 de producción de higo en el mundo y es el tercero en América, seguido de Estados Unidos y Brasil (FAOSTAT, 2022).

La planta de higuera llegó al continente americano poco después de su descubrimiento, hacia el año 1520 (Prataviera y Godoy, 1985; Condit, 1955). Hasta el 2019, México cultivaba 1,322 ha de higuera con rendimientos promedio de 6.5 t ha<sup>-1</sup>. Los principales estados productores son Morelos, Veracruz, Michoacán, Puebla y Baja California Sur (SIAP, 2022). El cultivo de higuera en México ha tenido un crecimiento importante en los últimos años. Se ha optado por producirlo de manera intensiva en condiciones protegidas, llegando a alcanzar rendimientos que superan las 100 t. ha<sup>-1</sup> de higo (Mendoza *et al.*, 2017).

## **2.7. Manejo Intensivo**

El cultivo de higueras se produce de manera convencional en huertas a campo abierto, con distancias entre plantas de entre 3 y 6 m, con podas mínimas o nulas y con un manejo extensivo, llegando a producir en promedio 6.5 t. ha<sup>-1</sup> bajo este sistema (SIAP, 2022). Sin embargo, en años recientes se ha intensificado la producción en sistemas de agricultura protegida, con altas densidades de plantación, fertirriego localizado, podas anuales y en verde de tallos y hojas, conducción de tallos productivos y en algunos casos, en sistemas hidropónicos usando algún sustrato. En México, en los últimos años se han iniciado proyectos para cultivar higueras en macrotúneles o invernaderos, donde se han obtenido rendimientos que van desde las 40 hasta las más de 100 t. ha<sup>-1</sup> (Mendoza *et al.*, 2017; Márquez y Figueroa, 2019).

## 2.8. Calidad Postcosecha

El higo se caracteriza por ser un fruto blando, con una epidermis muy delgada y es altamente perecedero debido a su alta actividad metabólica (Crisosto *et al.*, 2011). El proceso de maduración del higo inicia en la planta y continúa después de la cosecha debido a que es un fruto climatérico (Catraro, 2015). En el proceso de maduración se origina la desintegración de pectinas y otros polisacáridos, dando como resultado la pérdida de firmeza o el ablandamiento del fruto (Villalobos, 2015). El higo llega a perder la mitad de su peso en los primeros 5 días después de ser cosechado, para este día, el fruto ya no es viable para su consumo fresco (Fernández, 2016).

Las características del fruto de higo hacen que su recolección y manejo postcosecha sean complicados, además de hacerlos susceptibles al ataque de hongos y a daños mecánicos, influyendo negativamente en su comercialización (Irfan *et al.*, 2013).

Es necesario buscar alternativas que permitan retrasar la maduración del fruto y mejorar sus propiedades, por ejemplo, la aplicación de nutrimentos como el Ca y el Si, que tienen efectos benéficos sobre las propiedades de los frutos; la selección y propagación vegetativa de plantas que produzcan frutos con mayor firmeza; determinar el momento óptimo de cosecha, donde el fruto presente la madurez adecuada para tolerar su manipulación sin que se comprometa su sabor; así mismo, evaluar el empaque y la forma en que se comercializan los frutos (Crisosto *et al.*, 2011).

## **2.9. Nutrición Vegetal**

Las plantas superiores requieren una serie de nutrimentos para crecer y desarrollarse de manera óptima. Algunos de estos nutrimentos son esenciales en todas las especies vegetales para completar su ciclo de vida y cumplen una función específica, mientras que otros, son considerados beneficios ya que tienen efectos positivos en las plantas cuando se aplican (Alcantar y Trejo, 2009).

Existen diferentes técnicas para nutrir a las plantas cultivadas. La fertilización foliar es una herramienta que permite proporcionar los nutrimentos a los órganos de la planta de manera más eficiente. Los nutrimentos se aplican de manera foliar cuando no están disponibles en el suelo o cuando por alguna razón son deficientes en la planta. Los nutrimentos penetran la cutícula de la hoja o el estoma para entrar a la célula y posteriormente se translocan al órgano donde serán utilizados por la planta (Alcantar y Trejo, 2009).

### **2.9.1. Función del Ca**

El calcio (Ca) es un macronutriente esencial para las plantas y realiza importantes funciones estructurales y de señalización (Sharma *et al.*, 2017), este es absorbido por la planta en forma de  $\text{Ca}^{2+}$  y se mueve a través del xilema hasta el sitio donde desempeñara su función. La movilidad del Ca en la planta es limitada, por lo tanto, los síntomas de deficiencia se observan en tejidos y órganos que tienen bajas tasas de transpiración, como hojas jóvenes y frutos (Wang *et al.* 2021).

El Ca estabiliza el complejo proteína-pectina y forma péctato de calcio, el cual actúa como un aglutinante intermolecular en la lámina media que mantiene unidas las paredes celulares y las protege de la degradación enzimática (White y Broadley, 2003). El Ca regula la división y el alargamiento celular, relacionado con el crecimiento de los frutos. La deficiencia de Ca tiene como resultado frutos con menor firmeza y con piel y pulpa más propensos a la descomposición. Un buen suministro de calcio retrasa la maduración de los frutos y mejora sus características en postcosecha (Wang *et al.* 2021).

Aplicaciones de Ca antes y después de la cosecha han mostrado tener efecto positivo sobre las propiedades y la vida de anaquel de una gran cantidad de cultivos frutales y hortícolas. El cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) es el fertilizante más utilizado para preservar la calidad y la vida útil de los frutos durante su almacenamiento (Manganaris *et al.*, 2007).

### **2.9.2. Función del Si**

El silicio (Si) es un nutrimento benéfico para las plantas. El Si es el elemento más abundante del planeta después del oxígeno, sin embargo, está escasamente disponible. El dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), forma silicatos insolubles y complejos con Mg, Ca, Na, Al, etc. (Alcantar y Trejo, 2009).

El papel del Si en el metabolismo de las plantas no está del todo claro, sin embargo, cada vez son más los trabajos que demuestran los efectos estructurales y bioquímicos que tiene el Si en los cultivos. Este participa en la regulación de nutrientes, se acumula en las paredes celulares y promueve la acumulación de biomasa y el fortalecimiento de los tejidos, brindando a la planta resistencia frente a factores bióticos y abióticos,

además de producir cultivos más robustos y con un mejor comportamiento en postcosecha (Ma *et al.*, 2001). En el cultivo de higuera se han encontrado efectos benéficos del Si en cuanto al desarrollo vegetativo de la planta (Garza *et al.*, 2022).

El Si tiene efectos benéficos en los frutos, al causar un efecto similar al que produce el Ca, ya que mejora las características físicas y propiedades químicas de los frutos. La aplicación de Si al cultivo de fresa aumentó la vida de anaquel de los frutos 1.5 días (Peris *et al.*, 2020), así mismo, incremento la calidad postcosecha de tomates (Marodin *et al.*, 2016). Por lo anterior, la aplicación foliar de SiO<sub>2</sub> podría mejorar la calidad de frutos de higo y retrasar su maduración en postcosecha.

### **2.9.3. Nanotecnología**

La nanotecnología aplicada al sector agroalimentario es uno de los campos de más rápido crecimiento. La aplicación de nutrimentos de base nanométrica como fertilizantes, es una alternativa para mejorar la producción de cultivos, al tiempo que se reducen los costos de producción y el impacto ambiental (Lira *et al.*, 2018).

