

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



ASPERSIONES DE CALCIO, POTASIO Y MAGNESIO EN FRUTOS  
DE TOMATE INJERTADO COMO PROMOTORES DE LA  
PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRACÉUTICA

**Tesis**

Que presenta AMAYRANI ARROYO RAMÍREZ  
como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila

Junio 2022

ASPERSIONES DE CALCIO, POTASIO Y MAGNESIO EN FRUTOS  
DE TOMATE INJERTADO COMO PROMOTORES DE LA  
PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRACÉUTICA

**Tesis**


Elaborada por Amayrani Arroyo Ramírez como requisito parcial para  
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura con la  
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente  
Asesor Principal



Dr. Antonio Juarez Maldonado  
Asesor



Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente  
Subdirector de Postgrado  
UAAAN

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***A Dios.***

*Por haberme permitido culminar con plena satisfacción este objetivo, previéndome fortaleza, salud y amor infinito. Además de iluminarme y poner en mi camino a personas quienes estuvieron y permanecieron de manera incondicional a mi lado.*

### ***A la UAAAN***

*A mi alma máter, por recibirme con las puertas abiertas para lograr mis metas de vida, resguardándome y formándome, además de brindarme oportunidades que me hicieron crecer tanto profesional como personalmente, no cambiaría por nada el orgullo de ser un buitre de la “NARRO”.*

### ***A mis amigos.***

*Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional, por ayudarme en este trabajo de investigación: Raúl Morales, Raúl Ramos, Brenda Nayetxi, Laura Castro y Tomas Felix, quienes estuvieron conmigo no solo académicamente si no que fueron mi soporte, para hacer esta estadía más llevadera. Al MC. Héctor Manuel Rodríguez Morán, por la participación y el apoyo mutuo durante este proyecto de investigación.*

### ***A mis maestros.***

*Al Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente, por su apoyo incondicional durante el proyecto de investigación y la motivación brindada para concluir los estudios profesionales; al Dr. Adalberto Benavides-*

*Mendoza, al Dr. Antonio Juárez Maldonado y al Dr. Alberto Sandoval Rangel, por el apoyo y el tiempo brindado para lograr los objetivos del presente trabajo de investigación. A la Dra. Julia Medrano Macías  
Gracias por su disponibilidad para con mi proyecto y por el conocimiento compartido en la realización del mismo. A todos los profesores del programa de la Maestría en Ciencias en Horticultura por toda la contribución y orientación durante mi formación académica.*

## **DEDICATORIAS**

### ***A mi madre María Josefa***

*Por estar siempre conmigo a la distancia, por sus oraciones, bendiciones, consejos, por hacer de mí una mujer de bien, por todos los valores humanos que me conforman, por enseñarme que, sin importar la situación, todo es posible y sobre todo por su amor incondicional.*

### ***A mi padre Ramón Arroyo***

*Por enseñarme con el ejemplo a ser perseverante, constante con el trabajo duro para conseguir lo que me planteo, por enseñarme independencia completa y por todo su amor incondicional.*

### ***Mis hermanos***

*Yésica, Erick y Virginia, por todo su apoyo incondicional, por enseñarme con el ejemplo el trabajo duro y el equilibrio de la vida, por tanto amor infinito.*

### ***Mis sobrinos***

*Danna, Kevin, Christian, Daniel, Ian, Camila y Fabio, espero que en algún futuro mis metas alcanzadas sean su inspiración, y que puedan ver en mí, un ejemplo a seguir, a ustedes, quienes son mi respiro de la vida, los quiero mucho.*

## Índice General

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General .....	1
HIPÓTESIS .....	1
REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
Origen .....	3
Importancia mundial del tomate .....	3
Importancia nutrimental del tomate .....	3
Injerto en plantas hortícolas .....	4
Morfología de la planta injertada .....	5
Conductancia estomática y asimilación de Co <sub>2</sub> en plantas injertadas.....	5
Actividad enzimática en plantas injertadas .....	6
Ácido ascórbico en tomate (vitamina C) .....	7
Funciones del calcio en frutos de tomate .....	8
Funciones del potasio en frutos de tomate .....	9
Funciones del magnesio en frutos de tomate .....	11
Sistema NFT .....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
Localización geográfica.....	13
Material vegetal.....	13
Producción de la plántula.....	13
Realización del injerto .....	14
Establecimiento del cultivo .....	14
Manejo nutricional .....	14
Fertilizantes de calcio, potasio y magnesio .....	14
Aplicación de tratamientos y diseño experimental .....	15

Manejo del cultivo .....	16
VARIABLES AGRONÓMICAS EVALUADAS .....	16
Altura de planta .....	16
Peso de fruto .....	17
Número de hojas .....	17
Número de frutos y rendimiento .....	17
Diámetro ecuatorial y polar de frutos .....	17
VARIABLES - CALIDAD COMERCIAL.....	17
pH .....	18
Firmeza .....	18
Sólidos solubles totales (°brix) .....	18
Vitamina C.....	18
DETERMINACIÓN MINERAL DEL FRUTO .....	19
Cuantificación de nitrógeno .....	19
Cuantificación de fósforo .....	19
Cuantificación de minerales por absorción atómica .....	20
VARIABLES - ENZIMÁTICAS.....	20
Catalasa (CAT).....	20
Glutación peróxidasa (GPX).....	21
Ascorbato peroxidasa (APX).....	21
Superóxido dismutasa (SOD) .....	22
VARIABLES - NUTRACÉUTICAS .....	22
Extracción de biomoléculas .....	22
Fenoles totales .....	23
Licopeno.....	23
Capacidad antioxidante hidrofílica (ABTS).....	23
Proteínas totales.....	24
Análisis estadístico .....	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
RESULTADOS AGRONÓMICOS .....	25
Efecto del injerto sobre las variables agronómicas en plantas	

de tomate .....	25
Efecto de la adición de Ca, K y Mg sobre las variables de agronómicas en plantas de tomate .....	26
Efecto de la interacción injerto vs aplicaciones de Ca, K y Mg sobre las variables agronómicas en plantas de tomate.....	28
<b>RESULTADOS DE LA CALIDAD COMERCIAL DE FRUTOS DE TOMATE.....</b>	<b>31</b>
Efecto del injerto sobre la calidad comercial de frutos de tomate .....	31
Efecto de la adición de Ca, K y Mg sobre la calidad comercial de frutos de tomate.....	32
Efecto de la interacción injerto vs aplicaciones de Ca, K y Mg sobre la calidad comercial de frutos de tomate .....	35
<b>RESULTADOS DEL CONTENIDO MINERAL DEL FRUTO.....</b>	<b>37</b>
Efecto del injerto sobre el contenido mineral de frutos de tomate .....	37
Efecto de la adición de Ca, K y Mg sobre el contenido mineral de frutos de tomate.....	38
Efecto de la interacción injerto vs aplicaciones de Ca, K y Mg sobre el contenido mineral de frutos de tomate .....	40
<b>ACTIVIDAD ENZIMÁTICA .....</b>	<b>42</b>
Efecto del injerto sobre la actividad enzimática de frutos de tomate .....	42
Efecto de la adición de Ca, K y Mg sobre la actividad enzimática de frutos de tomate .....	43
Efecto de la interacción injerto vs aplicaciones de Ca, K y Mg sobre la actividad enzimática de frutos de tomate.....	45
<b>CALIDAD NUTRACÉUTICA DEL FRUTO .....</b>	<b>47</b>
Efecto del injerto sobre la calidad nutracéutica de frutos de tomate .....	47
Efecto de la adición de Ca, K y Mg sobre la calidad	



nutracéutica de frutos de tomate .....	48
Efecto de la interacción injerto vs aplicaciones de Ca, K y Mg sobre la calidad nutracéutica de frutos de tomate .....	49
CONCLUSIONES .....	52
REFERENCIAS .....	53

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Tratamientos empleados, mediante la aplicación de Ca, K y Mg en tomate injertado y sin injertar a diferentes concentraciones .....	16
<b>Tabla 2.</b> Comportamiento agronómico del cultivo del tomate injertado y suplementado con Ca, K y Mg .....	30
<b>Tabla 3.</b> Comportamiento de la calidad de los frutos del cultivo del tomate injertado y suplementado con Ca, K y Mg.....	37
<b>Tabla 4.</b> Comportamiento del perfil mineral del fruto del cultivo del tomate injertado y suplementado con Ca, K y Mg.....	41
<b>Tabla 5.</b> Comportamiento de la actividad enzimática de los frutos del cultivo del tomate injertado y suplementado con Ca, K y Mg .....	46
<b>Tabla 6.</b> Comportamiento del contenido nutracéutico de los frutos del cultivo del tomate injertado y suplementado con Ca, K y Mg .....	51

## RESUMEN

ASPERSIONES DE CALCIO, POTASIO Y MAGNESIO EN FRUTOS  
DE TOMATE INJERTADO COMO PROMOTORES DE LA  
PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRACÉUTICA

POR

AMAYRANI ARROYO RAMÍREZ  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DR. MARCELINO CABRERA DE LA FUENTE —ASESOR—

El tomate es posicionado como una prioridad en el consumo a nivel mundial, por lo tanto, lograr un incremento del contenido nutracéutico de este fruto proporciona grandes beneficios para la salud de los consumidores. En este trabajo de investigación se determinó el efecto de aplicaciones suplementarias mediante la aspersion dirigida al fruto de Ca, K y Mg (0-0-0, 9-0-0, 0-12-0, 0-0-9, 9-12-9 meq L<sup>-1</sup>), en el crecimiento y desarrollo de frutos de tomate, considerando plantas injertadas y no injertadas, utilizando como variedad "CID F1" con el portainjerto "FORTAMINO", establecido en sistema NFT, determinando la influencia en rendimiento agronómico, composición mineral del fruto y calidad nutracéutica del mismo. Los resultados muestran que el injerto influye positivamente en el 100% de las variables agronómicas, 25% en variables de calidad de frutos de tomate, 100% en variables del perfil mineral, 50% de las variables de actividad enzimática y 33% de las variables nutracéuticas del mismo, por otro lado, la dosis de 9-12-9 meq Ca-K-Mg mejoró la firmeza en un 17%, SST 15%, mientras que para el perfil mineral del fruto influyo positivamente aumentando N 4%, P 4%, Ca 6%, Mg 25%, Fe 74%, Cu 8%, Zn 14%, Mn 12%, APX, SOD, CAT y potencial antioxidante, las formulas 9-0-0 y 9-12-9 influyen en el contenido de vitamina C aumentando 50%. La interacción plantas injertadas y la formula 9-12-9 meq, incrementa las variables de composición mineral del fruto fresco en un 100%, el 100% de las variables de calidad de fruto aumentaron y las variables de calidad nutracéutica del mismo mejoraron en un 67%, del mismo modo que la interacción injerto y formula 9-0-0 la cual favoreció a las variables nutracéuticas incrementándolas en un 67%.

#### Palabras clave

• Calidad de fruto • tomate • aporte de minerales • macroelementos • NFT

## ABSTRACT

CALCIUM, POTASSIUM AND MAGNESIUM SPRAYS ON SNAPPED  
TOMATO FRUITS AS PROMOTERS OF PRODUCTION AND  
NUTRACEUTIC QUALITY

BY

AMAYRANI ARROYO RAMÍREZ  
MASTER'S IN SCIENCE IN HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DR. MARCELINO CABRERA DE LA FUENTE -ASESOR-

The tomato is positioned as a priority in consumption worldwide, therefore, achieving an increase in the nutraceutical content of this fruit provides great benefits for the health of consumers. In this research work, the effect of supplementary applications was determined by spraying the fruit with Ca, K and Mg (0-0-0, 9-0-0, 0-12-0, 0-0-9, 9-12-9 meq L<sup>-1</sup>), in the growth and development of tomato fruits, considering grafted and non-grafted plants, using as variety "CID F1" with the rootstock "FORTAMINO", established in the NFT system, determining the influence on agronomic performance, mineral composition of the fruit and its nutraceutical quality. The results show that the graft positively influences 100% of the agronomic variables, 25% in quality variables of tomato fruits, 100% in mineral profile variables, 50% of the enzymatic activity variables and 33% of the variables. nutraceuticals of the same, on the other hand, the dose of 9-12-9 meq Ca-K-Mg improved firmness by 17%, SST 15%, while for the mineral profile of the fruit it had a positive influence by increasing N 4%, P 4%, Ca 6%, Mg 25%, Fe 74%, Cu 8%, Zn 14%, Mn 12%, APX, SOD, CAT and antioxidant potential, formulas 9-0-0 and 9-12-9 influence in the content of vitamin C increasing 50%. The interaction of grafted plants and the 9-12-9 meq formula increases the mineral composition variables of the fresh fruit by 100%, 100% of the fruit quality variables increased and the nutraceutical quality variables of the same improved by 100%, 67%, in the same way as the graft interaction and the 9-0-0 formula, which favored the nutraceutical variables, increasing them by 67%.

#### Keywords

• Fruit quality • tomato • mineral contribution • macroelements • NFT

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*), es la hortaliza de mayor importancia económica a nivel mundial (Martínez, *et al.*, 2016; Prisciliano, *et al.*, 2017), siendo Turquía, China y EE.UU los mayores productores (FAO, 2019), México se posiciona dentro de los principales países productores (Martínez, *et al.*, 2016). La nutrición del cultivo de tomate es importante para alcanzar estándares requeridos en la producción (Maldonado, *et al.*, 2022, Islas, 2006), mantener un equilibrio entre la concentración y disponibilidad de nutrientes es de suma importancia (Koizumi, *et al.*, 2017). El uso de plantas injertadas, complementadas con fertilización por aspersión resulta en mejoras de la calidad del cultivo y de los frutos (Quinones, *et al.*, 2018, Vinent, *et al.*, 2021), la interacción injerto – fertilización mejora el vigor de la planta y la calidad de los frutos (Pool, *et al.*, 2017; Márquez, *et al.*, 2017; Pool, *et al.*, 2021, Chávez, *et al.*, 2017). Las aspersiones foliares de Ca, activan y regulan la división celular favoreciendo a los fitoquímicos que se producen en el fruto (Pérez, *et al.*, 2020), incrementando los valores nutraceuticos de los frutos de tomate (Gholamnejad, *et al.*, 2020). El K influye en la calidad nutraceutica de frutos, mediante el aporte foliar, en cultivos de condiciones hidropónicas (Díaz, *et al.*, 2018, Rangel, *et al.*, 2019, Méndez, *et al.*, 2018). En los últimos años la aplicación foliar de Mg es una estrategia para aumentar el valor nutraceutico en frutos (Zięba, *et al.*, 2021; Boaretto, *et al.*, 2020), debido a que se involucra en la actividad fotosintética, activa enzimas que intervienen en la síntesis de los ácidos nucleicos (Reyes, *et al.*, 2017). El potasio, calcio y magnesio son fuertemente antagónicos entre sí, la correlación de estos fertilizantes dan resultados positivos al ser aplicados en sinergia (Nguyen, *et al.*, 2017).

La utilización de la técnica de injertos en cultivo de tomate con la suplementación de Ca, K y Mg es una novedad técnico-científica, se considera una alternativa viable para incremen-

tar la calidad del cultivo y la producción, dicha implementación podría generar una mejora en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar el efecto de la aplicación foliar suplementaria de calcio, potasio y magnesio sobre la producción, contenido de minerales, calidad comercial y nutracéutica del fruto de tomate injertado.