La aplicación de nanofertilizantes de manera eficiente y segura se logra si se estudian sus efectos en el metabolismo de la planta y la manera en que los nutrimentos se liberan y acumulan. Los nanofertilizantes controlan la velocidad de liberación de los nutrimentos para que solo se libere lo que las plantas consuman, reduciendo las lixiviaciones y otras formas de pérdida de fertilizantes con la consecuente reducción de costos y contaminación (Marchiol *et al.*, 2019; Flores *et al.*, 2019). Las nanopartículas, debido a su tamaño, presentan una mayor superficie específica cuando se aplican, por lo que su reactividad es mayor (Ranjbar *et al.*, 2019).

Las nanopartículas de hidroxiapatita ( $\text{Ca}_5 (\text{PO}_4)_3 \text{OH}$ ), también conocidas como nanofosfato de calcio, son considerados como uno de los materiales más promisorios para aplicarse como fertilizante en la agricultura por su alto contenido de Ca (Kottegoda *et al.*, 2017; Flores *et al.*, 2019). Actualmente no se han realizado estudios en cultivos agrícolas para la validación de este material. El uso de nanopartículas que contengan Ca puede ser una alternativa para prolongar la vida útil de frutos de higo y mejorar sus propiedades.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización del Experimento

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Centro de Agricultura Protegida de la Facultad de Agronomía de la UANL, localizado en el Campus de Ciencias Agropecuarias en el municipio de Gral. Escobedo, Nuevo León, ubicado a  $25^{\circ} 47' 07''$  latitud Norte y  $100^{\circ} 17' 03''$  longitud Oeste, con altitud de 510 msnm (INEGI, 2022). El clima de la región es semiárido, con una precipitación media anual de 500 mm y una temperatura media anual de  $23^{\circ}\text{C}$  (SMN, 2022).

El experimento se estableció en un invernadero de tipo gótico, con una superficie de  $1,000\text{ m}^2$  y una altura aproximada de 4.5 m a la canaleta y 6.0 m a la cenital, estando su parte más alta a los 7.5 m. El invernadero es considerado de tecnología media-baja (Figura 1).



Figura 1. Invernadero tipo gótico del Centro de Agricultura Protegida de la FAUANL.

### 3.2. Características del Suelo y Agua

Los análisis del suelo y el agua utilizados en el experimento se muestran en los Cuadros 2 y 3. El suelo tiene una textura arcillosa, pH alcalino, niveles altos de salinidad y un adecuado contenido de materia orgánica, mientras que el agua contiene baja salinidad, cantidades moderadas de Ca y Mg y un nivel de bicarbonatos aceptable.

Cuadro 2. Resultado del análisis del suelo utilizado en el experimento.

<b>Análisis de suelo</b>	<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>
pH	7.9	-----
CE	5.21	dS.m <sup>-1</sup>
Textura	Arcilloso	-----
MO	2.48	%
N	0.21	meq.100 gr <sup>-1</sup>
P	72.9	ppm
K	0.41	meq.100 gr <sup>-1</sup>
Ca	14.85	meq.100 gr <sup>-1</sup>
Mg	5.86	meq.100 gr <sup>-1</sup>

Cuadro 3. Resultado del análisis de agua utilizada en el experimento.

<b>Análisis de agua</b>	<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>
pH	7.62	-----
CE	0.75	dS.m <sup>-1</sup>
Ca	5.3	meq.L <sup>-1</sup>
Mg	2.2	meq.L <sup>-1</sup>
CO <sub>3</sub>	0	meq.L <sup>-1</sup>
HCO <sub>3</sub>	3.6	meq.L <sup>-1</sup>
Cl	2.5	meq.L <sup>-1</sup>
SO <sub>4</sub>	1.4	meq.L <sup>-1</sup>
Na	0	meq.L <sup>-1</sup>
∑ de cationes	7.5	meq.L <sup>-1</sup>
∑ de aniones	7.5	meq.L <sup>-1</sup>

### **3.3. Material Vegetal**

El material vegetal consistió en 24 plantas de higuera de la variedad Brown Turkey establecidas en suelo bajo condiciones de invernadero. Los higos de la variedad Brown Turkey son de gran tamaño, pesan en promedio 50 g y tienen piel color marrón rojizo y pulpa color ámbar.

### **3.4. Manejo del Cultivo**

Las plantas de higuera se desbrotaron para dejar únicamente 8 tallos por planta. Las plantas se establecieron en dos densidades de plantación, la densidad uno fue de 1 m de distancia entre plantas y 1.8 m entre surcos dando un total de 44,444 tallos. ha<sup>-1</sup> y la densidad dos fue de 1.5 m de distancia entre plantas y 1.8 m entre surcos dando un total de 29,629 tallos. ha<sup>-1</sup>.

Los tallos se entutoraron con rafia y cuando alcanzaron los 3 m de altura, se eliminó la yema apical para detener su crecimiento. El deshoje se realizó eliminando las hojas inferiores al último fruto cosechado de cada tallo.

El riego se aplicó por medio de cintilla de goteo en diferentes cantidades e intervalos de tiempo de acuerdo con la evapotranspiración diaria. Los bicarbonatos del agua se neutralizaron con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para evitar la formación de precipitados con Ca y Mg y la obstrucción de los orificios en la cintilla de riego.

El control de plagas y enfermedades se realizó según el tipo de problema presente, utilizando productos orgánicos y productos químicos de baja residualidad.

### 3.5. Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron:

- T1. Testigo (agua desionizada)
- T2. CaCl<sub>2</sub> en solución (214 ppm de Ca)
- T3. SiO<sub>2</sub> en solución (233 ppm de Si)
- T4. CaCl<sub>2</sub> + SiO<sub>2</sub> (214 ppm de Ca + 233 ppm de Si)
- T5. Producto Neostren en solución al 2.5% (214 ppm de Ca + 233 ppm de Si)
- T6. Nanopartículas de hidroxiapatita en solución (214 ppm de Ca)

### 3.6. Aplicación de Tratamientos

Las aplicaciones se realizaron 9 veces en intervalos de 7 y 14 días durante el periodo de maduración de los frutos (Cuadro 4), vía foliar al follaje y al fruto desde la aparición de los primeros cerillos hasta 15 días antes de cosechar el primer fruto para análisis. Las soluciones aplicadas se ajustaron a pH de 5.5 con ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Las soluciones se mezclaron con un surfactante (2 ml.L<sup>-1</sup>) para una aplicación más eficiente.

Cuadro 4. Distribución de aplicaciones y cosechas.

<b>Mes</b>	<b>Abril</b>			<b>Mayo</b>			<b>Junio</b>		
<b>Día</b>	21	28	5	12	19	26	2	9	16
<b>Aplicación</b>	-	X	-	X	-	X	X	X	X
<b>Cosecha</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Mes</b>	<b>Junio</b>		<b>Julio</b>			<b>Agosto</b>			
<b>Día</b>	23	30	7	14	21	28	4	11	18
<b>Aplicación</b>	X	X	-	X	-	-	-	-	-
<b>Cosecha</b>	-	-	-	-	-	X	X	X	-

La "X" señala el día del mes en que se realizó la aplicación o cosecha.

### **3.7. Cosecha**

La cosecha se realizó cuando los frutos presentaban el 50% de coloración marrón, establecido como el punto óptimo de maduración. Los frutos analizados fueron los de la parte media de la planta, cosechados durante 3 semanas (Cuadro 4), los cuales recibieron todas las aplicaciones de los tratamientos. El periodo de cosecha fue de principios de julio a mediados de octubre, dando un total 3.5 meses de cosecha. Las hojas para análisis de concentración de minerales se recolectaron al mismo tiempo que se realizaba la cosecha de los frutos y se eligieron las más cercanas a los frutos cosechados, buscando la mayor representatividad del estado nutricional del fruto.

### **3.8. Variables Evaluadas**

#### **Características físicas del fruto**

- Peso fresco
- Diámetro polar y ecuatorial
- Firmeza (Texturometro)
- Color (Colorímetro)

#### **Propiedades químicas del fruto:**

- Compuestos fenólicos (Folin-Ciocalteu)
- Capacidad antioxidante (ABTS)

#### **Concentración mineral (Ca, Mg, K):**

- Concentración mineral en hojas
- Concentración mineral en frutos

### **3.9. Metodologías**

#### **3.9.1. Características físicas del fruto**

Las variables de peso fresco y diámetro polar y ecuatorial se midieron en el Laboratorio de Suelos del Centro de Agricultura Protegida de la FAUANL. Las mediciones se realizaron sobre todos los frutos que recibieron aplicación de tratamientos. Los frutos se pesaron y midieron de manera individual inmediatamente después de ser cosechados. El peso fresco de los frutos se midió con una balanza digital marca Adam y el diámetro polar y ecuatorial con un vernier digital marca Steren HER-411.

Las variables de firmeza y color se midieron en el Laboratorio de Mecánica de Alimentos de la FAUANL. Las mediciones se realizaron sobre 16 frutos por tratamiento inmediatamente después de ser cosechados. La firmeza se determinó con un texturómetro TAXT.PLUS con un punzón de 5 mm de acero inoxidable. Los frutos fueron colocados de manera transversal y penetrados en la parte media a una velocidad de  $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  y a una distancia de 15 mm (Figura 2a). Los resultados se expresan en Newtons (N). El color del fruto se determinó directamente con un colorímetro portátil SPEC. CHIN HP-2132 (Figura 2b). La lectura se realizó en la parte media del fruto. Los resultados de color se expresaron con los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  de acuerdo con lo recomendado por la International Commission on Illumination.

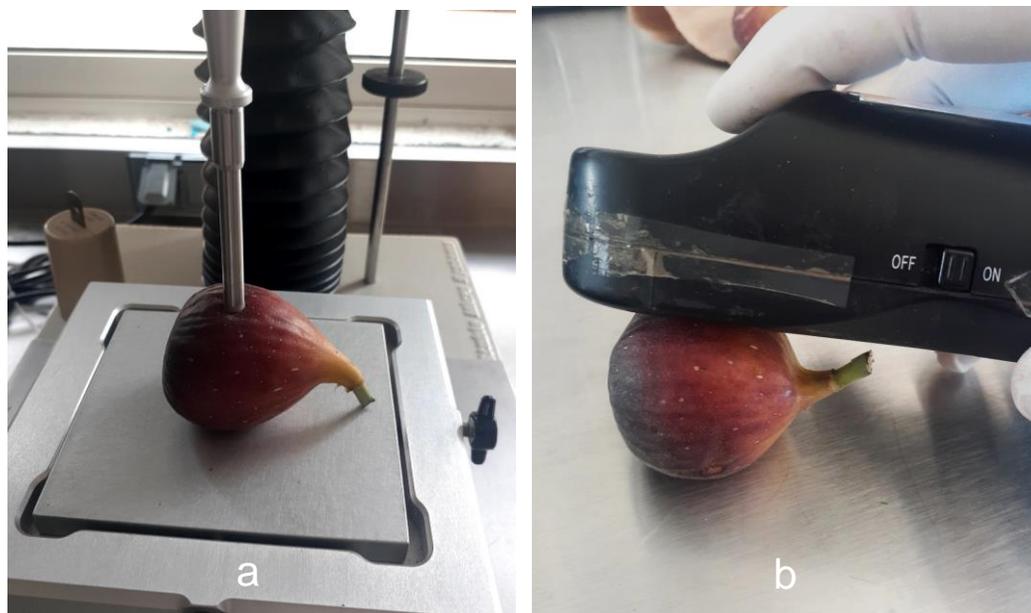


Figura 2. Equipos utilizados para determinar firmeza (a) y color (b) de frutos de higo.

### 3.9.2. Propiedades químicas del fruto

Las variables de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante se determinaron en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos del Centro de Ciencias Agropecuarias de la UAA. Los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante se determinaron considerando el fruto completo (pulpa y piel). Las mediciones se realizaron sobre cuatro frutos por tratamiento.

Para la extracción de compuestos solubles, se pesaron 5 g de muestra y se licuaron con 50 ml de metanol al 80% durante 30 segundos. La mezcla se filtró en tela de organza para separar el material insoluble. Posteriormente, la solución filtrada fue colocada en un tubo Falcon de 50 ml y centrifugada a 4500 rpm durante 5 minutos. El sobrenadante fue recuperado y almacenado en oscuridad a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Los compuestos fenólicos totales se determinaron con el método de Folin-Ciocalteu descrito por Andrés *et al.* (2010). Se tomaron 250  $\mu$ l del sobrenadante procedente de la extracción y se colocaron en matraces de 25 ml. Se añadieron 15 ml de agua desionizada y 1.25 ml del reactivo Folin-Ciocalteu. Se homogenizó el contenido de los matraces y se dejó reposar 8 min en oscuridad. Posteriormente, se añadieron 3.75 ml de carbonato sódico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) al 10% y aforaron a 25 ml con agua destilada. Se homogenizaron los matraces y se mantuvieron en oscuridad a temperatura ambiente durante 2 horas. Finalmente, se midió la absorbancia a 765 nm. Los cálculos se realizaron por medio de una recta de calibración de ácido gálico en un rango de 0 a 50 ppm ( $R^2=0.991$ ). La concentración de compuestos fenólicos fue reportada como mg equivalentes de ácido gálico por kg de muestra ( $\text{mg GAE kg}^{-1}$ ).

La capacidad antioxidante se determinó por el método ABTS+ descrito por Prior *et al.* (2005). El radical ABTS+ se obtuvo mezclando partes iguales de la solución de Abts 7 mM con la solución de persulfato potásico 2.45 mM ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ). La mezcla se mantuvo en oscuridad a temperatura ambiente durante 16 horas. La solución de ABTS+ se diluyó con metanol al 96% para obtener una absorbancia de  $0.8 \pm 0.02$ , esto se consiguió mezclando 2.5 ml de la solución del radical con 99 ml de metanol.