### **Objetivos Específicos**

- Cuantificar los parámetros agronómicos del cultivo en el ciclo de producción.
- Determinar el contenido mineral de los frutos de tomate.
- Evaluar la calidad comercial y nutracéutica de los frutos al momento de la cosecha.

## **HIPÓTESIS**

La productividad, el contenido mineral y calidad nutracéutica del tomate serán afectadas por el injerto y la adición de Ca, K y Mg aplicados por aspersión directamente al fruto de tomate.



## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen

El tomate (*Solanum Lycopersicum*) proveniente de una planta herbácea, es un fruto comestible, de la familia Solanaceae, dicha familia cuenta con 3000 especies y 90 géneros diferentes, se originó en la región andina (Rodríguez, *et al.*, 2020). Es una hortaliza con un alto valor comercial para su consumo en fresco y en la manufactura de productos procesados, de gran importancia para exportación internacional (Sánchez, *et al.*, 2015).

### Importancia mundial del tomate

Representa una de las hortalizas más consumidas en el mundo, con un consumo per cápita de 20.2 kg, México es considerado como centro de domesticación de esta especie y cuenta con amplia diversidad morfológica de frutos (Pérez, *et al.*, 2020). China es el principal productor con 54.8 millones de ton producidas, mientras México ocupa el décimo lugar con una producción de 4 millones de ton (FAOSTAT, 2016). El tomate contribuye en gran escala dentro de la producción, por lo que su valor es sumamente valioso en el sistema alimentario mundial (Álvarez, *et al.*, 2017).

### Importancia nutricional del tomate

El fruto de tomate se sitúa como fuente importante de beta-caroteno, vitaminas B6, C y E, además de hierro, aporta gran contenido de nitrógeno y aminoácidos libres, como también potasio, magnesio y fósforo; tales características, determinan la calidad nutracéutica de este (Mejía, *et al.*, 2016, Al-Harbi, *et al.*, 2017). Un incremento en la calidad nutracéutica del fruto de tomate permite contribuir a la mejora de la salud pública de los consumidores (Vázquez, *et al.*, 2016), además de que este fruto es rico en ácido fólico, ascorbato, polifenoles, carotenoides, compuestos bioactivos como el folato, ascorbato, polifenoles y carotenoides, estos

ayudan a reducir enfermedades cardiovasculares y cáncer (Al-Harbi, *et al.*, 2017). El contenido nutracéutico del tomate se le atribuye al licopeno, este tiene importantes implicaciones positivas en la salud, reduciendo el perfil epidemiológico de la sociedad, caracterizado por alta prevalencia de obesidad y de mortalidad por enfermedades cardiovasculares (Domínguez, *et al.*, 2020). El fruto de tomate contiene nutrientes y otros fotoquímicos con una amplia gama de potenciales efectos beneficiosos para la salud, esta hortaliza es un alimento completamente funcional (Navarro, *et al.*, 2016).

### **Injerto en plantas hortícolas**

La técnica de injerto empezó a difundirse desde 1979 en Italia, Francia y España, aunque los primeros procesos de injerto reportados son desde 1914 en Japón, Esta técnica ayuda a los cultivos hortícolas a prevenir enfermedades que causan los patógenos (González, *et al.*, 2008). El injerto dentro de la agricultura sustentable, puede ayudarnos a amortiguar o prevenir el estrés biótico y abiótico, a través de la obtención de nutrientes y agua podemos obtener una planta más vigorosa, haciéndola resistente contra fitopatógenos del suelo, sequía, frío, salinidad e inundaciones (Pool, *et al.*, 2017). Desde el punto de vista ambiental, también resulta una técnica útil ya que es una herramienta que controla de manera limpia plagas y enfermedades (Lee, *et al.*, 2010; Díaz, *et al.*, 2006). Uno de los objetivos principales del injerto, es hacer de las dos plantas una sola, mediante la unión, pero que se pueda tener las características y beneficios de ambas plantas (Aparecido, *et al.*, 2017; Pool, *et al.*, 2019).

El proceso de la técnica de injerto consta en realizar cortes en el portainjerto, de acuerdo al tipo de injerto seleccionado y hacer de esta un vástago y producir entre ambas plantas la unión de las células, poniéndolas en contacto, y posteriormente se forma un callo en el proceso de cicatrización (Pool, *et al.*, 2017), obtenemos múltiples ventajas con la

realización de los injertos, como un mayor incremento del área foliar, incremento de rendimiento total del cultivo, mayor crecimiento radicular, frutos más grandes y precocidad de la floración (Davis, *et al.*, 2008; Aparecido, *et al.*, 2017). En tomate es una alternativa sustentable que controla enfermedades en la planta, y la calidad de los frutos, para realizar la técnica es necesario tomar en cuenta la compatibilidad anatómica de ambas plantas y el tiempo de establecimiento de la continuidad vascular entre los dos tejidos vegetales (Velasco, *et al.*, 2017). En los últimos años, se reportan múltiples implementaciones de esta técnica en cultivos hortícolas, utilizada como una alternativa de resistencia contra nematodos, aumento de producción, control de enfermedades y resistencia a factores abióticos (Velasco, *et al.*, 2016). La implementación de la técnica de injertos en hortalizas, provee a la planta resistencia a diversos tipos de estrés y aumento de la producción, lo cual es necesario para el mercado que hoy en día exige productos de calidad (Márquez, *et al.*, 2017).

### **Morfología de la planta injertada**

Uno de los principales factores que se ven alterados en la morfología de una planta injertada es el incremento del peso y diámetro de frutos, como también la longitud y firmeza del mismo (Grimaldo, *et al.*, 2020). La técnica de injerto, influye en características de las plantas, tales como incremento del sistema radical, produciendo una mayor relación raíz/brote (Fassio, *et al.*, 2018). Las plantas injertadas alcanzan características similares a las no injertadas, algunas modificaciones pueden estar mediadas por la producción de reguladores del crecimiento desde la raíz transportada a través de xilema a la parte aérea de la planta, indicadas por factores como altura de la planta y número de hojas (Bernal, *et al.*, 2016).

### **Conductancia estomática y asimilación de CO<sub>2</sub> en plantas injertadas**

La conductancia estomática (gs), es el proceso que ocurre cuando los

estomas se abren y el agua se mueve a través de ellos a la atmósfera, este juega un papel importante en el equilibrio del ciclo de la energía de las plantas, atmósfera, agua y CO<sub>2</sub> (Suárez-Salazar, *et al.*, 2017), cuando existe un desequilibrio de la conductancia estomática impacta directamente en la tasa fotosintética y reduce el potencial de rendimiento de los cultivos (Gilbert, *et al.*, 2011), por otro lado una mayor conductancia estomática da como resultado una mayor tasa de fotosíntesis, incrementando la transpiración y afectando negativamente en el estado hídrico de la planta (Daymond, *et al.*, 2011; Raja-Harun y Hardwick, 1988). Las plantas injertadas producen mayor área foliar específica respecto a las no injertadas, en un estudio con hojas de pepino se demostró que la conductancia estomática en las plantas con injerto, suplementadas con fertilizaciones orgánicas son superiores hasta 21% (Peralta, *et al.*, 2016). Estudios recientes han demostrado que el uso de portainjertos incrementa el índice y la densidad estomática del haz y del envés, tamaño de estomas y células epidérmicas del envés, modificando el comportamiento fisiológico de la planta (Camposeco Montejó, *et al.*, 2018). El injerto incrementa la conductancia estomática e influye en la capacidad fotosintética, por lo tanto, a un aumento en la cantidad de clorofila a y b en plantas; se reafirma un aumento de acumulación de carbohidratos en el fruto, que da como resultado mejoras en las actividades enzimáticas (Liu, *et al.*, 2011).

### **Actividad enzimática en plantas injertadas**

Las plantas cuentan con sistemas de defensa antioxidante, uno no enzimático y otro enzimático, el no enzimático se refiere a la producción de compuestos fenólicos, carotenoides, vitamina C, y el mecanismo enzimático se compone de una serie de proteínas, como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GPX), ascorbato peroxidasa (APX), glutatión reducido (GR) y glutatión S-transferasa (Zhang, *et al.*, 2014). Naturalmente las plantas activan un mecanismo de respuesta después de situaciones de estrés causadas por factores bióticos

o abióticos (De Wit 2007), cuando se tienen grandes cantidades de especies reactivas de oxígeno (ROS) en una planta, se produce un estrés oxidativo que da como resultado modificaciones de proteínas, fuga iónica, fragmentación del ADN, peroxidación lipídica, resultando en la muerte celular (Møller, *et al.*, 2007). Cuando sometemos a un organismo vegetal a estrés en alguna etapa fenológica del cultivo obtenemos respuestas fisiológicas de la planta, manifestados como la actividad de ciertas enzimas que se involucran en el proceso de injertos, durante el periodo de prendimiento se acumulan las ROS (Irisarri, *et al.*, 2015; Xu, *et al.*, 2016). Las plantas injertadas muestran un incremento significativo en la actividad de enzimas diversas, como; nitrato reductasa que se correlaciona con el rendimiento de la fruta más grande, lo cual contribuyen a un alto rendimiento (García, *et al.*, 2016). Un aumento en la cantidad y la actividad enzimática conduce a un aumento correspondiente en el potencial de reducción, que confiere una mayor capacidad para la síntesis de aminoácidos en general, la síntesis de proteínas o asimilación neta total (Blasco, *et al.*, 2010).

### **Ácido ascórbico en tomate (vitamina C)**

El ácido ascórbico o ascorbato impacta positivamente en el crecimiento de las plantas, ya que se involucra en la división celular y síntesis de la pared celular, ayudando a fortalecer a las plantas contra los antioxidantes, agentes patógenos y otros factores (Gues, *et al.*, 2012). La vitamina C se encuentra presente en el fruto de tomate, disponible como ascorbato (reducido) y ácido dehidroascórbico (oxidado), producidos en tejidos de crecimiento, la cantidad promedio reportada de vitamina C en tomate va desde 8 hasta los 40 mg 100g<sup>-1</sup> (Frei, *et al.*, 2012).

La vitamina C, juega un papel importante en las plantas, es indispensable en la interacción planta-ambiente, este componente es defensor contra los radicales libres, ataque de patógenos y luz UV (Y. Wang, *et al.*, 2011). Participa directamente en la división y diferenciación celular, lo que lo hace

multifuncional, participando en el desarrollo de la planta y contenido hormonal (N. Horemans, *et al.*, 2003). Tener una dieta con la implementación de vitamina C (AA), funciona como un antioxidante, debido a que se le reconoce un poder ante infecciones agudas, resfriados comunes, etc., y cuya efectividad sobre el sistema inmunitario ha sido estudiada (Mauro-Martín, *et al.*, 2015).

### **Funciones del calcio en frutos de tomate**

El Ca aumenta la capacidad antioxidante total y concentración de licopeno en frutos de tomate, influyendo en la regulación de los sistemas enzimáticos, incrementando así la vida útil pos cosecha y calidad nutricional del fruto (Yfran, *et al.*, 2017), este elemento mejora el rendimiento de los frutos de tomate mediante aspersiones foliares, aumentando el número de sépalos y diámetro ecuatorial de frutos, que son indicadores de la producción, favoreciendo al rendimiento, sabor, vida de anaquel y propiedades nutracéuticas que dan valor agregado a la calidad de fruto (Rodríguez-Mendoza, *et al.*, 2015). Un estudio realizado en Chile habanero muestra que las aplicaciones de calcio, influye en el número de flores, frutos por planta y rendimiento y el contenido de antioxidantes en frutos maduros, mostrando mejoras en la calidad del mismo (Ramírez, *et al.*, 2017). El calcio aplicado de manera suplementaria en dosis de 50, 100 y 200 mol L<sup>-1</sup>, durante y posterior al amarre de frutos, redujeron el porcentaje de incidencia de frutos brechados de *Litchi chinensis* al momento de la cosecha (Martínez Bolaños, *et al.*, 2017). La aplicación de calcio en la poscosecha de frutas y hortalizas mantiene la turgencia celular, firmeza de los tejidos y el retardo de catabolismo de lípidos de membrana, como consecuencia se amplía la vida de almacenamiento de los productos hortofrutícolas (Rincón, *et al.*, 2015). Las aplicaciones de calcio suplementario mediante fertilizaciones ayudan a disminuir el número de frutos pequeños, aumentando también el número de frutos, lo que indica que este elemento es promotor de la calidad y producción en frutos

de *Physalis peruviana* L. (Álvarez-Herrera, *et al.*, 2016). Las aplicaciones de calcio en el cultivo de tomate presentan una alternativa rentable para la producción del cultivo (Caro Peñafiel, *et al.*, 2019). Estudios realizados demuestran que el calcio incrementa la capacidad antioxidante total de los frutos, mientras la concentración de licopeno aumenta en los frutos de plantas tratadas con dosis de fertilización suplementadas con Ca, asimismo, la actividad enzimática (Ramírez, *et al.*, 2010). El calcio interviene en el aumento de la calidad y el contenido de antioxidante en los frutos de manzana (Antonia, *et al.*, 2018).

Este elemento, es indispensable para la dieta humana debido a que participa en la conducción de estímulos nerviosos, regulando así el corazón y ayudando a la coagulación sanguínea, conforma los huesos humanos constituye entre el 1.5 y 2% del peso corporal (Arnaud y Sánchez, 1997).

### **Funciones del potasio en frutos de tomate**

El potasio contribuye a la producción total y calidad de los frutos del tomate (Tjalling, 2006), estudios anteriores muestran que el K mejora diversas variables en el fruto de tomate que contribuyen al rendimiento total del cultivo, entre otras que impactan a la calidad del mismo, como, diámetro polar y ecuatorial, peso de fruto, número de lóculos (Cuadra y Ramos, 2002; Cardoza, *et al.*, 2000), por tanto el tomate incrementa la producción total cuando se le adiciona suplementaciones con potasio, lo que favorece al rendimiento total del cultivo de tomate siempre y cuando se aplique la dosis adecuada, ya que en cantidades excesivas afectan estos parámetros (Jim, *et al.*, 2017). El potasio es un elemento esencial que influye directamente en crecimiento y desarrollo del tomate, los resultados de un estudio muestran que la aplicación de este fertilizante da como resultado un fruto de calibre mayor, el cual se refleja como mayor peso de fruto (De, 2020).

El potasio aplicado de manera suplementaria, participa directamente en la

formación de los frutos de tomate y favorece a la calidad nutracéutica del mismo, mediante el incremento, sólidos solubles totales (°Brix), licopeno, minerales en fruto, favoreciendo también al rendimiento (Pérez Espinoza, *et al.*, 2017). La aportación de una fertilización donde se relacione calcio acompañado con potasio, contribuye a la mejora de la calidad de frutos de mandarina, disminuyendo el rajado de fruto y alargando la vida de anaquel (Yfran, *et al.*, 2017), tiene participación directa en la acumulación de azúcares en el fruto (Pérez, *et al.*, 2002). El potasio representa una alternativa para obtener una producción del cultivo a un bajo costo y disminuyendo el impacto ambiental que causan las aplicaciones excesivas de nutrientes (Meneses, *et al.*, 2017). La calidad nutracéutica de frutos en cultivos hidropónicos es factible de mejorarse mediante el incremento del aporte de potasio proporcionado en la solución nutritiva (Díaz, *et al.*, 2018) participa como elemento esencial, debido a que influye directamente en crecimiento y desarrollo del tomate, participando en la mejora de la calidad del fruto de tomate, siendo este una hortaliza con alto contenido de vitaminas, licopeno y carotenoides, previniendo enfermedades degenerativas, por su gran poder antioxidante (Jim, *et al.*, 2017), este elemento es de vital importancia para la salud humana, debido a que aporta significativamente a la calidad organoléptica de los frutos y el contenido de fitonutrientes (Lester, *et al.*, 2010), estudios demuestran que, se ve involucrado directamente en el aumento de la capacidad antioxidante de los frutos y la composición fenólica (Constán, *et al.*, 2014), juega un papel importante en el aumento de los ácidos fenólicos, carotenoides, flavonoides, licopeno y vitaminas (Ibrahim y Jaafar, 2012), participando como activador enzimático y en la producción de proteínas y la fotosíntesis (Budiastuti, *et al.*, 2012).