La determinación se realizó tomando 10  $\mu$ l del sobrenadante procedente de la extracción y se colocó en tubos Eppendorf para centrifuga de 1.5 ml. Posteriormente, se añadió 1 ml de solución ABTS+. Se homogenizó el contenido de los tubos y se dejó reposar 5 min en oscuridad. Finalmente, se midió la absorbancia a 734 nm. Los cálculos se realizaron obteniendo el % de inhibición, producto del coeficiente entre la absorbancia del blanco y las muestras. El % de inhibición obtenido se transformó a

ppm por medio de una recta de calibración de Trolox en un rango de 0 a 500 ppm ( $R^2=0.962$ ). Los resultados fueron reportados como mmol equivalentes de Trolox por kg de muestra ( $\text{mmol TE. kg}^{-1}$ ).

### **3.9.3. Concentración mineral (Ca, Mg, K)**

La concentración mineral en hojas y frutos se determinó en el Laboratorio de Análisis de Suelo y Agua del Centro de Ciencias Agropecuarias de la UAA. Los análisis se realizaron sobre cuatro frutos y cuatro hojas de la parte media de la planta, los cuales recibieron el total de las aplicaciones de los tratamientos.

Las hojas y frutos se colocaron en un horno de secado a una temperatura de  $65^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante y posteriormente se trituraron en un mortero de porcelana. Se pesaron 2 g de materia seca de hoja y 1 g de materia seca de fruto y se colocaron en crisoles de porcelana. Los crisoles se colocaron en una mufla de la Felisa modelo FE-340 a  $550^{\circ}\text{C}$  hasta llegar a ceniza blanca.

La ceniza se colocó en matraces de 50 ml y se sometió a una digestión ácida añadiendo 5 ml de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y agua destilada hasta un volumen de 50 ml. Las soluciones obtenidas se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC AVANTA  $\Sigma$ . Los resultados se expresaron en % del elemento por kg de materia seca ( $\%. \text{Kg MS}^{-1}$ ).

### **3.10. Diseño Experimental y Análisis Estadístico**

El experimento se estableció en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones.

El criterio de bloqueo se estableció considerando la densidad de plantación y el gradiente longitudinal del invernadero.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa SPSS.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Características Físicas del Fruto

#### 4.1.1. Peso fresco

El análisis de varianza para el peso fresco de frutos por planta mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $p=0.037$ ). La comparación de medias indicó que el tratamiento testigo tuvo menor peso fresco de frutos por planta en comparación con los tratamientos que contenían Ca y/o Si. El tratamiento de nanopartículas de hidroxiapatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ) fue el que presentó mayor peso fresco de frutos por planta, sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos que aportaban Ca y/o Si (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación de medias del peso fresco de frutos por planta, diámetro polar y diámetro ecuatorial.

Tratamiento	PFFP (Kg. planta <sup>-1</sup> )	DP (mm)	DE (mm)
Testigo	6.625 b	48.618 b	43.146 b
CaCl <sub>2</sub>	10.323 a	50.523 a	45.486 a
SiO <sub>2</sub>	10.694 a	47.889 b	44.745 ab
CaCl <sub>2</sub> + SiO <sub>2</sub>	10.187 a	49.143 a	44.717 ab
Neostren	10.421 a	49.589 ab	44.329 ab
Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH	10.824 a	49.399 ab	45.071 a

PFFP = Peso fresco de frutos por planta; DP = diámetro polar de fruto; DE = diámetro ecuatorial de fruto. Letras diferentes indican diferencia significativa entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

Algunos autores han reportado el incremento del peso fresco de los frutos con aplicaciones foliares de Ca y/o Si. Ranjbar *et. al.* (2019) reportaron un aumento en el peso de manzanas tratadas con nanopartículas de Ca y CaCl<sub>2</sub>, siendo superior el

tratamiento de nanopartículas de Ca. Garza *et al.* (2020) encontraron pérdida de peso en frutos de higo con deficiencia de Ca inducida, por lo que se esperaría que la aplicación de este nutrimento incrementa el peso fresco del fruto. Por su parte, Kurubar *et al.* (2013) encontró que la aspersion foliar de  $\text{CaCl}_2$  (1%) a higueras 10 días antes de la cosecha, mostró la menor pérdida de peso a temperatura ambiente y bajo condiciones de almacenamiento en frío. El Ca tiene un papel importante como regulador de la división y el alargamiento celular y se le relaciona con el crecimiento y desarrollo de los frutos, por lo tanto, la aplicación de Ca tiene como efecto el aumento del peso de los frutos (Wang *et al.* 2021).

Reyes (2018) en un trabajo de investigación donde aplicó de manera foliar diferentes concentraciones de  $\text{CaCl}_2$  a frutos de higo, no encontró diferencias significativas en el peso fresco. Estos resultados contrastan con los obtenidos en esta investigación, donde los tratamientos que contenían  $\text{CaCl}_2$  presentaron mayores valores de peso fresco de frutos por planta respecto al tratamiento testigo.

#### **4.1.2. Diámetro polar y ecuatorial**

Los diámetros polar y ecuatorial también resultaron con diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo con el análisis de varianza ( $p=0.004$  y  $p=0.012$ , respectivamente). La comparación de medias para estas variables mostró menores tamaños de fruto en el tratamiento testigo. Los mayores tamaños de fruto fueron encontrados en los tratamientos de Neostren (Ca + Si) y nanopartículas de hidroxiapatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ) (Cuadro 5).

El tamaño de los frutos presentó la misma tendencia que el peso fresco de los frutos. Garza *et al.* (2020), observaron los menores tamaños de frutos de higo cuando se omitió la aplicación de Ca a la solución nutritiva. Ranjbar *et al.* (2019) encontraron en manzanas a las que se les aplicó nanopartículas de Ca y  $\text{CaCl}_2$ , que los frutos presentaron mayor longitud y diámetro en comparación con el tratamiento testigo, siendo las nanopartículas de Ca superiores a los demás tratamientos. Por su parte, Reyes (2018) no reportó diferencias significativas en el diámetro polar y ecuatorial de higos tratados con  $\text{CaCl}_2$ , contrario a lo obtenido en esta investigación donde los tratamientos que contenían  $\text{CaCl}_2$  incrementaron el tamaño de los frutos.

El tratamiento de nanopartículas de hidroxiapatita presentó el mayor tamaño de fruto comparado con los demás tratamientos que contenían Ca y/o Si, aunque la diferencia no fue significativa entre ellos. Ranjbar *et al.* (2019) mencionan que el efecto de las nanopartículas de Ca se debe principalmente a una mayor absorbancia y reactividad de la nanopartícula, atribuida a su pequeño tamaño.

El tamaño del fruto es una característica de calidad para los higos. Los frutos de mayor tamaño tienen un mejor precio (Márquez y Figueroa, 2019), sin embargo, frutos grandes de la variedad Brown Turkey pueden ser más susceptibles a daños mecánicos y al ataque de hongos, siendo necesario un manejo adecuado de los frutos en postcosecha.

### 4.1.3. Firmeza

El análisis de varianza para la firmeza de frutos de higo no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $p= 0.163$ ). Las aplicaciones de Ca y/o Si no tuvieron efecto en la firmeza de los frutos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de medias de la firmeza y el color del fruto.