El potasio es de suma importante en la dieta humana, especialmente para las personas que practican actividad física, las cuales demandan concentraciones altas del elemento (Araméndiz-Tatis, *et al.*, 2016), del mismo modo participa en la reducción del riesgo de presión arterial



derivada de una dieta elevada en sodio (Ribeiro, *et al.*, 2012).

### **Funciones del magnesio en frutos de tomate**

El magnesio aplicado de manera suplementaria genera plantas más altas y participa positivamente en la fisiología de la planta lo que da grandes beneficios en el incremento de la producción del cultivo (Reyes, *et al.*, 2017), este elemento es tan importante para la producción de cultivos, que la deficiencia disminuye en gran medida la productividad de las plantas, produciendo frutos de mala calidad (Liang, *et al.*, 2017; Jin, *et al.*, 2016). Los niveles de magnesio junto con potasio, son factores que afectan el crecimiento de las plantas, lo que puede afectar la producción total y crecimiento de la planta cuando existe un desequilibrio en la aportación de K y Mg (Li, *et al.*, 2018). El magnesio es indispensable para la calidad de las plantas, debido a que se involucra en la activación de diversos sistemas enzimáticos del metabolismo energético, siendo un auxiliar en el metabolismo del fosfato (García-Ávila, *et al.*, 2017), las fertilizaciones que van acompañadas con Mg muestran buenos resultados, como la relación Ca-Mg intervienen en el crecimiento vegetal del fruto (Ferro, *et al.*, 2020), este elemento juega un papel importante en la calidad de los cultivos (Gerendas y Fuhrs, 2013). El magnesio representa un método seguro, sostenible y económico que puede mejorar la vida útil de los frutos, mientras se conserva la calidad del mismo (Kumar, *et al.*, 2020), participa en la constitución de la clorofila y en la fosforilación de los hidratos de carbono activando las quinasas, para fertilizaciones es necesario usar una dosis adecuada para no bloquear la viabilidad de este, con elevada concentración de sus antagonistas iónicos: el calcio y el potasio (Cecilia, *et al.*, 2016), la aportación de fertilizantes complementarios son una alternativa sostenible que contribuye al rendimiento y la calidad del cultivo de tomate en condiciones de invernadero (Espinosa, *et al.*, 2019).

Es muy importante en la dieta humana, este es el segundo catión intracelular importante, siendo el cofactor en reacciones que involucre al

ATP, la deficiencia de este elemento aumenta riesgo de sufrir enfermedades en el sistema nervioso central, migrañas, enfermedades cardiovasculares, envejecimiento y diabetes tipo 2 (Baca-Ibáñez, *et al.*, 2015), es un mineral esencial para la buena salud, incrementa el sistema inmune mantiene estable el ritmo cardíaco y los huesos fuertes, además se ve involucrado en el metabolismo de energía y síntesis de proteínas (Yardley, 2013).

### **Sistema NFT**

La técnica de película nutritiva (NFT) eleva el rendimiento, debido a que la disponibilidad de nutrientes para plantas es abundante, la densidad de plantación es alta y se consigue cosechas en menor tiempo con mayor calidad que en un cultivo en suelo (Murillo, *et al.*, 2010), esta técnica está en función del requerimiento nutricional del cultivo y elementos presentes en el agua, considerando el pH de la solución nutritiva como indicador de la disponibilidad de nutrientes, es un sistema de producción alternativo a los sistemas tradicionales de producción (Jaimes, *et al.*, 2019), de igual manera el sistema NFT consiste en la recirculación del agua minimizando entre 50 y 70% de agua disponible para la planta, teniendo una producción mayor en un área menor, obteniendo hortalizas de mejor calidad, libre de patógenos y en tiempo menor a la agricultura tradicional (Botello, *et al.*, 2012), la implementación del sistema NFT, ha tomado importancia en los cultivos, debido a que puede resultar en un importante ahorro del curso agua mientras se optimiza el uso de fertilizantes (Manqueros-Avilés, *et al.*, 2015).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización geográfica

La investigación se realizó en un invernadero tipo microtúnel, con cubierta de policarbonato, del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Ubicado a 25° 21' 12.8" latitud norte y 101° 01' 51.9" longitud oeste, con una altitud de 1760 msnm.

### Material vegetal

Como variedad se utilizó tomate CID F1 de crecimiento indeterminado, con la característica de producir tomate tipo Saladette y de altos rendimientos, con frutos uniformes en tamaño y forma, pared gruesa que brinda una excelente firmeza, frutos de color rojo intenso, con larga vida en anaquel y alto rendimiento, dicho material funciona adecuadamente en sistemas de hidroponía, proveniente de la casa semillera Harris Moran. Como portainjerto se utilizó tomate Fortamino, que es un tomate de vigor muy alto con resistencia a *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*, razas 0,1 y 2, recomendado para suelos salinos, este material perteneciente a la casa semillera Enza Zaden.

### Producción de la plántula

La variedad fue sembrada el 19 de febrero del 2021 y a los 7 días posteriores el portainjerto, debido a que este posee un mayor vigor vegetativo comparado con la variedad. Para el proceso de injerto el cual fue realizado 32 días después de la siembra de la variedad, se aseguraron diámetros similares de 3 mm entre las plantas utilizadas como pie y copa de injerto, tomando en cuenta que los materiales tienen distintos ritmos de crecimiento, según características de la variedad (Carbone, *et al.*, 2019). Para el llenado de las charolas en ambos se utilizó una mezcla de peat moss con perlita a una proporción 70:30.

### **Realización del injerto**

El proceso del injerto se llevó a cabo cuando las plantas tenían un tallo de aproximadamente 3 mm de diámetro lo cual se obtuvo a los 32 días después de sembrar la variedad. Se realizó mediante la técnica de empalme, haciendo un corte en un ángulo de 45° a ambas plantas para formar la unión, conservando las plantas injertadas en una cámara de aclimatación por 15 días, brindando por 3 días posteriores condiciones de oscuridad; los primeros 5 días con un 50% de sombra, seguido de días sin sombra, la humedad relativa manejada fue de 95% y una temperatura de entre 25 y 35° C favoreciendo el prendimiento del injerto (Lee, *et al.*, 2010).

### **Establecimiento del cultivo**

El trasplante se realizó a los 28 días después de haber realizado el injerto, se colocaron 6 plantas por m<sup>2</sup> en un sistema NFT que consistió en una tubería de PVC de seis pulgadas de diámetro con una pendiente del 10% donde recirculaba la solución nutritiva de manera constante y fueron sumergidas las raíces. La recirculación se realizó con una bomba sumergible de la marca Hffheer de 8W, caudal de 600L/ H, con una altura de elevación de hasta 110-120cm, esta fue colocada en un depósito con solución nutritiva de recirculación.

### **Manejo nutricional**

La nutrición fue con solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961) en diferentes concentraciones, Inicio de crecimiento vegetativo 25%, crecimiento vegetativo pleno 50%, floración y amarre de frutos 75% y llenado de frutos y cosecha 100% y se manejó un pH de 6-6.5 y una CE de 4 dS/m.

### **Fertilizantes de calcio, potasio y magnesio**

Los fertilizantes se agregaron de manera suplementaria mediante aspersiones dirigidas al fruto desde que se detectó la formación del mismo, las aplicaciones de los tratamientos fueron cada 8 días.

Los productos utilizados fueron:

- AMIFOL K, compuesto por Potasio (K<sub>2</sub>O) 31.0%, aminoácidos libres 5.12% y diluyentes 64.88%, producto proveniente de la casa comercial TRADECORP.
- HUMISOIL MG 14, compuesto por Magnesio 14%, Nitrógeno 8%, fitohormonas 1.30%, aminoácidos libres 2%, ácidos húmicos y fúlvicos 12%, diluyentes y acondicionadores 51.70%, producto proveniente de la casa comercial PANIEL AGRO.
- HUMISOIL CA 16, compuesto por Calcio 16%, Nitrógeno 8%, fitohormonas 1.30%, aminoácidos libres 2%, ácidos húmicos y fúlvicos 12%, diluyentes y acondicionadores 60.70%, producto proveniente de la casa comercial PANIEL AGRO.

### **Aplicación de tratamientos y diseño experimental**

Se realizaron aplicaciones semanales durante todo el cuajado de frutos hasta la cosecha, dicha etapa se efectuó en un periodo de entre 45 y 70 días, el experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2 X 5, el factor 1 con dos niveles que fueron plantas injertadas y sin injerto, el factor 2 que contó con 4 niveles y correspondieron a plantas tratadas con diferentes dosis de partículas de Ca, K y Mg siendo en total diez tratamientos con 10 repeticiones. En la Tabla 1 se presentan los tratamientos estudiados.

**Tabla 1.** Tratamientos empleados, mediante la aplicación de Ca, K y Mg en tomate injertado y sin injertar a diferentes concentraciones.

TRATAMIENTOS	DESCRIPCIÓN
1	SIN INJERTO + 0 Meq
2	SIN INJERTO + 9 Meq Ca
3	SIN INJERTO + 12 Meq K
4	SIN INJERTO + 9 Meq Mg
5	SIN INJERTO + 9 Meq Ca, 12 Meq K, 9 Meq Mg
6	INJERTO + 0 Meq
7	INJERTO + 9 Meq Ca
8	INJERTO + 12 Meq K
9	INJERTO + 9 Meq Mg
10	INJERTO + 9 Meq Ca, 12 Meq K, 9 Meq Mg

### Manejo del cultivo

Cada planta se manejó a un tallo, se realizaron podas de los brotes laterales y aplicaciones preventivas y de control fitosanitario para mosca blanca, trips y otras plagas que pudieran afectar al rendimiento y productividad del cultivo. Los productos usados fueron Captan a razón de 2.0 kg ha<sup>-1</sup>, Metalaxil 3.0 kg ha<sup>-1</sup>, Muralla max 0.20 L ha<sup>-1</sup>, Cuprimicin en una dosis de 85 g 100 L<sup>-1</sup> de agua. Se realizó una programación preventiva de aplicaciones semanales con el objetivo de alternarlos y prevenir cualquier plaga que pudiera afectar el rendimiento del cultivo de tomate.

### Variables agronómicas evaluadas

#### Altura de la planta

El material utilizado para la obtención de esta variable fue un flexómetro de la marca TOOLCRAFT modelo TC0234, con una capacidad de 3 metros, esta variable se determinó finalizando el ciclo del cultivo, tomando como referencia la base del tallo y terminando con el ápice.

### **Peso de fruto**

Para esta variable se consideró el momento justo de cosecha tomando en cuenta el desarrollo total, firmeza y el color rojo uniforme ya que este indica que el fruto ha concluido su crecimiento generativo (Gisbert et al., 2016), el fruto con esas características fue cosechado y pesado utilizando una balanza analítica de la marca OHAUS CS con capacidad de 5000 g.

### **Número de hojas**

La variable número de hojas fue determinada a través de conteos que se realizaron con intervalos de 15 días, a partir del trasplante hasta el final del ciclo de cultivo.

### **Número de frutos y rendimiento**

El ciclo productivo de las plantas se llevó hasta el quinto racimo floral, hasta este punto se les cortó el ápice con la finalidad de evitar el crecimiento. Los frutos fueron cosechados a los 82 días después del trasplante y fueron cosechados en base a la clasificación de la USDA (USDA, 1975) que indica que los frutos deben de presentar un 90% un color rojo uniforme, los frutos fueron contabilizados y pesados en una balanza portátil (OHAUS, modelo H-8109) para estimar el rendimiento teniendo como base al volumen final de producción.

### **Diámetro ecuatorial y polar de frutos**

Para la determinación de estas variables se seleccionaron 5 frutos por tratamiento durante el momento de cosecha, se midió diámetro polar y ecuatorial del fruto con ayuda de un vernier digital de la marca STANLEY (150 mm).

### **Variables - calidad comercial**

Los frutos seleccionados para la evaluación de las variables de calidad comercial fueron obtenidos de las plantas utilizadas para determinar el

rendimiento.

### **pH**

Para la determinación del pH en el jugo de tomate se empleó un medidor de bolsillo (HI98129, Hanna Instruments Inc.), las muestras fueron seleccionadas y evaluadas hasta que los frutos alcanzaron su estado de maduración.

### **Firmeza**

La determinación de esta variable se realizó en el momento de cosecha, seleccionando frutos de color rojo uniforme y se requirió del uso de un penetrómetro de la marca QA modelo FT-327, las lecturas se reportaron en kg  $\text{cm}^{-2}$ .

### **Sólidos solubles totales (°brix)**

Para determinar el contenido de sólidos solubles totales se seleccionaron los frutos con un color rojo uniforme, estos se cosecharon y fueron llevados al laboratorio para obtener una muestra del contenido interno del fruto, posteriormente se colocó una gota en el lector del refractómetro digital (VEEGEE, Modelo BTX-1.), se obtuvo la concentración en % de sólidos solubles.

### **Contenido de vitamina C**

Se realizó mediante el método volumétrico (Padayatty, *et al.*, 2001), pesando 20 gramos de muestra fresca, posteriormente se colocaron en un mortero, adicionándole 10 mL de HCl al 2% y se trituró por completo, se agregó 100 mL de agua destilada, posteriormente se homogenizó la muestra usando un mortero y se filtró, en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, una vez obtenido el volumen exacto de la muestra utilizamos una alícuota de 10 mL del filtrado. Colocamos reactivo 2,6-diclorofenolindofenol ( $1 \times 10^{-3}$  N) en una bureta volumétrica de 10 mL y fue titulada la alícuota hasta



obtener un color rosa constante por 30 segundos, realizando el cálculo en base al volumen del reactivo gastado en dicho procedimiento para obtener el contenido de vitamina C.

### **Determinación mineral del fruto**

#### **Cuantificación de nitrógeno**

Para la cuantificación del contenido de nitrógeno se utilizó el método Kjeldahl, se llevó la muestra a un proceso de descomposición usando un medio ácido en caliente, en conjunto con un agente reductor catalizador (Selenio). Se procedió adicionando hidroxilo de sodio con el objetivo de aumentar el punto de ebullición de la disolución en el ácido sulfúrico. El tratamiento transformó el nitrógeno de la muestra en  $\text{NH}_4^+$ , después se adicionó una base fuerte que liberó el  $\text{NH}_3$ , el cual se llevó hasta un frasco colector por destilación en corriente de vapor (C.W. Kreidels Verlag, 1883). Dicha cuantificación se realizó en la facultad de ingeniería y ciencias, en el laboratorio de edafología de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

#### **Cuantificación de fósforo**

Para la determinación de fósforo se utilizó la técnica de “Fósforo en planta por espectrofotometría UV-Visible”. Se preparó una línea de calibración, preparando 6 soluciones para formar una línea de calibración, con pipetas se añadieron los mL correspondientes a los 20 mg/LP, a tubos de ensayo de 20 mL, agregando 2 mL de heptamolibdato-vanadato y la cantidad de agua desionizada requerida para hacer 10 mililitros, después se agitó y dejó reposar durante media hora. La absorbancia de cada una de las soluciones fue leída a 470 nm en un espectrofotómetro UV-visible, dicha cuantificación se realizó en la facultad de ingeniería y ciencias, en el laboratorio de edafología de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

### **Cuantificación de minerales por absorción atómica**

Para la determinación de K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn se realizó mediante una digestión con ácido nítrico, se pesaron 0.5 g de muestra seca en un vaso de precipitados de 100 mL, se le agregaron 30 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado, se llevó a ebullición durante 3 horas manteniendo el volumen inicial de 30 ml. Se filtró con papel Whatman No.42, y se aforo a 50 ml con agua desionizada (Hernández-Hernández, et al., 2018). La solución resultante se analizó con un espectrómetro de emisión de plasma Inductively Coupled Plasma (ICP), Termo Jarrel Ash Irish Advantage modelo 74400, dicha cuantificación se realizó en la facultad de ingeniería y ciencias, en el laboratorio de investigación y diagnóstico agrícola de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

### **Variables enzimáticas**

#### **Catalasa**

La cuantificación de la enzima catalasa se realizó mediante la medición de la actividad en tiempo 0 (T<sub>0</sub>) y tiempo 1 (T<sub>1</sub>), se preparó un blanco inicial que fue preparado añadiendo 0.1 mL del extracto de la muestra, 1 mL de buffer fosfatos (pH 7.1) y 0.4 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5%), a la mezcla para el tiempo 0 se le agregó 0.1 mL del extracto de biomoléculas y se añadió 0.4 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5%) y 1 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 100 mM, preparando una mezcla para el tiempo 1, a este se le agregó 0.1 mL de extracto de biomoléculas y 1 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 0.4 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5%) que fueron aplicados después de 60 segundos de reacción del extracto de biomoléculas y el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, considerando importante una temperatura aproximada de 20°C en una agitación constante. Se tomó la lectura en un espectrofotómetro (Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis), a una longitud de onda de 270 nm. La actividad enzimática se determinó a partir de extrapolar las absorbancias en la ecuación de la recta de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. La unidad reportada de catalasa se expresa como mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por minuto entre el total de proteínas (Cansev, et al., 2011).

### **Glutación peroxidasa (GPX)**

Para la cuantificación de esta enzima se usó el método establecido por Xue, et al., (2001), donde se hizo uso de  $H_2O_2$  como sustrato. Añadiendo extracto de biomoléculas, una cantidad de 0.2 mL en un tubo de ensaye y 0.2 mL de glutación reducido a 0.1 M más 0.2 mL de  $Na_2HPO_4$  a una concentración de 0.67 M, se realizó la mezcla y se precalentó en baño de agua (IKA® HB 10 basic) a una temperatura de 25°C por 5 minutos, transcurrido el tiempo se añade 0.2 mL de  $H_2O_2$  a 1.3 mM para iniciar la reacción catalítica, después de este proceso de 10 minutos se agregó 1 mL de ácido tricloro acético (ATA 1%) para detener la reacción y se colocó la mezcla en baño de hielo por un aproximado de 30 minutos, se llevó a la centrifuga a 3000 repeticiones por minuto (rpm) por 10 minutos, una vez obtenido el sobrenadante se tomaron 0.48 mL y se colocaron en un tubo de ensaye, agregando 2.2 mL de  $Na_2HPO_4$  a 0.32 M y 0.32 mL de una solución 1 mM del colorante ácido 5,5 ditio-bis-2-nitro benzoico (DTNB), las lecturas se llevaron a cabo en un espectrofotómetro UV-VIS a 412 nm. Por último, la actividad enzimática GPX se obtuvo a partir de extrapolar las absorbancias en la ecuación de la recta de glutación reducido mM de glutación por minuto entre el total de proteínas.

### **Ascorbato peroxidasa (APX)**

La actividad enzimática de Ascorbato peroxidasa se determinó por el método de Nakano y Asada, (1987). Agregando 100  $\mu$ L del extracto enzimático, 500  $\mu$ L de ascorbato (10 mg L<sup>-1</sup>), y se adiciono 1 mL de  $H_2O_2$  a 100 mM, la absorbancia fue medida a una longitud de onda de 266 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis), considerándolo como tiempo 0, después de 1 minuto la muestra se vuelve a leer y este será el tiempo 1, la curva de calibración fue preparada con ascorbato, y los resultados se expresaron en mM de ascorbato por minuto entre el total de proteínas.

### **Superóxido dismutasa (SOD)**

Se realizó con el kit SOD Cayman 706002®. Realizando una mezcla con 20 µL de extracto, 200 µL de detector de radicales (sal de tetrazolio) y 20 µL de solución de xantina oxidasa se colocó en una microplaca que se cubrió con una cubierta transparente, se realizó agitación por un tiempo de 10 segundos, se procedió a incubar la mezcla a una temperatura de 26°C por 30 minutos, fue leído a una absorbancia de 450 nm. El método usa la sal de tetrazolio como detector de radicales superóxidos generados por la xantina oxidasa e hipoxantina. Una unidad de SOD se define como la cantidad de enzima necesaria para exhibir un 50% de dismutación del radical superóxido. La actividad SOD se expresa como % de tasa de inhibición, a partir de la ecuación descrita por el kit comercial.

### **Variables – nutracéuticas**

#### **Extracción de biomoléculas**

Al momento de la cosecha, los frutos seleccionados fueron congelados en una temperatura menor a -6°C, al momento de realizar el proceso de liofilización se colocaron en envases de plástico con tapa, realizando perforaciones a los lados para facilitar el proceso (LABCONCO, FreeZone 2.5 Liter Benchtop Freeze Dry System), el proceso se realizó en un aproximado de 48 horas. Se utilizó un mortero de porcelana se tomaron 100 mg de muestra adicionando 20 mg de polivinil pirrolidona (Sigma®) y 2.0 mL de 0.1 M de buffer de fosfatos pH 7-7.2, se llevó a sonicación (Ultrasonic Cleaner Branson 1510) por 5 min. La muestra obtenida se centrifugó a 12500 rpm por 10 min a 4°C (Microcentrifuga Refrigerada Labnet Prism tm R), el sobrenadante fue recolectado y filtrado con una membrana de nylon (PVDF.45µm), se realizó una dilución 1:15 con buffer de fosfatos (Ramos, *et al.*, 2010).

### **Fenoles totales**

En la cuantificación de los fenoles totales se utilizó Folin-Ciocalteu (Rivero, *et al.*, 2001). Usando 200 mg de material liofilizado, se procedió a agregar 1 ml de la solución agua: acetona 1:1, y se llevó a 10000 repeticiones por minuto (rpm) a temperatura de 4°C por 10 minutos, obteniendo como resultado final el sobrenadante. En tubos de ensayo se inició la reacción, colocando 50 µL del extracto, 200 µl del reactivo Folin-Ciocalteu 1 M, 500 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 20% y 5 ml de agua destilada. Para dar continuidad al proceso de reacción se incubo a una temperatura de 45°C por 30 minutos, se procedió a leer con el espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific modelo G10S UV-Vis) en una longitud de onda de 750 nm, extrapolando con una curva de calibración en unidades de mg l<sup>-1</sup> de ácido gálico que fue realizada de manera previa.

### **Licopeno**

El licopeno en el fruto de tomate fue cuantificado mediante la técnica de Bunghez (Bunghez, *et al.*, 2011), se pesó 100 mg de tejido liofilizado y se colocó en un tubo de ensayo de 2 mL, añadiendo 2 mL de hexano a la muestra, luego se llevó al vortex (Scientific Industries SI-0136 Vortex-Genie 1 Touch Mixer) por un tiempo determinado de 30 segundos, después se llevó al sonicador por 5 minutos, y después a la centrifuga por 10 minutos a 10000 repeticiones por minuto (rpm) a una temperatura de 4°C, el sobrenadante obtenido fue filtrado con una membrana de nylon (PVDF, 45µm), y se cuantifico en el espectrómetro a 472 nm. Las concentraciones se determinaron con la curva de calibración previamente trazada con estándar de licopeno (Sigma-Aldrich).

### **Capacidad antioxidante hidrofílica (ABTS)**

Se realizó la primera reacción que consto en mezclar el ABTS A 7 mM con persulfato de potasio a 2.45 mM (1:1 v/v) en la oscuridad durante 16 horas, después de que concluye el tiempo se diluye con etanol al 20%

hasta que se obtiene una absorbancia de entre 0.7 y 0.01 en una longitud de onda de 754 nm, después, para obtener la capacidad antioxidantes de los compuestos hidrofílicos, en un tubo de ensaye se colocaron 20  $\mu\text{L}$  del extracto muestra y 980  $\mu\text{L}$  de la dilución del radical del ABTS obtenido en la reacción anterior, fueron agitados durante 5 segundos y se procedió a un reposo en completa oscuridad. Se procedió a leer con el espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific modelo G10S UV-Vis) en una longitud de onda de 754 nm, los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido ascórbico por gramo de peso seco ( $\text{mg EAA g}^{-1}\text{ PS}$ ) (Re, *et al.*, 1999).

### **Proteínas totales**

Para la determinación de proteínas se realiza por el método de Bradford (Bradford, 1976), donde se tomó 0.1 mL de los estándares o muestras y se mezcló con 1 mL del reactivo de Bradford, teniendo la reacción se depositó la mezcla en una celdilla de plástico y se procedió a leer en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 595 nm, utilizando solución tampón como blanco. El contenido de proteína se expresa como gramos por kg de peso seco de material vegetal ( $\text{g/kg PS}$ ). Se extrapolo con una curva de calibración con una solución de Albúmina Sérica Bovina (ASB).

### **Análisis estadístico**

Para el procesamiento de los datos se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias utilizando la prueba de LSD ( $P \leq 0.05$ ). Se utilizó el software Infostat versión 2017.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados agronómicos

#### Efecto del injerto sobre las variables agronómicas en plantas de tomate

Con el factor de injerto se logró la producción de hasta 5.2 kilogramos de frutos por planta, logrando un incremento del 30% en comparación al testigo, de acuerdo al peso de fruto y el número de frutos, como se muestra en la **Tabla 2**. Resultado similar a lo reportado por Treviño López *et al.*, (2021), quienes usaron la técnica de injertos y observaron una diferencia significativa en las variables agronómicas, incrementando área foliar y altura de planta, lo que trae resultados positivos en la producción total, coincidiendo con Moncada *et al.*, (2013), Gisbert *et al.*, (2011) y López-Marin *et al.*, (2017), estos autores mencionan que los aspectos productivos de la planta mejoran a través de la implementación de los injertos. Madariaga (2017), argumenta que en el cultivo de tomate las variables agronómicas se ven positivamente influenciadas por los injertos, mejorando así la producción del cultivo. Además, se obtuvo un incremento en las variables agronómicas evaluadas, favoreciendo a las plantas injertadas, tanto en altura de planta (AP), número de hojas (NH), número de frutos (NF), diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE) y peso de fruto (PF), (Tabla 2), sobresaliendo las variables de peso de fruto que incrementaron hasta 19% y número de frutos 18%, con similitud a lo reportado por Velasco-Alvarado *et al.*, (2016) y Velasco-Alvarado *et al.*, (2019), quienes mencionan que la técnica de injerto incrementa la producción total mediante el número de frutos que la planta produce, Morán y Vera (2012), mencionan que el aumento de la producción que existe en los cultivos con injertos se debe al mayor vigor que ofrecen las plantas injertadas. En este trabajo de investigación se obtuvo un incremento de diámetros de frutos provenientes de plantas injertadas, lo

que repercute en frutos más grandes, esto concuerda con Sánchez y colabores (2015) quienes mencionan que la técnica de injerto favorece al tamaño de los frutos, incrementando la producción total hasta en un 50%, Grimaldo-Juárez (2020), afirma que el tamaño de los frutos provenientes de las plantas injertadas aumenta en un 17.7% en comparación a frutos provenientes de plantas no injertadas, Treviño López *et al.*, (2021), obtuvieron resultados que muestran que el efecto del injerto afecta positivamente en variables de producción de pepino injertado, como el aumento en el diámetro de los frutos y peso de fruto en con relación a las plantas sin injerto, similares a los resultados en un trabajo de investigación realizado por Colla *et al.*, (2006), quienes reportaron un incremento en la longitud de fruto, número de frutos y rendimiento por planta, los valores más altos fueron obtenidos en los frutos provenientes de plantas de sandía injertadas.

### **Efecto de la adición de Ca, K y Mg sobre las variables agronómicas en plantas de tomate**

La aplicación de las formulas no mostró diferencias significativas en la variable altura de la planta, **Tabla 2**, de acuerdo con Barragán Rosado *et al.*, (2018), afirman que si existe un cambio significativo en la altura de plantas, siempre y cuando las aplicaciones de fertilizantes sean de modo foliar, esto fue comprobado en un estudio en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*), del mismo modo Camacho *et al.*, (2020), remarcan que en efecto, siempre y cuando existan aplicaciones de fertilizantes vía foliar existe una mejora en la variable altura de planta, en un estudio de tomate verde realizado por Francisco (2015), muestran que en ese cultivo, las aplicaciones foliares mejoran la altura y tamaño de las plantas, debido a que en el presente trabajo se realizaron aplicaciones directas al fruto, no se observaron diferencias estadísticamente positivas para este factor, lo mismo sucedió con las variables número de hojas y numero de frutos, las cuales por no interferir en su desarrollo durante las aplicaciones de los tratamientos, no se vieron influenciadas por dichas formulas, número de



hojas y número de frutos tampoco se vieron influenciados.

La variable peso de frutos, fue favorecida consecuentemente por las aplicaciones de todas las fórmulas de fertilización en comparación al testigo absoluto, mostrando un incremento de 6% para las fórmulas de potasio (0-12-0), magnesio (0-0-9) y calcio, potasio y magnesio (9-12-9) y un 5% para la formula calcio (9-0-0), con similitud a lo reportado por Guerrero-Polanco *et al.*, (2018), quienes indican que una adecuada fertilización donde se implemente el potasio como fuente principal, repercute beneficiosamente en el incremento del peso de frutos en aguacate Hass, por otro lado Yfran *et al.*, (2017), dicen que la relación de K en sincronía con el Ca, ayudan a alcanzar frutos más grandes que dan como resultado el aumento del peso de los frutos de mandarina, así mismo Sabino-lópez *et al.*, (2018), coinciden con que este elemento interviene en el peso promedio de frutos de *Physalis peruviana* en hidroponía e invernadero, lo que incrementa el peso de los frutos de las plantas, esto demuestra según Aburto-González *et al.*, (2018), que una fertilización apropiada con potasio, ya sea solo o con algún otro fertilizante ayuda a los arboles de *Litchi chinensis* al rendimiento del cultivo, ya que existe un incremento de numero de frutos y mayor peso del mismo.