Tratamiento	Firmeza (N)	Color				
		L*	a*	b*	C*	h*
Testigo	1.714 a	38.918 a	14.752 a	9.787 a	18.145 a	30.446 a
CaCl <sub>2</sub>	1.889 a	39.054 a	16.164 a	10.393 a	19.504 a	30.963 a
SiO <sub>2</sub>	1.564 a	39.735 a	16.039 a	14.059 a	22.395 a	37.549 a
CaCl <sub>2</sub> + SiO <sub>2</sub>	1.911 a	38.554 a	15.805 a	9.910 a	19.057 a	30.399 a
Neostren	1.611 a	39.771 a	16.905 a	10.981 a	20.557 a	31.852 a
Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH	1.861 a	41.183 a	15.799 a	12.322 a	20.504 a	37.093 a

Letras diferentes indican diferencia significativa entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

Aplicaciones de Ca y Si, han demostrado brindar una mayor firmeza a los frutos. Ranjbar *et al.* (2019), reportan un incremento en la firmeza de manzanas tratadas con nanopartículas de Ca y CaCl<sub>2</sub>, siendo más significativo en el tratamiento con nanopartículas. Cid (2020) encontró un incremento en la firmeza de pepinos tratados con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de calcio. Por su parte, Irfan *et al.* (2013) reportaron una mayor firmeza en higos tratados con CaCl<sub>2</sub> (4%), lo que prolongo al doble la vida de anaquel de los frutos, además, observaron una reducción del ataque por hongos.

Peris *et al.* (2020) encontraron un aumento de la firmeza, así como el aumento de la vida útil en un promedio de 1.5 días en frutos de fresa con aplicaciones de Si. Marodin *et al.* (2016), observaron el incremento en la conservación postcosecha de frutos de

tomate cuando se añadió Si a la solución nutritiva. Todo lo anterior reportado contrasta con lo encontrado en esta investigación, donde los tratamientos que contenían Ca y/o Si no tuvieron efecto en la firmeza de los frutos.

La firmeza es una característica importante para los frutos en postcosecha que depende del estado de madurez de los frutos. La razón principal de la pérdida de calidad de los frutos es la disminución de la firmeza (Baldoni *et al.*, 2016; Villalobos, 2015). La firmeza de los frutos de higo, especialmente los de la variedad Brown Turkey, se pierde rápidamente después de ser cosechados, reportando los valores más bajos de firmeza, en comparación con las demás variedades comerciales (Crisosto *et al.*, 2010).

El higo es un fruto que madura rápidamente y la cosecha debe realizarse en el momento preciso. Existen técnicas que permitan estandarizar y hacer más exacto el momento de esta actividad, un ejemplo de ellas es la caracterización del color de los frutos (Villalobos, 2015). Los frutos analizados se cosecharon cuando presentaban el 50% de coloración marrón, usado como indicador del grado óptimo de madurez para cosecha, por lo tanto, es posible que exista variabilidad en la madurez y firmeza de los frutos de un mismo tratamiento al momento de ser cosechados. Por otra parte, el equipo utilizado para medir esta variable pudo no haber sido el adecuado.

La firmeza de los frutos esta influenciada por diversos factores, como las condiciones climatológicas, el suelo, el riego, la nutrición, el vigor de la planta y de los brotes, la velocidad de crecimiento del fruto en la planta, la carga de frutos por tallo, etc. (Reyes, 2018). Romero *et al.* (2006) reportan que aplicaciones de nitrato de calcio a diferentes

concentraciones no tuvieron efecto en la firmeza de frutos de mango en postcosecha. Por su parte, Reyes (2018) no encontró diferencias significativas en la firmeza de higos tratados con diferentes concentraciones de  $\text{CaCl}_2$ .

#### 4.1.4. Color

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas para el color de fruto entre los tratamientos con niveles de significancia de  $p= 0.559, 0.173, 0.140, 0.604, 0.141$  para los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$ , respectivamente (Cuadro 6).

El criterio de cosecha fue la coloración del fruto, como indicador de la madurez, por lo cual se esperaba que no hubiera diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados sobre el color de los higos en otras investigaciones son contrastantes, por una parte, Reyes (2018), encontró diferencias significativas en el color de higos tratados con  $\text{CaCl}_2$ , mientras que Romero *et al.* (2006) reportan que la aplicación de nitrato de calcio a diferente concentración no tuvo efecto en el color de frutos de mango en postcosecha. Por otro lado, Garza *et al.* (2020) no encontraron diferencias significativas en el color de la piel de higos a los que se les omitía la aplicación de Ca. El higo botánicamente no es considerado un fruto, por lo que los efectos de los tratamientos en los parámetros de color pudieran no tener efecto en la piel del fruto, sino más bien al interior del sicono, es decir, en la pulpa del fruto (Garza *et al.*, 2020).

Reyes (2018) reporta diferencias en los parámetros de coloración de higos de la variedad Black Mission, en comparación con higos de la variedad Brown Turkey utilizados en la presente investigación. Los resultados de  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (variación verde-rojo),  $b^*$  (variación azul-amarillo) indican que los frutos de la variedad

Brown Turkey presentan mayor luminosidad y brillo. Esto concuerda con lo reportado por algunos autores quienes han evaluado el color del fruto de higo en otras variedades turcas (Polat y Caliskan, 2008; Crisosto *et al.*, 2010). Algunos autores han encontrado valores de  $h^*$  (matiz) superiores a los de este estudio, en frutos de higo de diferentes variedades a los que se les aplicó Ca (Irfan *et al.*, 2013, Crisosto *et al.*, 2010).

## 4.2. Propiedades Químicas del Fruto

### 4.2.1. Compuestos fenólicos

El análisis de varianza para los compuestos fenólicos de frutos mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $p=0.014$ ). En la comparación de medias se encontró que el tratamiento testigo tuvo menor concentración de polifenoles totales comparado con el tratamiento de  $\text{CaCl}_2 + \text{SiO}_2$  y el tratamiento de las nanopartículas de hidroxiapatita ( $\text{Ca}_5 (\text{PO}_4)_3 \text{OH}$ ), siendo este último el que presentó los mayores valores (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comparación de medias de los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de los frutos.

Tratamiento	Compuestos fenólicos (mg GAE kg <sup>-1</sup> )	Capacidad antioxidante (mmol TE. kg <sup>-1</sup> )
Testigo	17.250 b	192.696 a
CaCl <sub>2</sub>	16.625 b	177.751 ab
SiO <sub>2</sub>	19.056 ab	151.403 c
CaCl <sub>2</sub> + SiO <sub>2</sub>	22.111 a	168.837 abc
Neostren	16.833 b	176.572 ab
Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH	22.250 a	161.627 bc

GAE = Equivalentes de Ácido Gálico, TE = Equivalentes de Trolox. Letras diferentes indican diferencia significativa entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

Los compuestos fenólicos son sustancias deseables en los frutos. Otero (2008) encontró que los mayores valores de compuestos fenólicos coinciden con las mejores características sensoriales de sabor, color y aroma de los frutos en postcosecha. El aumento en compuestos fenólicos para frutos tratados con Ca posiblemente esté relacionado al retraso de la maduración y a la resistencia de la pared celular, además, el Ca puede reducir las actividades de las enzimas oxidativas, lo que reduce el consumo de fenoles (Strail *et al.*, 2007).

Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con Sharma *et al.* (2017) quienes informaron que la aplicación de Ca antes de la cosecha aumentó la concentración de fenoles totales en manzanas. No obstante, Davarpanah *et al.* (2017) reportaron que no existían diferencias significativas en la concentración de compuestos fenólicos en frutos de granada con aplicaciones de Ca.