El calcio también participa en las formulas donde se manifestó un incremento de peso de los frutos, coincide con lo reportado por Montenegro *et al.*, (2016), quienes al realizar una fertilización con calcio suplementario en el cultivo de tomate saladette obtuvieron mayor crecimiento de fruto mostrando frutos más grandes que incrementaron el peso a diferencia del testigo, así mismo Salas-Rivera *et al.*, (2020), indican que la fertilización con calcio acompañada con potasio incrementa el rendimiento de tomate en invernadero, favoreciendo, en un estudio realizado por de Oliveira *et al.*, (2021), se observa una mejora en el tamaño y el peso de los frutos de tomate en ambiente protegido, como consecuencia de una fertilización con potasio y calcio.

El magnesio también influyo en el peso de los frutos, similar a lo reportado

en un estudio realizado por Cole *et al.*, (2016), quienes indican que este elemento aplicado de manera individual o como fertilizante de liberación lenta, da resultados beneficiosos en plantas, aumentando el crecimiento y la producción del cultivo mediante el peso de los frutos de *Embllica officinallis*, otro estudio realizado por Huu Nguyen *et al.*, (2017), indican que el magnesio (Mg), en compañía de potasio (K) y el calcio (Ca) se convierten en nutrientes antagónicos entre sí, aún que en una fertilización adecuada donde se integre Mg en conjunto con estos elementos, puede aumentar el peso de fruto y la calidad en *Citrus maxima Merr.*

Los resultados obtenidos muestran que las aplicaciones de calcio favorecen a la variable de diámetro ecuatorial (Tabla 2), con similitud a lo descrito por, Rodríguez-Mendoza *et al.*, (2015), quienes notaron que con las aspersiones foliares de calcio se obtuvo un diámetro ecuatorial mayor, por la característica que el calcio tiene, donde forma parte fundamental de la membrana, coincidiendo con Acosta Pérez *et al.*, (2019), quienes mencionan que las aplicaciones de calcio aumentan directamente el diámetro del fruto y el peso del mismo, Caro Peñafiel *et al.*, (2019), afirman que las aplicaciones de este elemento incrementan el diámetro de los frutos debido a que forma parte fundamental de la membrana, contribuyendo a las variables vegetativas, en otro estudio de investigación elaborado por Hilda *et al.*, (2016), mencionan que este elemento es fundamental para la formación del fruto, y aplicarlo en la formula correspondiente mejoran el tamaño de los frutos en mango ataulfo (*Mangifera indica L.*).

### **Efecto de la interacción injerto vs aplicaciones de Ca, K y Mg sobre las variables agronómicas en plantas de tomate**

Las interacciones de las diferentes fórmulas de fertilizantes aplicadas vs el factor injerto muestran un incremento en todas las fertilizaciones que fueron aplicadas a frutos provenientes de las plantas injertadas (Tabla 2), demostrando que un cultivo injertado adicionado con un buen programa de

fertilización es una alternativa para el incremento del rendimiento favoreciendo a las variables agronómicas, con similitud a lo reportado por Cosme *et al.*, (2020), quienes observaron excelentes resultados en las variables agronómicas en plantas de sandía (*Citrullus lanatus Thunb*) injertadas y fertilizadas adicionalmente, esto concuerda con lo reportado por Chabbal *et al.*, (2022), quienes también afirman que el uso de portainjertos en naranjo dulce 'Valencia Late' (*Citrus sinensis*), en conjunto con una fertilización adecuada aumentarán en gran medida los parámetros agronómicos del cultivo.

En el presente estudio destaca la variable diámetro ecuatorial de frutos, favoreciendo a la fertilización con calcio quien participa positivamente en el incremento de diámetros polares y ecuatoriales del fruto de tomate (Tabla 2), lo que se observa en un trabajo de investigación realizado por Rodríguez-Mendoza *et al.*, (2015), quienes observaron resultados estadísticamente positivos en el incremento de tamaño de los frutos, evaluando diámetros del mismo que aumentaron, este resultado fue atribuido a las aspersiones de calcio de manera suplementaria, lo que concuerda con Acosta Pérez *et al.*, (2019), donde los resultados mostraron que una fertilización con calcio aumentan las dimensiones de los frutos de tomate, mejorando rendimiento, así mismo Ramírez *et al.*, (2017), mencionan que este elemento incrementa el tamaño de los frutos de vid cultivar shiraz, aumentando el rendimiento del cultivo.

**TABLA 2.** Comportamiento agronómico del cultivo del tomate injertado y suplementado con Ca, K y Mg.

Factor	Tratamiento	AP	NH	NF	DP	DE	PF
Injerto	CI	179.68 a	25.04 a	32.72 a	87.61 a	55.51 a	158.1 a
	SI	157.60 b	22.60 b	29.76 b	81.61 b	48.93 b	134.22 b
Significancia		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Ca-K-Mg	0	167.50 a	23.80 a	31.50 a	84.56 a	51.79 b	139.54 b
	9-0-0	158.50 a	23.90 a	31.90 a	85.15 a	53.37 a	146.95 a
	0-12-0	160.60 a	23.70 a	32.00 a	84.15 a	52.08 b	148.51 a
	0-0-9	169.70 a	23.90 a	31.40 a	84.29 a	51.98 b	148.30 a
	9 - 12 - 9	168.9 a	23.80 a	31.90 a	84.66 a	51.88 b	147.28 a
Significancia		0.6492	0.9905	0.2042	0.6148	0.0757	0.0001
Interacciones	CI -0	178.00 a	22.60 b	33.60 a	87.00 b	54.72 b	152.94 b
	CI -9-0-0	179.80 a	25.00 a	33.80 a	89.08 a	57.98 a	160.10 a
	CI -0-12-0	179.80 a	24.80 a	33.60 a	86.44 b	55.28 b	159.60 a
	CI -0-0-9	180.00 a	25.40 a	33.40 a	87.16 b	55.20 b	159.58 a
	CI -9-12-9	180.80 a	25.00 a	34.20 a	87.88 a	54.38 b	158.48 a
	SI -0	157.00 b	22.60 b	29.40 b	82.12 c	48.86 c	126.74 e
	SI -9-0-0	157.20 b	22.80 b	30.00 b	81.22 c	48.76 c	133.80 d
	SI -0-12-0	157.40 b	22.60 b	30.40 b	81.86 c	48.88 c	137.54 c
	SI -0-0-9	159.40 b	22.40 b	29.40 b	81.42 c	48.78 c	136.92 c
	SI -9-12-9	157.00 b	22.60 b	29.60 b	81.44 c	49.38 c	136.08 c
Significancia		0.7973	0.8938	0.9169	0.1211	0.0175	0.0993
CV (%)		1.88	4.18	5.32	1.76	2.6	1.5

**Tabla 2.** Comparación de medias de los efectos del injerto, Dosis Ca-K-Mg e interacción entre dosis e injertos con respecto a las variables agronómicas. CI= con injerto, SI= sin injerto. CV= Coeficiente de Variación. AP (cm)= altura de la planta, NH= número de hojas, NF: Numero de Frutos, DP (mm): Diámetro polar de fruto, DE (mm): Diámetro ecuatorial de frutos, PF (g)= peso de frutos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ), prueba LSD Fisher).

## Calidad comercial del fruto

### Efecto del injerto sobre la calidad comercial de frutos de tomate

El factor injerto no muestra interacción significativa para las variables de calidad comercial de frutos evaluadas, Tabla 3, se observa que este factor de manera independiente muestra diferencia estadísticamente positiva para las variables evaluadas, como firmeza, incrementándose hasta un 4% en las plantas injertadas, similar a lo reportado por Pérez-Grajales et al., (2021), quienes observaron que en frutos de *Capsicum pubescens* cosechados de los híbridos injertados fueron más firmes, con respecto a los provenientes de plantas no injertadas, de igual forma Sánchez et al., (2015), concluyen que en pimiento morrón se obtiene una mayor firmeza en frutos provenientes de plantas injertadas con el porta injerto Terrano, coincidiendo con Devi et al., (2020); Leo Sabatino et al., (2021), quienes mencionan que la técnica de injerto impacta positivamente en la variable firmeza de los frutos, mejorando la calidad comercial del mismo.

El pH de los frutos del presente trabajo, no se vio afectado por el factor injerto, con similitud a lo reportado en un estudio en el cultivo de tomate injertado por Riga *et al.*, (2015), donde esta variable no se vio influenciada por la técnica de injerto, mencionan que se debe a que la elección del portainjerto es de suma importancia debido a que este modifica o no el contenido de pH en el fruto, coincidiendo con diferentes autores, quienes afirman que los injertos no modifican el pH de los frutos (Nicoletto, *et al.*, 2013; Turhan, *et al.*, 2011; Barret, *et al.*, 2012).

De igual manera la variable SST no mostró diferencias estadísticamente significativas en relación al factor injerto, un estudio realizado en el cultivo de sandía injertada muestran que el contenido de SST no es significativo en comparación con las plantas no injertadas (Cosme, *et al.*, 2020), coincidiendo con Davis y Perkins (2005); Kyriacou y Soteriou (2015) y Moreno *et al.*, (2019), quienes mencionan que esto se debe al portainjerto

utilizado ya que este determina directamente el contenido de SST, incluso se puede llegar a una reducción de la misma variable, del mismo modo se han realizado trabajos que reportan resultados positivos en tal variable, pero los resultados no son atribuidos al factor injerto (Bekhradi, *et al.*, 2011; Mohamed, *et al.*, 2012).

La vitamina C no muestra diferencias estadísticas en cuanto al factor injerto, similar a lo reportado por Moreno *et al.*, (2019), quienes no obtuvieron modificaciones en el contenido de vitamina C en tomate, coincidiendo con Fernández-García *et al.*, (2004).

### **Efecto de la adición de Ca, K y Mg sobre la calidad comercial de frutos de tomate**

La firmeza de los frutos fue favorecida por la aplicación de Ca-K-Mg, con la fórmula 9-12-9, mejorando hasta un 17% en los frutos tratados (Tabla 3), concuerda con lo mencionado con Cuador *et al.*, (2022), quienes observaron en las fertilizaciones con K, Ca y Mg pueden tener resultados positivos en la calidad de frutos siempre y cuando sean aplicados en dosis adecuadas, de acuerdo con Hernández-Pérez *et al.*, (2020), el potasio (K) y el calcio (Ca) se asocian con la calidad del fruto del tomate, mejorando significativamente la firmeza del mismo, así como una fertilización donde se adicione magnesio ayuda a reprimir efectos depresivos sobre la calidad de los frutos (Chuquillanqui 2018).

Mientras que para SST se encontró una diferencia de hasta un 15% favoreciendo las dosis calcio (9-0-0) y calcio, potasio y magnesio (9- 12-9), las aspersiones de Ca como fertilizante suplementario principal y miel como inductor de calidad impactan en las variables de calidad principalmente en los sólidos solubles (°Brix) (Rodríguez-Mendoza, *et al.*, 2015), de acuerdo con Aguilar Amezcua *et al.*, (2019), las aplicaciones de calcio en frutos de guayaba (*Psidium guajava*), pueden llegar a mejorar variables de calidad del fruto, como el contenido de SST, sin embargo, si a las aplicaciones de calcio se le adicionan macronutrientes con un fuerte

impacto como el potasio se obtienen resultados que mejoran doblemente la calidad de los frutos Hernández-Pérez *et al.*, (2020), con similitud a un estudio reportado por Prasad *et al.*, (2015), quienes reportan que las aplicaciones de calcio en sincronía con potasio mejoran el contenido de SST en el fruto de peral, coincidiendo por lo reportado por Aly *et al.*, (2015), quienes reportan una mejora significativa del contenido de SST en frutos de naranja como resultado de las aplicaciones en sincronía de calcio, potasio y zinc como tercer elemento.

Por otro lado, la concentración de pH en el fruto se ve favorecida por las formulas donde se implementó únicamente calcio (9-0-0) y potasio (0-12-0), similar a lo reportado por Borrás *et al.*, (2017), quienes observaron que las aplicaciones de calcio mejoran el pH en *Solanum tuberosum*, que coincide con lo reportado por Araya *et al.*, (2015), en un estudio del cultivo de sorgo donde se observó una mejora en el contenido de pH, lo que confirman Giraldo *et al.*, (2020), mencionando que una fertilización adecuada con calcio posiciona el pH del fruto en un nivel adecuado, el calcio modifica el pH debido a la precipitación de carbonatos, mejorando la absorción de nitrógeno, estimulando los mecanismos bioquímicos donde la mayoría de los nutrientes de las plantas son absorbidos, sin el calcio adecuado, los mecanismos de absorción podrían fallar (Cano, 2014).

Por otro lado el potasio es un elemento que favorece la translocación de fotosintatos desde las hojas hacia los órganos demandantes, en este caso los frutos (Pérez Espinoza, *et al.*, 2017); Además, la aplicación de potasio es una ventaja puesto que por ser aplicado directamente agiliza el funcionamiento de todos los procesos en los que participa, lo que se puede ver favorecido en la calidad del fruto (Trinidad y Aguilar, 1999), los resultados obtenidos en este trabajo de investigación coinciden con lo reportado por Insuasti *et al.*, (2017), quienes observaron que las aplicaciones de potasio inciden en el pH de cultivos de lechuga, tomate y chile, González *et al.*, (2017), mencionan que el potasio estabiliza el potencial hídrico, involucrándose en la osmoregulación, la activación de

enzimas, la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, la translocación de fotosintatos y el transporte en las membranas.

El ácido ascórbico es un agente antioxidante necesario para la formación del material celular y mantenimiento del mismo, este reduce la acción perjudicial de los radicales libres y coadyuva al mejoramiento de la absorción del hierro no hemínico (Grosso G, *et al.*, 2013; Shaik-Dasthagirisaheb YB, *et al.*, 2013), en este trabajo, el contenido de vitamina C incremento en un 50% con las fórmulas de calcio (9-0-0) y calcio, potasio y magnesio (9- 12-9). Estudios demuestran que las aplicaciones de calcio en conjunto con boro u otros fertilizantes de gran importancia fisiológica, que inciden en el contenido nutracéutico del fruto pueden incrementan el contenido de vitamina C (Islam, *et al.*, 2016), en el cultivo de tomate, las aspersiones de calcio como fertilizante suplementario mejora la calidad nutracéutica del fruto, incrementando el contenido de vitamina C del mismo (Rodríguez-Mendoza, *et al.*, 2015; Arthur, *et al.*, 2015). De acuerdo con Prasad (2015), el calcio en sinergia con otro elemento como potasio, se atribuye a grandes mejoras en la calidad de frutos, incrementando principalmente el contenido de vitamina C en el fruto de peral, Bhat *et al.*, (2009), mencionan que los aumentos en el contenido de ácido ascórbico podrían atribuirse a una mayor síntesis de algunos metabolitos y sustancias intermedias que promovieron la síntesis del precursor del ácido ascórbico y dieron como resultado una mejora en el contenido de ácido ascórbico, de acuerdo con Chandra *et al.*, (2015), las fertilizaciones que son complementadas con magnesio, contribuyen a la calidad de los frutos, mejorando en gran medida el contenido de vitamina C en aonla (*Emblica officinallis*).



### **Efecto de la interacción injerto vs aplicaciones de Ca, K y Mg sobre la calidad comercial de frutos de tomate**

En la Tabla 3 se observa que para la variable de sólidos solubles totales, las interacciones donde se contaba con ambos factores: plantas no injertadas/plantas injertadas mostraron buenos resultados, en plantas injertadas con todas las formulas aplicadas y plantas no injertadas con, calcio (9-0-0), potasio (0-12-0) y calcio, potasio y magnesio (9-12-9), dejando en las plantas no injertadas en segundo nivel a magnesio aplicado de manera individual como fertilizante suplementario, de acuerdo con Gerendás *et al.*, (2013), las aplicaciones de magnesio de manera individual no muestran cambios en el contenido de sólidos solubles totales en frutos, lo que hizo que las aplicaciones de magnesio en frutos injertados modificara esta variable se le atribuye a la técnica de injerto, de acuerdo con Ramos González (2016), los injertos tienen repercusiones significativas en el cultivo de melón, mejorando drásticamente la calidad del fruto, similar a lo reportado por Costa Villanueva (2020), quien obtuvo la mejora de los sólidos solubles totales como resultado de uso de injertos en el cultivo de melón, en un experimento realizado muestra el efecto de plantas injertadas, en los cuales se probaron diferentes portainjertos y en algunos casos favorecía al contenido de SST, aumentando hasta en un 11 y 13% con respecto al testigo (Colla, G *et al.*, 2022). La mayoría de los reportes señalan que el contenido de SST tiende a disminuir en plantas injertadas (Davis A, *et al.*, 2008). Aunque, la posibilidad de incrementar los SST existe (Flores, *et al.*, 2010), como sucedió en este estudio. Sin embargo, en donde se aplicaron formulas con calcio, potasio y magnesio (9-12-9), a pesar de incluir el magnesio los resultados fueron positivos, estudios anteriores muestran que la aplicación conjunta de Mg con Ca, da como resultado la mejora de los frutos, parece ser predominantemente una consecuencia del suministro de Ca (Costa Villanueva, *et al.*, 2020), similar a lo reportado por Alcaraz-López *et al.*, (2004), los autores realizaron fertilizaciones suplementarias de Ca y Mg en melocotonero, los

resultados mostraron que la aplicación de fertilizantes combinados aumentaron el rendimiento y calidad de la fruta, el mismo grupo de trabajo realizo un trabajo de investigación donde se obtuvieron efectos positivos de la aspersión foliar de Mg sobre la calidad de frutos (Alcaraz-Lopez, *et al.*, 2003).

Se observa un comportamiento alternante en las variables de calidad de frutos evaluadas frente a los factores experimentales, esto puede deberse a la actividad del fertilizante frente a los factores evaluados, las plantas que presentan la técnica de injerto y las no injertadas complementadas con un buen aporte de fertilizantes tiene repercusiones positivas sobre la calidad del fruto, aunque esta puede variar atribuyéndose a la efectividad del fertilizante (Ramos González, 2016).

**Tabla 3.** Comportamiento de la calidad de los frutos del cultivo del tomate injertado y suplementado con Ca, K y Mg.

Factor	Tratamiento	Firmeza	pH	SST	Vitamina C
Injerto	CI	2.81 a	4.34 a	5.08 a	15.21 a
	SI	2.69 b	4.34 a	5.04 a	14.49 a
Significancia		0.002	0.8582	0.421	0.1627
Ca-K-Mg	0	2.57 d	4.15 c	4.37 d	12.28 b
	9-0-0	2.69 c	4.36 a	5.39 a	18.29 a
	0-12-0	2.62 c	4.47 a	5.21 b	12.90 b
	0-0-9	2.81 b	4.31 b	5.03 c	12.35 b
	9 - 12 - 9.	3.08 a	4.42 b	5.30 a	18.42 a
	Significancia		0.0001	0.0001	0.0001
Interacciones	CI -0	2.61 d	4.15 c	4.37 c	12.28 b
	CI -9-0-0	2.80 c	4.38 b	5.37 a	18.18 a
	CI -0-12-0	2.66 d	4.47 a	5.21 a	13.90 b
	CI -0-0-9	2.82 c	4.30 b	5.26 a	13.08 b
	CI -9-12-9	3.15 a	4.41 a	5.21 a	18.60 a
	SI -0	2.53 d	4.14 d	4.37 c	12.29 b
	SI -9-0-0	2.58 d	4.34 a	5.41 a	18.40 a
	SI -0-12-0	2.58 d	4.47 a	5.21 a	11.89 b
	SI -0-0-9	2.80 c	4.31 b	4.81 b	11.62 b
	SI -9-12-9	2.96 b	4.42 a	5.39 a	18.23 a
Significancia		0.1547	0.9875	0.0087	0.5764
CV (%)		3.76	2.84	3.76	12.08

**Tabla 3.** Comparación de medias de los efectos del injerto, Dosis Ca-K-Mg e interacción entre dosis e injertos en variables de calidad comercial de frutos de tomate. CI= con injerto, SI= sin injerto. CV. = Coeficiente de Variación. SST= sólidos solubles totales (°Brix), F= Firmeza (kg cm<sup>-2</sup>). pH=, Vitamina C= (mg 100g<sup>-1</sup> de peso fresco). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ), prueba LSD Fisher.

### Contenido mineral del fruto

#### Efecto del injerto sobre el contenido mineral de frutos de tomate

El factor injerto muestra una interacción significativa, la implementación de plantas injertadas mostró un incremento con respecto a la composición mineral de los frutos frescos, incrementando la concentración de N en un 4%, P 1%, K 21%, Ca 10%, Mg 19%, Fe 64%, Cu 6%, Zn 7% y Mn 6%,

similar a lo reportado por Schwarz *et al.*, (2010), quienes mencionan que la técnica de injertos favorecen en gran medida la asimilación de elementos minerales, permitiendo reducir la aplicación de fertilizantes, de acuerdo con Velasco-Alvarado *et al.*, (2016), quienes observaron en un estudio con plantas de tomate variedad CID injertadas con el portainjerto multifort una mejor asimilación de nutrientes en el fruto. La técnica de injertos favorece a la asimilación de elementos minerales en el fruto (Lee, *et al.*, 1998; Lee y Oda, 2003; Leonardi y Giuffrida 2006; Savvas, *et al.* 2011; Passam, *et al.*, 2007). Un estudio realizado por Jiménez *et al.*, (2021), muestra que las concentraciones de Fe en la planta incrementan significativamente como consecuencia del uso de injertos en manzano, el uso de injertos favorece a la asimilación de Fe en los frutos (Nachtigall y Dechen 2006; Cheng y Raba 2009), esta técnica es una alternativa para incrementar el contenido mineral del fruto, de acuerdo con Soteriou *et al.*, (2021), el uso de injertos incrementa el contenido de Mg en la pulpa de sandía, lo que antes había sido afirmado por Rouphael *et al.*, (2008), similar a lo reportado por Liu *et al.*, (2020), quienes obtuvieron como resultado del portainjerto el incremento de magnesio en el fruto de naranja injertada.

### **Efecto de la adición de Ca, K y Mg sobre el contenido mineral de frutos de tomate**

En la tabla 4, se observa que la fórmula de calcio, potasio y magnesio (9-12-9), mejoro la concentración de los elementos en frutos frescos hasta un 13% en N, P 4%, K 3%, Ca 5%, Mg 6%, Fe 75%, Cu 8%, Zn 16%, Mn 12%, es muy posible que esto ocurra gracias a que la formula integraba al Ca y Mg, lo que da lugar a que los iones compitan entre sí por los sitios de absorción (Marschner, 1995), las diferencias estadísticamente positivas que presenta la dosis Ca, K y Mg son grandes, esto puede deberse a la competencia que existe entre los elementos, los cuales modifican la disponibilidad de otros minerales como el calcio y magnesio, favoreciendo a los frutos (Navarro, *et al.*, 2018), por tal motivo la interacción Ca-K-Mg

(adsorción-desorción), consideran a estos nutrientes como poco móviles, mientras el K es requerido en grandes cantidades, el Ca y el Mg son requeridos en menor cantidad, la sinergia de estos tres fertilizantes mejora las propiedades de los frutos (Alcantar, *et al.*, 2013).

Las fórmulas de magnesio (0-0-9) y calcio, potasio y magnesio (9-12-9), contribuyeron a la mejora del perfil mineral para Ca, elevándolo hasta un 5%, de igual manera con el magnesio donde hubo un incremento de 6% y cobre en un 8% en comparación al testigo, similar a los resultados en un trabajo de investigación donde, la concentración de elementos en el fruto de tomate, se incrementa en 12.9 % más con fertilizaciones suplementarias (Rodríguez-Mendoza, *et al.*, 2015).

El Nitrógeno aumenta hasta un 13%, también se observa la participación en la mejora del perfil mineral del fruto con la aplicación de potasio (0-12-0) y calcio, potasio y magnesio (9-12-9), con similitud a lo reportado en un estudio realizado por Ananías *et al.*, (2015), donde se reporta un incremento del contenido mineral, especialmente con el contenido de Nitrógeno como resultado de la fertilizaciones altas con NPK, con el objetivo de usar el K como fuente principal, el nitrógeno puede ser fácilmente influenciado por aplicaciones adicionales de fertilizantes químicos, mostrando estadísticamente mayor contenido que los otros minerales en tomate verde (*Physalis ixocarpa*) (Aguñaga-Bravo, *et al.*, 2020).

Las aplicaciones de potasio (0-12-0) no mostraron diferencias estadísticamente positivas en la mayoría de los minerales evaluados, este resultado puede estar estrechamente relacionado con los procesos bioquímicos, fisiológicos y moleculares, en función al crecimiento de fruto, desarrollo, rendimiento del cultivo y defensa de las plantas, que detrinen los que guardan relación con la bioquímica del fruto y concentración de nutrientes, es por ese motivo que no se producen cambios significativos (Malerba y Cerana, 2016), también puede explicarse por la combinación del portainjerto y variedad que fueron utilizados en este trabajo de

investigación, similar a lo reportado por Leonardi y Giuffrida (2006), donde se estudiaron distintos tipos de portainjertos sobre el perfil mineral del fruto de tomate, observando una disminución de un 36% según el portainjerto utilizado, mientras que con portainjertos diferentes hubo un incremento de 47%.

### **Efecto de la Interacción injerto vs aplicaciones de Ca, K y Mg sobre el contenido mineral de frutos de tomate**

La interacción plantas injertadas y aplicaciones de calcio, potasio y magnesio (9-12-9) influyen positivamente en el contenido mineral de frutos, puede deberse a la competencia que existe entre los elementos Ca y Mg, estos modifican la disponibilidad de otros minerales, favoreciendo al contenido mineral en los frutos (Navarro, *et al.*, 2018; Marschner, 1995), la interacción Ca-K-Mg (adsorción-desorción), consideran a estos nutrientes como poco móviles, mientras el K es requerido en grandes cantidades por los cultivos, el Ca y el Mg son requeridos en menor cantidad (Alcantar, *et al.*, 2013), lo cual puede explicar que el aporte de estos tres elementos lo hacen disponible para el fruto, mostrando los mejores resultados que se reflejan en la presencia de otros elementos minerales, mientras los injertos muestran su participación en el incremento de los minerales, estudios anteriores muestran que en tomate injertado, se eleva de manera significativa el perfil mineral del fruto (Velasco-Alvarado, *et al.*, 2016), las concentraciones de los minerales en los frutos provenientes de plantas injertadas pueden mejorar si se le aporta potasio y magnesio los cuales aumentan el contenido mineral de los frutos (Orduz-Rios, *et al.*, 2020).

**Tabla 4.** Comportamiento del perfil mineral del fruto del cultivo del tomate injertado y suplementado con Ca, K y Mg.

Factor	Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
		%	mg/Kg							
Injerto	CI	2.43 a	352.00 a	3359.00 a	166.07 a	123.60 a	49.15 a	1.97 a	6.92 a	4.50 a
	SI	2.32 b	348.00 b	2937.00 b	151.20 b	104.30 b	29.85 b	1.85 b	6.45 b	4.24 b
Significancia		0.0187	0.0001	0.00001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Ca-K-Mg	0	2.23 c	345.00 c	3092.00 a	155.37 b	102.80 b	34.10 c	1.84 c	6.41 b	4.20 c
	9-0-0	2.34 b	345.00 c	3216.00 a	155.55 b	105.10 b	34.30 c	1.90 b	6.64 b	4.38 b
	0-12-0	2.48 a	345.00 c	3113.00 a	153.00 b	103.80 b	34.17 c	1.86 b	6.52 b	4.29 b
	0-0-9	2.30 c	352.00 b	3120.00 a	164.17 a	129.10 a	35.19 b	1.93 a	6.42 b	4.27 b
	9 - 12 - 9.	2.52 a	359.00 a	3198.00 a	164.29 a	129.00 a	59.74 a	1.99 a	7.46 a	4.73 a
Significancia		0.0019	0.0001	0.3615	0.0001	0.0001	0.0001	0.041	0.0001	0.0001
Interacciones	CI -0	2.19 c	348.00 b	3306.00 a	158.61 b	103.60 b	35.45 c	1.86 c	6.56 b	4.21 c
	CI -9-0-0	2.44 b	347.00 b	3446.00 a	159.26b	104.50 b	35.64 c	1.93 b	6.76 b	4.41 b
	CI -0-12-0	2.55 a	348.00 b	3330.00 a	156.26 b	103.60 b	36.46 c	1.89 c	6.44 b	4.25 b
	CI -0-0-9	2.44 b	358.00 a	3311.00 a	178.09 a	154.00 a	40.66 b	2.02 a	6.51 b	4.34 b
	CI -9-12-9	2.55 a	360.00 a	3402.00 a	178.15 a	152.50 a	89.52 a	2.13 a	8.34 a	5.29 a
	SI -0	2.27 b	343.00 c	2878.00 b	152.14 c	102.20 b	29.74 d	1.83 c	6.25 c	4.18 c
	SI -9-0-0	2.24 b	344.00 b	2987.00 b	151.84 c	105.70 b	29.96 d	1.88 c	6.52 b	4.34 b
	SI -0-12-0	2.40 a	347.00 b	2897.00 b	151.35 c	104.00 b	29.85 d	1.83 c	6.44 b	4.32 b
	SI -0-0-9	2.17 c	346.00 b	2929.00 b	150.25 c	104.20 b	29.72 d	1.84 c	6.33 c	4.21 c
	SI -9-12-9	2.49 a	358.00 a	2995.00 b	150.42 c	105.50 b	29.96 d	1.85 c	6.57 b	4.16 c
Significancia		0.1547	0.0013	0.9886	0.0001	0.0001	0.0001	0.0129	0.0001	0.0001
CV (%)		6.17	0.8	4.7	1.56	4.1	0.66	4.13	3.78	3.1

**Tabla 4.** Comparación de medias de los efectos del injerto, Dosis Ca-K-Mg e interacción entre dosis e injertos en variables de perfil mineral del fruto de tomate. CI= con injerto, SI= sin injerto. CV= Coeficiente de Variación. Ca: Calcio, P: Fosforo, Mn: manganeso, Zn: Zinc, Cu: Cobre, Fe: Hierro, K: Potasio, Mg: Magnesio, N: Nitrógeno. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ), prueba LSD Fisher.