Por otro lado, el Si participa en la activación de la síntesis de algunas fitoalexinas y compuestos fenólicos en frutos (Ma *et al.*, 2001). En esta investigación, la aplicación de Si en forma de SiO<sub>2</sub> no tuvo efecto en la concentración de compuestos fenólicos en fruto, pero si lo tuvo cuando se aplicó SiO<sub>2</sub> combinado con CaCl<sub>2</sub>.

#### **4.2.2. Capacidad antioxidante**

El análisis de varianza para la capacidad antioxidante de los frutos mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $p=0.038$ ). La comparación de medias mostró que los tratamientos donde se aplicó Ca y/o Si tuvieron menores valores de capacidad antioxidante en relación con el tratamiento control. Los tratamientos que presentaron los menores valores fueron aquellos con SiO<sub>2</sub> y nanopartículas de hidroxiapatita (Ca<sub>5</sub>

( $\text{PO}_4$ )<sub>3</sub> OH) (Cuadro 7). Carballo *et al.* (2019) encontraron menor capacidad antioxidante en moringa tratada con  $\text{CaCl}_2$  en dosis alta, sin embargo, encontraron mayor capacidad antioxidante cuando se aplicó  $\text{SiO}_2$ , contrario a los resultados obtenidos en la presente investigación.

Garza *et al.* (2020) encontraron que, en frutos de higo con deficiencias de Ca, la capacidad antioxidante se incrementaba, por lo que se esperaría que los frutos que recibieron aplicaciones foliares de Ca registraran un menor grado de estrés oxidativo y un menor daño celular, disminuyendo su capacidad antioxidante. El Ca al reducir la respiración y la producción de etileno disminuye también la producción de radicales libres, lo que da como resultado menor capacidad antioxidante (Kumar *et al.*, 2007).

Márquez *et al.* (2014) encontraron que la capacidad antioxidante del tomate evaluada con el método ABTS es independiente del grado de madurez del fruto. En el presente estudio se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a la capacidad antioxidante de frutos de higo con el mismo nivel de madurez.

### **4.3. Concentración Mineral en Hoja y Fruto**

#### **4.3.1. Concentración de minerales en hoja**

El análisis de varianza para la concentración mineral en hojas mostró diferencias significativas para el caso de Ca y Mg, pero no para el K. Los tratamientos que presentaron el mayor valor de concentración de Ca fueron las nanopartículas de hidroxiapatita ( $\text{Ca}_5$  ( $\text{PO}_4$ )<sub>3</sub> OH) y el producto comercial Neostren (Ca + Si) que además presentó también la mayor concentración de Mg (Cuadro 8).

Las correlaciones entre los minerales Ca, Mg y K no fueron significativas (Ca-Mg  $r=-0.048$ ,  $p=0.833$ ; Ca-K  $r=0.128$ ,  $p=0.570$ ; Mg-K  $r=-0.048$ ,  $p=0.833$ ).

Cuadro 8. Comparación de medias del % de Ca, Mg y K en hojas de higuera.

Tratamiento	Ca	Mg	K
Testigo	3.007 bc	0.328 b	0.230 a
CaCl <sub>2</sub>	2.923 c	0.390 b	0.267 a
SiO <sub>2</sub>	3.083 bc	0.451 a	0.181 a
CaCl <sub>2</sub> + SiO <sub>2</sub>	3.923 ab	0.433 a	0.423 a
Neostren	4.652 a	0.565 a	0.299 a
Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH	4.340 a	0.436 a	0.307 a

Ca = calcio, Mg = magnesio, K= potasio. Letras diferentes indican diferencia significativa entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

Garza *et al.* (2020) reportó una disminución de la concentración de Ca en hojas de higuera respecto al testigo en tratamientos donde estuvo deficiente algún nutriente esencial. En esta investigación se esperaba encontrar un aumento en la concentración de Ca en los tratamientos en donde se aplicó alguna forma de este nutriente, sin embargo, no se encontraron diferencias en los tratamientos donde se aplicó Ca y Si en forma de CaCl<sub>2</sub> y SiO<sub>2</sub> respecto al control, pero si en forma de nanopartículas de hidroxiapatita (Ca<sub>5</sub> (PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> OH), debido a una mayor penetración de las nanopartículas como resultado de una mayor y más rápida absorción por parte de las células de la planta (Ranjbar *et al.*, 2019).

El tratamiento Neostren presento los mayores valores de concentración de Ca. El tratamiento Neostren es un producto comercial que, además de Ca y Si, contiene otros compuestos como la glicina betaína que funciona como osmorregulador celular, lo que potencializa la asimilación del Ca y otros nutrientes como el Mg.

De acuerdo con el análisis realizado en el suelo, este presentaba altos contenidos de Ca y Mg por lo que se esperaría una mayor asimilación y traslocación de estos nutrientes en las hojas. Este efecto fue posible observarlo en esta investigación solo en el caso de algunos tratamientos.

En esta investigación, los tratamientos que presentaron mayor concentración de Ca en hojas coinciden con las mejores características de calidad de fruto (peso fresco, diámetro polar y ecuatorial, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante).

#### 4.3.2. Concentración de minerales en fruto

El análisis de varianza para la concentración mineral en frutos no mostró diferencias significativas para Ca y el Mg, pero si para K, donde todos los tratamientos en donde se aplicó Ca y/o Si, presentaron concentraciones inferiores con respecto al tratamiento control (Cuadro 9). No se encontró correlación entre las variables analizadas.

Cuadro 9. Comparación de medias del % de Ca, Mg y K en frutos de higo.

Tratamiento	Ca	Mg	K
Testigo	0.262 a	0.063 a	0.684 a
CaCl <sub>2</sub>	0.280 a	0.063 a	0.549 b
SiO <sub>2</sub>	0.262 a	0.059 a	0.585 b
CaCl <sub>2</sub> + SiO <sub>2</sub>	0.268 a	0.058 a	0.569 b
Neostren	0.248 a	0.049 a	0.567 b
Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH	0.226 a	0.060 a	0.543 b

Ca = calcio, Mg = magnesio, K= potasio. Letras diferentes indican diferencia significativa entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

El Ca y Si son nutrimentos de baja movilidad, por lo que no fue posible observar algún efecto de las aplicaciones de Ca y/o Si en los frutos. Reyes (2018), observó un aumento en la concentración de Ca en frutos donde se aplicó CaCl<sub>2</sub> en diferentes

concentraciones de manera foliar. Esto contrasta con lo encontrado en esta investigación, donde ningún tratamiento que contenía Ca tuvo efecto en la concentración de este nutrimento en los frutos.

La disminución de la concentración de K respecto al control para todos los tratamientos puede ser explicada por la interacción de los cationes con el K en la planta, por lo que en los tratamientos donde se aplicó Ca y/o Si, la acumulación de K se vio afectada (Guo *et al.*, 2018).

#### 4.4. Densidad de Plantación

Los resultados obtenidos de las cosechas mostraron una mayor producción por planta en las higueras establecidas a una menor densidad, sin embargo, las plantas que se establecieron a mayor densidad tuvieron un mayor rendimiento (Cuadro 10).

Cuadro 10. Rendimientos obtenidos en las dos densidades.