## Actividad enzimática

### Efecto del injerto sobre la actividad enzimática de los frutos de tomate

El factor injerto muestra una interacción significativa en la actividad enzimática de los frutos, los resultados arrojan una significancia estadísticamente positiva para el factor injerto en la actividad enzimática de SOD, como se ve en la Tabla 5, aumentando hasta un 25% en comparación a las plantas no injertadas, similar a lo reportado por Sánchez *et al.*, (2015), quienes observaron en frutos de pimiento morrón, que la técnica de injerto mejoró de forma significativa el contenido fitoquímico del fruto, asumiéndose que el uso de portainjertos podría ser una técnica viable en la horticultura sustentable del futuro, otros estudios reportan que SOD es una enzima involucrada en el proceso de curación del injerto, por lo cual puede verse reflejado en el contenido de esta enzima en frutos, ya que tiene a ayudar en la formación de la unión del injerto (Chen, *et al.*, 2016), las enzimas SOD, tienen función protectora contra las especies reactivas de oxígeno (ROS), estas son bioprotectoras en el proceso de conversión de superóxido en oxígeno y peróxido de hidrógeno a través de reacciones cíclicas de oxidación y reducción con el metal del sitio activo (Santos, *et al.*, 2018; Azadmanesh J, 2018; Williems, *et al.*, 2016). La actividad enzimática de GPX se ve favorecida por el factor injerto en un 11% contra los frutos provenientes de las plantas que no fueron injertadas, esta enzima es depuradora de ROS dentro de la célula (Islam, *et al.*, 2015). No existe diferencia significativa para el caso de las enzimas CAT y APX, similar a lo reportado por Fernández-García *et al.*, (2004), donde la actividad de APX en frutos de tomate, no fue significativa estadísticamente, otros estudios reportan que el factor injerto, no modifica la actividad de esta enzima (He, *et al.*, 2009).

Por otro lado la catalasa se considera una enzima involucrada en el proceso de defensa celular contra el alto  $H_2O_2$ , que tiene lugar después del proceso del injerto, generado durante la lignificación (Fernández-García,



*et al.*, 2004), lo que no sucedió en este trabajo, en la técnica de injertos, el portainjerto define la capacidad enzimática o no enzimática (Soto Landeros, *et al.*, 2017), de acuerdo con Caballero *et al.*, (2017), la actividad enzimática puede ser modificada o no dependiendo de cada especie de frutos y de los factores que se integren.

### **Efecto de la adición de Ca, K y Mg sobre la actividad enzimática de frutos de tomate**

Con respecto a las dosis aplicadas, se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa con la actividad enzimática de catalasa, favoreciendo a las fórmulas de calcio, potasio y magnesio (9-12-9), calcio (9-0-0) y potasio (0-12-0), incrementando en un 17%, 18% y 15% con respecto al testigo absoluto, el uso del calcio de manera suplementaria en frutos, puede influenciar directamente el contenido antioxidante, esto se reportó en un estudio realizado con kiwi, donde se obtienen diferencias altamente significativas favoreciendo al contenido enzimático (Shahkoomahally y Ramezania, 2013), en un estudio realizado en caqui (*Diospyros kaki Thunb.*) se ve un incremento significativo de la actividad enzimática de catalasa, suplementada con aplicaciones de calcio (Bagheri, *et al.*, 2014), otro estudio realizado con pepino, muestra que la aplicación suplementaria de este elemento lleva a la inducción de la misma (Mofidnakhaei, *et al.*, 2016), por otro lado las aplicaciones de potasio, mejoran significativamente la AE de la enzima catalasa, similar a lo reportado en trabajos de investigación donde, las aplicaciones con este fertilizante mejoran la respuesta fisiológica de las plantas, aumentando AE de la enzima catalasa (El-Sharkawy, *et al.*, 2017), también hay un antagonista de la relación entre la absorción de K y Ca (York, *et al.*, 1953; Mcveoy, *et al.*, 1955), por lo tanto el aumento de la AE de la enzima podría ser el resultado de la interacción sinérgica entre los dos nutrientes (Ding, *et al.*, 2006), mientras el magnesio es requerido por los frutos, participando como un cofactor en la tasa de absorción enzimática (Uwitonze, *et al.*,

2018), las aplicaciones de magnesio en sinergia con potasio estimulan la actividad enzimática (Naeem, *et al.*, 2021).

La actividad enzimática de la enzima SOD mejora con las fórmulas de potasio (0-12-0), magnesio (0-0-9); calcio, potasio y magnesio (9-12-9), en un 15% con relación al testigo, de acuerdo con Cumplio-Nájera (2019), las fertilizaciones con potasio mejoran significativamente la actividad enzimática de SOD en tomate, Amjad *et al.*, (2016), mencionan que las aplicaciones de potasio influyen positivamente en la AE de SOD en el cultivo de tomate, lo que favorece a la calidad nutracéutica del fruto, Zhang *et al.*, (2021), confirman mediante un trabajo de investigación realizado en el cultivo de tomate, donde observaron que las aplicaciones de potasio participan directamente en la estabilidad de la enzima SOD. Las aplicaciones de magnesio (0-0-9) favorecieron a la actividad enzimática SOD, un estudio realizado muestra que las aplicaciones de magnesio en *Vicia faba*, aumentan de manera significativa la AE de SOD (Siddiqui, *et al.*, 2016), similar a lo reportado por Boaretto *et al.*, (2020), quienes observaron en limoneros el incremento de la actividad enzimática SOD como resultados de las aplicaciones de magnesio.

Las aplicaciones de la fórmula Ca, K y Mg (9-12-9), mostraron buenos resultados para el incremento de la actividad enzimática de SOD, de acuerdo con Ding *et al.*, (2006), mencionan que al realizar aplicaciones de K y Ca en sinergia existe un efecto antagónico, dando como resultado mayor actividad enzimática, además si aplicamos una fuente de magnesio los resultados pueden ser mejores debido a que este elemento es un cofactor en la tasa de absorción enzimática (Uwitonze, *et al.*, 2018), de acuerdo con Neem *et al.*, (2021), este elemento en sinergia con potasio estimula la actividad enzimática de frutos.

Todos los tratamientos mejoran la actividad enzimática de APX, a excepción de magnesio, que muestra que esta enzima disminuye, el potasio (K) y el magnesio (Mg) contribuyen críticamente al proceso de fotosíntesis y al posterior transporte a larga distancia de fotoasimilados,

una fertilización con estos minerales ayuda a la regulación positiva de los mecanismos fotoprotectores (Tränkner, *et al.*, 2018), pero se recomienda una aplicación de magnesio en compañía con otros fertilizantes, debido a que esta combinación, puede alcanzar resultados más óptimos en procesos fisiológicos del fruto, haciéndolo disponibles para los sitios de absorción (Marschner, 1995).

La actividad enzimática de GPX no fue estadísticamente significativas con respecto a las formulas aplicadas, en un estudio realizado por López-Vargas (2018), mencionan que la adición de fertilizantes no siempre incrementa la actividad enzimática en cultivo de tomate, Jincy *et al.*, (2017), mencionan que cuando no existe un incremento de la actividad enzimática puede deberse a la inactivación de más enzimas por los efectos tóxicos de ROS.

#### **Efecto de la interacción injerto vs aplicaciones de Ca, K y Mg sobre la actividad enzimática de frutos de tomate**

No se presento alguna interacción significativa entre el factor injerto y nutrición en las variables de actividad enzimáticas evaluadas, esto puede deberse posiblemente a la manera independiente en que actúan los fertilizantes aplicados de manera suplementaria al factor injertos, las concentraciones de proteína variante o en desequilibrio se presentan cuando hay una asimilación diferente del fertilizante aplicado, inestabilizando la asociación y actividad de la subunidad ribosómica causando bajas o altas actividades enzimáticas (Yamamoto, *et al.*, 2010).

**Tabla 5.** Comportamiento de la actividad enzimática de los frutos del cultivo del tomate injertado y suplementado con Ca, K y Mg.

Factor	Tratamiento	CAT	SOD	APX	GPX
Injerto	CI	7.12 a	1.07 a	11.83 a	1.00 a
	SI	6.97 a	0.85 b	10.29 a	0.90 b
Significancia		0.2779	0.0001	0.0639	0.0002
Ca-K-Mg	0	6.30 c	0.88 c	11.35 a	0.97 a
	9-0-0	7.47 a	0.86 c	11.13 a	0.93 a
	0-12-0	7.29 a	1.02 a	12.22 a	0.98 a
	0-0-9	6.77 b	1.02 a	8.80 b	0.95 a
	9-12-9	7.40 a	1.05 a	11.55 a	0.91 a
Significancia		0.0001	0.0197	0.0985	0.3004
Interacciones	CI -0	6.40 b	1.04 b	12.76 a	1.01 a
	CI -9-0-0	7.39 a	0.97 b	11.74 a	1.00 a
	CI -0-12-0	7.44 a	1.21 a	13.55 a	1.03 a
	CI -0-0-9	7.22 a	1.09 a	9.11 b	1.00 a
	CI -9-12-9	7.45 a	1.08 a	12.00 a	0.94 a
	SI -0	6.21 b	0.72 d	10.01 a	0.92 b
	SI -9-0-0	7.54 a	0.97 b	10.97 a	0.87 d
	SI -0-12-0	7.44 a	0.83 c	10.90 a	0.93 a
	SI -0-0-9	6.32 b	0.94 b	9.11 b	0.90 c
	SI -9-12-9	7.34 a	1.04 b	11.09 b	0.89 d
Significancia		0.0739	0.1479	0.8378	0.8328
CV (%)		5.99	14.26	22.86	7.47

**Tabla 5.** Comparación de medias de los efectos del injerto, Dosis Ca-K-Mg e interacción entre dosis e injertos con respecto a las variables enzimáticas del fruto de tomate, CI= con injerto, SI= sin injerto, CV= coeficiente de variación. CAT= catalasa (mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por min<sup>-1</sup>/ total de proteínas), GPX= glutatión peroxidasa (mM de glutatión min<sup>-1</sup>/ total de proteínas). SOD= Superóxido dismutasa (UmL-1de proteínas totales), APX= Ascorbato peroxidasa (mM de ascorbato consumido min<sup>-1</sup>/ total de proteínas). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ), prueba LSD Fisher.

## Calidad nutracéutica del fruto

### **Efecto del injerto sobre la calidad nutracéutica de los frutos de tomate**

El factor injerto muestra una interacción positiva en las variables nutracéuticas evaluadas, en el caso de licopeno, Cuadro 6, las plantas injertadas incrementaron el contenido en un 31%, esta técnica tiene una influencia directa en la acumulación de este componente en las plantas injertadas, aunque todavía no se conoce el mecanismo exacto (Lv, *et al.*, 2015), ya que el licopeno afecta en gran medida el mecanismo y el metabolismo de los frutos y de la planta injertada a nivel transcripcional (Guo, *et al.*, 2015), en el cultivo de sandía injertada, el incremento de licopeno es significativo estadísticamente, usando calabaza y sandia silvestre como portainjertos (Kong, *et al.*, 2017). Por otro lado, potencial antioxidante es favorecido incrementando 9% en favor a las plantas injertadas, estudios anteriores en el cultivo de berenjena muestran resultados similares en los frutos provenientes de plantas injertadas que presentaron modificaciones en el contenido de la capacidad antioxidantes (José, *et al.*, 2014), por otro lado no se reportan diferencias entre factores para la variable de fenoles totales, similar a lo reportado en un trabajo de investigación donde existe un decremento, o valores no significativos de esta variable en plantas injertadas (Moncada, *et al.*, 2013), otros estudios muestran que los fenoles totales, pueden mantenerse o disminuir en plantas provenientes de tomate injertado con diferentes portainjertos, lo que indica que este factor impacta mucho en el contenido de esta variable (Vrcek, *et al.*, 2011), la variedad del portainjerto utilizado es un factor de gran importancia que define el contenido de licopeno en los frutos de tomate (Jiménez, *et al.*, 2002; Martínez, *et al.*, 2002).

### **Efecto de la adición de Ca, K y Mg sobre la calidad nutracéutica de frutos de tomate**

El contenido de licopeno en frutos de tomate, mostró efectos positivos con la fórmula de calcio (9-0-0), incrementando hasta 15% en relación al testigo, esta variable juega un papel importante debido a que es un pigmento vegetal natural y está clasificado como un carotenoide que es encargado de dar el color rojo a los tomates y a otras frutas y verduras (Aràndiga Martí, *et al.*, 2008; Fernández, *et al.*, 2007; Pérez, 2019; Meza 2021), estudios anteriores muestran que las fertilizaciones suplementarias con calcio influyen positivamente a la concentración de este pigmento en los frutos de tomate (Beckles, 2012; Hernández-Pérez, *et al.*, 2020), así como fue descrito por Ramírez *et al.*, (2010), quienes mencionan que las aplicaciones de calcio se involucra con el incremento del color (licopeno) en el fruto de tomate, siendo una alternativa para mejorar la calidad nutracéutica, esto puede deberse al efecto directo que ejerce el calcio sobre la influencia sobre la síntesis de giberelinas (Ozbay y Ergun, 2015), además, el calcio participa en la maduración, ayudando a que el color que caracteriza al fruto sea apto en el mercado, debido a que los mecanismos moleculares de calcio tienen efectos beneficiosos a las propiedades físicas y químicas de los productos hortofrutícolas (Yang, *et al.*, 2010), este participa en la biosíntesis y señalización de etileno, regulación de las vías metabólicas como la biosíntesis de ácido abscísico (ABA) y el ciclo de ascorbato, el etileno cumple un papel muy importante en el proceso de maduración del fruto, dando color y mejorando la calidad nutracéutica del mismo (Pérez, *et al.*, 2015).

El potencial antioxidante muestra una mejor respuesta con la dosis de calcio, potasio y magnesio (9-12-9) superando en un 29% al testigo absoluto, una fertilización adecuada donde se use potasio adicionado con elementos que participen en la calidad nutracéutica, puede estimular el incremento de la capacidad antioxidante en el fruto de papa de color (Anna Michalska, *et al.*, 2016), esto puede ser atribuido a la importancia que

tienen los elementos potasio, calcio y magnesio en la formación del fruto, que al hacerlos disponibles para el fruto mejoran el contenido de antioxidantes en el mismo (Tränkner, *et al.*, 2018), otro factor es la sinergia entre K y Ca, la cual desencadena un proceso antagónico, esto puede ayudar a incrementar el potencial antioxidante y actividad enzimática en el fruto (Ding, *et al.*, 2006).

El contenido de fenoles totales se ve favorecido por las fórmulas de calcio (9-0-0) y calcio, potasio y magnesio (9-12-9) con un incremento del 4% y 9%, estudios anteriores confirman que las aplicaciones complementarias de Ca aumentan los componentes fenólicos, ya que este elemento es un nutriente importante para aumentar la calidad y rendimiento en los cultivos hortofrutícolas (Antonia, *et al.*, 2018), similar a lo reportado por Guzmán-Maldonado, *et al.*, (2015), quienes observaron un aumento en la composición fenólica de las hojas de moringa suplementadas con una fuente de calcio, otros estudios confirman que las aplicaciones de calcio aumentan significativamente el contenido de capacidad antioxidante, al mismo tiempo aumenta el contenido de compuestos fenólicos en el fruto de manzana (Antonia, *et al.*, 2018). La fórmula aplicada de Ca, K y Mg contribuyen a la mejora de los fenoles totales, esto puede ser atribuido a la aplicación sinérgica de Ca y K y la actividad antagónica que el primero efectúa, la cual hace que entre ellos compitan y den como resultado el incremento de los compuestos en el fruto (Lutenberg, 2019).