Densidad	kg. planta <sup>-1</sup>	t. ha <sup>-1</sup>
1	8.101 b	45.008 a
2	10.805 a	40.020 b

Densidad 1 = 44,444 tallos. ha<sup>-1</sup>, densidad 2 = 29,629 tallos. ha<sup>-1</sup>. Letras diferentes indican diferencia significativa entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

Mendoza *et al.* (2017), en un trabajo de investigación con higueras establecidas en macetas en un sistema hidropónico y con densidades de 100,000 tallos. ha<sup>-1</sup>, obtuvieron rendimientos potenciales de más de 100 t. ha<sup>-1</sup>. En este trabajo las plantas se establecieron en suelo sin una fertilización establecida y en un periodo de cosecha de 3.5 meses, por lo que los rendimientos fueron menores a los reportados por Mendoza *et al.* (2017).

Los tallos de higuera son delgados, flexibles y pueden alcanzar los 10 m de altura, produciendo frutos viables a lo largo de todo el tallo (Flores, 1990). Estas características permiten hacer prácticas culturales similares a las de hortalizas producidas de manera intensiva, como lo es el bajado de planta, semejante al que se realiza en la producción de tomate en invernadero. Bajar los tallos de higuera permitirá aumentar el número de frutos cosechados y facilitará las labores culturales de la planta, lo que se traduce en un incremento de los rendimientos.

Otra propuesta de manejo para incrementar los rendimientos sería dejar un brote secundario que se convertirá después en un tallo de replazo cuando el tallo principal alcance los 1.5 m de altura. La técnica consiste en eliminar las hojas inferiores al último fruto cosechado del tallo principal, para que el brote secundario que viene creciendo reciba la cantidad de luz adecuada y comience a desarrollar frutos. Cuando los últimos frutos del tallo principal se estén cosechando, el tallo secundario tendrá frutos en desarrollo, lo que incrementará el periodo de cosecha.

Con manejo de podas también se pudiera incrementar la rentabilidad del cultivo, debido a que la época de cosecha puede modificarse según las necesidades del mercado. Modificar la fecha de poda para tener una brotación temprana, permitirá tener frutos fuera de temporada, los cuales se pueden comercializar a un mejor precio.

## 5. CONCLUSIONES

El tratamiento de nanopartículas de hidroxiapatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ) presentó los frutos con el mayor peso y tamaño, así mismo, presentó los valores más altos de compuestos fenólicos y la mayor concentración de Ca en hoja. Dichos resultados son promisorios para seguir utilizando y evaluando este material.

Las aplicaciones foliares de Ca y/o Si incrementaron el peso fresco y tamaño de frutos, sin embargo, no mostraron efecto en las propiedades de color y firmeza de frutos como se esperaba en el experimento.

Los tratamientos que contenían Ca y/o Si aumentaron la concentración de compuestos fenólicos totales en frutos y disminuyeron su capacidad antioxidante con relación al tratamiento testigo.

Las plantas de higuera tratadas con Ca y/o Si aumentaron la concentración de Ca y Mg en hojas, no obstante, en fruto no se incrementó la concentración de estos minerales y hubo una disminución de K respecto al tratamiento testigo.

Las plantas de higuera establecidas a mayor densidad de plantación presentaron menor producción de frutos por planta, pero un mayor rendimiento en comparación con las plantas establecidas a menor densidad de plantación.

## 6. REFERENCIAS

- Alcantar G. & Trejo T. (2016). Nutrición de cultivos. Segunda edición. Colegio de Posgraduados y MundiPrensa. México, D. F. pp. 11-21. ISBN: 9786077153245.
- Andrés L., Medina R., Llorach R., Urpi S., Khan N., Chiva B., Zamora R., Rotches R. & Larnuela R. (2010). Phenolic compounds: chemistry and occurrence in fruits and vegetables, en: De la Rosa E., Álvarez P., González A., Eds. Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability. Primera edición. Blackwell Publishing Iowa, USA. pp. 53-88. ISBN: 9780813803203.
- Baldoni D., Ventura A., Hernández L., Bautista B., Barrera N. Correa P. & Corona R. (2016). Calidad postcosecha de higos lack mission tratados con cubiertas naturales. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 17(2): 267-275.
- Caliskan O. (2012). Effects of genotype and harvest year on phytochemical and fruit quality properties of Turkish fig genotypes. Spanish journal of agricultural research. 10(4): 1048-1058. <https://doi.org/10.5424/sjar/2012104-2652>
- Carballo M., Olivares S. Bolivar D., Bautista A., Vázquez B. & Niño M. (2019). Effect of silicon on germination of *Moringa oleifera* Lam. in different types of salts. Fresenius Environmental Bulletin. 28(11): 8823-8830.
- Catraro M. (2015). El Cultivo de la Higuera: Producción de higos y su deshidratación como método para el agregado de valor del producto. Universidad Nacional de Litoral.
- Cid (2020). Recubrimiento de poli (acetato de vinilo-co-alcohol vinílico) adicionado con nanopartículas de óxido de calcio y su efecto en la poscosecha de pepino (*Cucumis sativus*). Centro de Investigación en Química Aplicada.

- Condit I. (1955) Fig varieties: a monograph. *Hilgardia*. 23(11): 325-538.  
<https://doi.org/10.3733/hilg.v23n11p323>
- Crisosto C., Bremer V., Ferguson L. & Crisosto G. (2010). Evaluating quality attributes of four fresh fig (*Ficus carica* L.) cultivars harvested at two maturity stages. *HortScience* 45: 707-710. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.4.707>
- Crisosto C., Ferguson L., Bremer V., Stover E. & Colelli G. (2011). Fig (*Ficus carica* L.). postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Volume 3: Cocona to mango. Food science, technology and nutrition: no. 208. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK. pp. 134-158. ISBN: 9781845697358.
- Davarpanah S., Tehranifar A., Abadía J., Val J., Davarynejad G., Aran M. & Khorassani R. (2017). Foliar calcium fertilization reduces fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani). *Sci. Hort.* 230: 86-91.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.023>
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2022). Datos de cultivos: Higo.
- Fernández V. (2016). Caracterización química y morfológica de ocho ecotipos de higo (*Ficus carica* L.). Universidad Autónoma del Estado de México.
- Flores D. (1990). La Higuera, frutal mediterráneo para climas cálidos. Mundi-Prensa, España, pp. 190. ISBN: 9788471142863.
- Flores H., Lira S., Acosta O., Méndez A., García L., Díaz B., González T. & García C. (2019). Synthesis and characterization of calcium phosphate nanoparticles and effect of the agitation type on particles morphology. *Revista Mexicana De Ingeniería Química*, 19(1): 285-298. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Mat523>

- Garza A., Carballo M., Rodríguez S., Olivares S. & Rodríguez O. (2022). Salinidad y silicio en el crecimiento vegetativo y la concentración de pigmentos en cuatro cultivares de higuera (*Ficus carica* L.). ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(1): 19-35. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.018>
- Garza A., Olivares S., Gutiérrez D., Vázquez A. & López J. (2020). Deficiencia de macronutrientes en higuera (*Ficus carica* L.): síntomas visuales, crecimiento vegetativo y contenido mineral. *Agronomy*, 9: 1-12. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy9120787>
- Guo L., Zhu Y. & Wang F. (2018). Calcium sulfate treatment enhances bioactive compounds and antioxidant capacity in broccoli sprouts during growth and storage. *Postharvest Biol. Tec.* 139: 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.010>
- INCAP. (2012). Tabla de composición de los alimentos de Centroamérica. Segunda edición. Guatemala.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (2022). Mapa digital de México.
- Irfan P., Vanjakshi V., Keshava P., Ravi R. & Kudachikar V. (2013). Calcium chloride extends the keeping quality of fig fruit (*Ficus carica* L.) during storage and shelf-life. *Postharvest biology and technology*. 82: 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.008>
- ITIS (Integrated Taxonomic Information System). (2022). *Ficus carica* L. Taxonomic Serial No.: 19093.
- Kottegoda N., Sandaruwan C., Priyadarshana G., Siriwardhana A., Rathnayake U., Berugoda A. & Amaratunga G. (2017). Urea-hydroxyapatite nanohybrids for

slow release of nitrogen. American Chemical Society, Nano 11: 1214-1221.

<https://doi.org/10.1021/acsnano.6b07781>

Kurubar A., Alloli T., Naik M. & Pujari B. (2013). Effect of pre and postharvest application of different chemicals on quality traits of fig (*Ficus carica* L.). Acta Hortic. 1012: 91-95. <https://doi.org/10.17660ActaHortic.2013.1012.5>

Kumar T., Kumar P. & Nand S. (2007). Oxidative stress and antioxidant responses in young leaves of mulberry plants grown under nitrogen, phosphorus or potassium deficiency. J. Integr. Plant. Biol. 49(3): 313-322. <https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2006.00358.x>

Lira S., Méndez A., Santos V. & Vera R. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. Acta universitaria. 28(2): 9-24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>

Ma J., Miyake Y. & Takahashi E. (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants. pp 17-39. En: Datonoff L., Snyder G. & Korndorfer G. (eds.) Silicon in agriculture. Elsevier Science Publishing. New York.

Manganaris G., Vasilakakis M., Diamantidis G. & Mignani I. (2007). The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. Food Chemistry 100(4): 1385–1392. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.036>

Marchiol L., Filippi A., Adamiano A., Degli E., Lafisco M., Mattiello A.; Petrusa E. & Braidot E. (2019). Influence of hydroxyapatite nanoparticles on germination and plant metabolism of tomato (*Solanum lycopersicum* L.): Agronomy 2019. 9: 161. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040161>

- Marodin J., Resende J., Morales R., Faria M., Trevisam A. Figueiredo A. & Dias D. (2016). Tomato post-harvest durability and physicochemical quality depending on silicon sources and doses. *Horticultura Brasileira*. 34(3): 361-366. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362016003009>
- Mars M., Trad M. & Gaaliche B. (2017). The unique fig caprification system and its effects on productivity and fruit characteristics. *Acta Horticulturae*. 1173: 127-136. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1173.22>
- Márquez C., Otero C., Rojano B. & Osorio J. (2014). Actividad antioxidante y concentración de compuestos fenólicos del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. *Temas Agrarios*. 19(2): 173-184. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i2.732>
- Márquez G. & Figueroa V. (2019). Dinamica nutrimental del cultivo de higo (*Ficus carica* L.) bajo sistemas de producción intensiva. Universidad Autónoma Chapingo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(3): <https://doi.org/10.29312/remexca>
- Melgarejo P. (2000). Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. I. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. pp. 382. ISBN: 9788484761112.
- Mendoza C., Vargas C. & Calderon Z. (2017). Intensive production systems of fig (*Ficus carica* L.) under greenhouse conditions. *Experimental Agriculture*. 53: 339-350. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000405>
- Otero C. (2008). Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. Universidad Nacional de Colombia. *Vitae*. 14(2): 9-16.

- Pereira C., Serradilla M., Martín A., Villalobos M., Pérez F. & López M. (2015). Agronomic behavior and quality of six fig cultivars for fresh consumption. *Sci. Hortic.* 185: 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.026>
- Peris F., Benavent Y. & Hernández L. (2020). Silicon beneficial effects on yield, fruit quality and shelf-life of strawberries grown in different culture substrates under different iron status. *Plant physiology and biochemistry.* 152. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.026>
- Polat A. & Caliskan O. (2008). Fruit characteristics of fig cultivars and genotypes grown in Turkey. *Scientia Horticulturae.* 115(4): 360–367. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.017>
- Prataviera A. & Godoy R. (1985). El cultivo de la higuera. Instituto Nacional de Tecnologías Agropecuarias, Centro Regional Catamarca, La Rioja. Estación Experimental Agropecuaria Catamarca. ISBN: 8489922373.
- Prior R., Wu X. & Schaich K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4290-4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Ranjbar S., Ramezani A. & Rahemi M. (2019). Nano-calcium and its potential to improve red delicious apple fruit characteristics. *Horticulture, environment, and biotechnology.* 61. <https://doi.org/10.1007/s13580-019-00168-y>
- Reyes G. (2018). Evaluación de calidad de fruto de higo (*Ficus carica* L.) con aplicación de calcio foliar, traslocado por quelatos EDTA y glicina. Universidad Autónoma del Estado de México.

- Romero G., Sánchez G., Rodríguez A. & Veloz C. (2006). Aplicación foliar de calcio y su relación con la calidad en frutos de mango cv. Haden. *Agricultura técnica en México*. 32: 5-15.
- Sharma R., Singh D. & Pal R. (2017). Synergistic influence of preharvest calcium sprays and postharvest hot water treatment on fruit firmness, decay, bitter pit incidence and postharvest quality of 'royal delicious' apples (*Malus x domestica* Borkh). *J Plant Sci*. 4(1): 153-159. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.41020>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2022). Anuario estadístico de la producción agrícola.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). (2022). Normales climatológicas del estado de Nuevo León.
- Solomon A., Golubowicz S., Yablowicz Z., Grossman S., Bergma M., Gottlieb H., Altman A., Kerem Z., & Flaishman M. (2006). Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). *J. Agr. Food Chem*. 54: 7717–7723. <https://doi.org/10.1021/jf060497h>
- Stover E., Aradhya L., Ferguson & Crisosto C. (2007). The fig: overview of an ancient fruit. *HortScience* 42: 1083-1087. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.5.1083>
- Strail P., Klejdus B. & Kubán V. (2007). Determination of phenolic compounds and their antioxidant activity in fruits and cereals. *Talanta*. 71: 1741-1751. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.08.012>
- Villalobos R. (2015). Estudio para la prolongación de la vida útil de variedades de higos y brevas interesantes para su consumo en fresco y estudio de técnicas alternativas para el secado de higos. Universidad de Extremadura.

- Wang M., Vasconcelos M., Carvalho S. (2021). Role of calcium nutrition on product quality and disorder susceptibility of horticultural crops: processes and strategies for biofortification. Editor(s): Santosh Kumar Upadhyay. Calcium transport elements in plants. Academic Press. 315-335. ISBN: 9780128217924.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821792-4.00011-4>
- White P. & Broadley M. (2003). Calcium in plants. *Annals of botany*. 92: 487-511.  
<https://doi.org/10.1093/aob/mcg164>
- Zohary D., Hopf M. & Weiss E. (2012). Domestication of plants in the old world: the origin and spread of domesticated plants in southwest Asia, Europe and the mediterranean basin. Oxford University Press on Demand.  
<https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199549061.001.0001>