### **Efecto de la interacción injerto vs aplicaciones de Ca, K y Mg sobre la calidad nutracéutica de frutos de tomate**

El contenido de licopeno en los frutos fue favorecido por la interacción plantas injertadas suplementadas con las fórmulas de calcio (9-0-0) y calcio, potasio y magnesio (9-12-9), estas se ven favorecidas superando a las demás interacciones en un 77% y 91%, en tomate producido bajo condiciones de invernadero se reporta un incremento del contenido de licopeno con dosis de calcio aplicado como fertilización suplementaria (Cano-Hernández, *et al.*, 2019), otros estudios muestran que al evaluar la

aplicación foliar de calcio en tomate 'Floradade', existe un incremento de licopeno, los autores indican que durante el proceso de maduración existe un efecto directo en la inhibición en la síntesis de giberelinas (Ozbay y Ergun, 2015). El potencial antioxidante de los frutos fue favorecido por la interacción plantas injertadas suplementadas con la fórmula de calcio, potasio y magnesio (9-12-9) incrementando en un 50%, el potasio (K) y el magnesio (Mg) son nutrientes minerales que las plantas requieren en grandes cantidades, estas en una aplicación suplementaria aumentan el contenido de antioxidantes (Tränkner, *et al.*, 2018). El contenido, fenoles totales muestra interacciones estadísticamente positivas con las formulas donde participa el magnesio (0-0-9) y calcio, potasio y magnesio (9-12-9) con plantas injertadas superando al resto de los tratamientos en un 3% y 104%. Un estudio realizado, indica que el magnesio aplicado de forma suplementaria, tiene efectos interactivos para la composición fenólica ya que el suministro de este elemento combinado con otros fertilizantes da mejores resultados para la calidad y composición de *Tanacetum parthenium* (Farzadfar, *et al.*, 2017), la complejidad del metabolismo fenólico indica que la acumulación diferencial de ácidos fenólicos y flavonoides bajo el aporte de Mg, pueden suceder (Keski-Saari, *et al.*, 2007; Kováčik, *et al.*, 2011), puede suponer que el aporte de nutrientes causado por la deficiencia o el exceso de Mg y Mn que dirigen el flujo de carbono hacia los fenoles al afectar el OPP (Müller, *et al.*, 2013; Marichali, *et al.*, 2014).



**Tabla 6.** Comportamiento del contenido nutracéutico de los frutos del cultivo del tomate injertado y suplementado con Ca, K y Mg.

Factor	Tratamiento	Licopeno	PA	FT
Injerto	CI	67.21 a	53.86 a	849.29 a
	SI	51.11 b	49.62 b	827.14 a
Significancia		0.0001	0.0001	0.0765
Ca-K-Mg	0	58.27 b	43.98 d	827.14 b
	9-0-0	60.68 b	57.77 b	838.75 b
	0-12-0	62.87 a	48.11 c	815.54 b
	0-0-9	54.59 b	46.41 d	851.25 a
	9-12-9	59.38 b	62.42 a	858.39 a
Significancia		0.1705	0.0001	0.1836
Interacciones	CI -0	47.31 c	43.58 f	839.64 c
	CI -9-0-0	73.56 a	63.31 a	825.36 c
	CI -0-12-0	79.26 a	47.37 d	848.57 b
	CI -0-0-9	47.31 c	48.55 d	884.29 a
	CI -9-12-9	60.73 b	66.41 a	914.64 a
	SI -0	41.36 c	44.27 f	814.64 c
	SI -9-0-0	47.81 c	52.24 c	852.14 b
	SI -0-12-0	46.48 c	48.85 c	782.50 d
	SI -0-0-9	61.86 c	44.27 f	818.21 c
	SI -9-12-9	58.03 b	58.44 b	802.14 c
Significancia		0.0001	0.0001	0.0004
CV (%)		11.2	4.77	4.55

**Tabla 6.** Comparación de medias de los efectos del injerto, Dosis Ca-K-Mg e interacción entre dosis e injertos con respecto a las variables nutracéuticas en frutos de tomate, CI= con injerto, SI= sin injerto. CV. = Coeficiente de Variación. Licopeno= (mg 100g<sup>-1</sup> de tejido seco). PA= Potencial antioxidante (Capacidad Antioxidante mM). FT= Fenoles totales (equivalentes de Ácido Gálico en mg kg<sup>-1</sup>). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ), prueba LSD Fisher.

## CONCLUSIONES

El injerto muestra un efecto positivo en las variables agronómicas, en cuanto a las variables de calidad comercial los injertos incrementaron la firmeza de los frutos de tomate, el contenido mineral del fruto se ve favorecido por los injertos, así como las enzimas superóxido dismutasa (SOD) y glutatión peroxidasa (GPX), favoreciendo también al contenido de licopeno y potencial antioxidante.

Las aplicaciones de calcio por sí solo aumenta el diámetro ecuatorial de frutos, mientras el peso de fruto se ve beneficiado por todas las fertilizaciones usadas, la calidad comercial se ve favorecida con calcio-potasio-magnesio, siendo la misma dosis y calcio solo quienes favorecen a SST y Vitamina C, el pH mejora con aplicaciones de calcio y potasio, el contenido mineral de los frutos se ve favorecido por la dosis de calcio-potasio- magnesio, teniendo participación también magnesio y potasio por sí solo, el licopeno es favorecido por aplicaciones de potasio, mientras que el resto de las variables nutracéuticas incrementaron con aplicaciones de calcio-potasio-magnesio.

La interacción de las plantas de tomate injertadas y tratadas con asperciones suplementarias de calcio mejoran diámetros ecuatoriales en frutos de tomate en plantas injertadas, el peso del fruto se benefició con todas las fertilizaciones en plantas injertadas. Por otra parte SST incremento con ambos factores empleados con todas las fertilizaciones aplicadas, el perfil mineral del fruto fue influenciado en plantas injertadas con aplicaciones de magnesio y calcio-potasio-magnesio, calcio y potasio incrementaron en plantas injertadas el contenido de licopeno, potencial antioxidante es favorecido por aplicaciones de calcio y calcio-potasio-magnesio, mientras que fenoles totales incrementa con aplicaciones de magnesio y calcio-potasio-magnesio.

## REFERENCIAS

- Aburto-González, C. A., Alejo-Santiago, G., López-Bueno, B. A., Sánchez-Hernández, R., Luna-Esquivel, G., y Ramírez-Guerrero, L. G. (2018). Importancia del potasio y el anillado en el rendimiento y calidad del fruto de litchi. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 20, 4277–4287. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.997>.
- Acosta Pérez, L. F., y Cabrales Herrera, E. (2019). RESPUESTA DEL TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) A UNA ENMIENDA CALCICA EN UN SUELO ÁCIDO DE SUCRE – COSTA CARIBE COLOMBIANA. *Suelos Ecuatoriales*, 49(1 y 2), 45-52. [https://doi.org/10.47864/SE\(49\)2019p45-52\\_104](https://doi.org/10.47864/SE(49)2019p45-52_104)
- Aguilar Amezcua, C. V., Matías Almora, M. C., Gutiérrez Arzate, D., Solís Galván, J., y Chirino Galindo, G. (2019). Evaluación del cloruro de calcio a diferentes concentraciones en poscosecha de guayaba (*Psidium guajava* L.) con diferentes temperaturas. [https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/revista\\_tendencias\\_2019.pdf](https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/revista_tendencias_2019.pdf).
- Aguñaga-Bravo, Arturo, Medina-Dzul, Kati, Garruña-Hernández, René, Latournerie-Moreno, Luis, y Ruíz-Sánchez, Esaú. (2020). Efecto de abonos orgánicos sobre el rendimiento, valor nutritivo y capacidad antioxidante de tomate verde (*Physalis ixocarpa*). *Acta universitaria*, 30, e2475. Epub 22 de octubre de 2020. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2475>.
- Alcaraz-Lopez C, Botia M, Alcaraz CF, Riquelme F (2003) Efectos de las aspersiones foliares que contienen calcio, magnesio y titanio en la calidad de la fruta de ciruela (*Prunus domestica* L.). *J Plant Physiol* 160: 1441–1446.
- Alcaraz-López, C., Botía, M., Alcaraz, C. F., y Riquelme, F. (2004). Efecto de las aspersiones foliares que contienen calcio, magnesio y titanio sobre la calidad del fruto de durazno (*Prunus persica* L.). *Diario de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura*, 84(9), 949-954.
- Al-Harbi, A., Hejazi, A. y Al-Omran, A. (2017). Respuestas del tomate injertado (*Solanum lycopersicon* L.) al estrés abiótico en Arabia Saudita. *Revista Saudita de Ciencias Biológicas*. 24(6): 1274-1280.
- Álvarez, M. T., Núñez, M. A., y Wendlandt, T. R. (2017). Caracterización de la cadena de valor del tomate rojo fresco en México. *Revista Global de Negocios*, 5(3), 45–58. <ftp://ftp.repec.org/opt/ReDIF/RePEc/ibf/rgnego/rgn-v5n3-2017/RGN-V5N3-2017-4.pdf>.

- Álvarez-Herrera, J. G., Fischer, G., y Vélez-Sánchez, J. E. (2016). Producción de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(2), 222. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i2.4177>.
- Aly, MA, Harhash, MM, Awad, RM y El-Kelawy, HR (2015). Efecto de la aplicación foliar con tratamientos de calcio, potasio y zinc sobre el rendimiento y la calidad del fruto de naranjos Washington navel. *Medio Oriente J. Agric. Res.*, 4 (3), 564-568.
- Amjad, M., Akhtar, J., Murtaza, B., Abbas, G. y Jawad, H. (2016). La acumulación diferencial de potasio da como resultado una respuesta variada de tolerancia a la sal en cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Horticultura, Medio Ambiente y Biotecnología*, 57 (3), 248-258.
- Ananías, R., Crisólogo, B., Martín, Á., Del, R., Abad, G., Cachique, D., Plasencia, E. A., y López, L. A. (2015). Absorción y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en sacha inchi (*plukenetia volubilis* L.) En suelos ácidos, san martín, Perú. 24(2), 123–130. <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL1446.pdf>.
- Anna Michalska, Aneta Wojdyło, Bożena Bogucka, (2016), La influencia de la fertilización con nitrógeno y potasio en el contenido de compuestos polifenólicos y la capacidad antioxidante de la papa de color, *Revista de Composición y Análisis de Alimentos*, Volumen 47, 2016, Páginas 69-75.
- Antonia, M., Córdova, F., Manuel, J., Parra, S., Aidee, N., Salazar, S., Chávez, S., y Piña, J. (2018). Contenido fenólico y capacidad antioxidante de manzana cvs Golden Delicious y Top Red. 10(1), 64–82.
- Aparecido L, Trevisan L, and Falleiros R. (2017). Grafting in Vegetable Crops: A Great Technique for Agriculture. *International Journal of Vegetable Science*. 24(5): 1-18. DOI: 10.1080/19315260.2017.1357062.
- Araméndiz-Tatis, Hermes, Cardona-Ayala, Carlos E, y Combatt-Caballero, Enrique M. (2016). Contenido Nutricional de Líneas de Frijol Caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) Seleccionadas de una Población Criolla. *Información tecnológica*, 27(2), 53-60. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000200007>.
- Aràndiga Martí, G., y Díaz Sánchez, S. (2008). Estudio del licopeno del tomate como colorante natural desde la perspectiva analítica e industrial.
- Araya, M. A., Camacho, M. E., Molina, E., y Cabalceta, G. (2015). Evaluación de fertilizantes líquidos con silicio, calcio o magnesio sobre el crecimiento del sorgo en invernadero. *Agronomía Costarricense*, 39(2), 47-60.

- Arnaud, C. D. y Sánchez, S. D. (1997). Calcio y fósforo. Hard, EK, Liegler, E Filer, LJ Conocimientos Actuales de Nutrición. Washington, 20037.
- Azadmanesh J, (2018), Borgstahl GEO. Una revisión del mecanismo catalítico de la superóxido dismutasa de manganeso humano. *Antioxidantes.* ; 7(2):25. <https://doi.org/10.3390/antiox7020025>.
- Baca-Ibáñez, S. Y., Ríos-Paico, P. E., y Rojas-Naccha, J. C. (2015). Importancia del magnesio en análisis estructural. *Agroindustrial Science*, 5(2), 177–189.
- Bagheri, M., Esna-Ashari, M., y Ershadi, A. (2015). Effect of postharvest calcium chloride treatment on the storage life and quality of persimmon fruits (*Diospyros kaki Thunb.*) cv. 'Karaj.' *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 2(1), 15–26. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2015.54260>.
- Barrett, C.E., X. Zhao, C.A. Sims, J.K. Brecht, E.Q. Dreyer, and Z. Gao. (2012). Fruit composition and sensory attributes of organic heirloom tomatoes as affected by grafting. *HortTechnology* 22: 804-809.
- Basto-Pool, C. I., De los angeles Herrera-Parra, E., y Hernández-Pinto, C. D. (2021). Importancia del injerto en hortalizas. *Bioagrocencias*, 14(1).
- Basto-pool, C.I. y Herrera-parra, E., (2017), 'Importancia del injerto en hortalizas', 18–24.
- Beckles M. D. (2012) Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 63:129-140.
- Bekhradi, F.; Kashi, A.; Delshad, M. (2011). Effect of three cucurbits rootstocks on vegetative and yield of 'Charleston Gray' watermelon. *International Journal of Plant Production* 5(2): 105-110.
- BERNAL-ALZATE, José et al. El injerto como alternativa para mejorar el rendimiento en la producción de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris L.*). *Idesia* [online]. 2016, vol.34, n.2 [citado 2022-05-11], pp.43-46.
- Blasco, B.; Rubio-Wilhelmi, M. M.; Sánchez-Rodríguez, E.; Chiroso, M.; Ruiz, J. M.; Rosua, J. L. y Romero, L. (2010). Nutritional analysis of six forest species grown in two different edaphological conditions in a Mediterranean environment: I. Nitrogen metabolism. *J. Food Agr. Environ.* 8(2):1034 - 1039.
- Boaretto, RM, Hippler, FW, Ferreira, GA, Azevedo, RA, Quaggio, JA y Mattos, D. (2020). El posible papel del suministro adicional de magnesio y nitrógeno

para aliviar el estrés causado por la alta irradiación y la temperatura en los limoneros. *Planta y Suelo*, 457 (1), 57-70.

- Borras, LUIS MIGUEL, RODRÍGUEZ, CARLOS EDUARDO, y RODRÍGUEZ, ÁNGELA. (2017). Inclusión de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en la cinética de fermentación en estado sólido de residuos de poscosecha de *Solanum tuberosum*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11 (1), 143-150. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6145>.
- Botello, G. (2012). Producción hidropónica de dos variedades de Acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) con tres soluciones nutritivas en el d-5 de la ciudad de el alto - La Paz. Tesis de Lic. La Paz, Bolivia, UMSA. 77 p.
- Bradford, MM (1976). Un método rápido y sensible para la cuantificación de cantidades de microgramos de proteína utilizando el principio de unión de proteína-colorante. *Bioquímica analítica*, 72, 248-254.
- Budiastuti, S.; Purnomo D.; Sulisty, T. D.; Rahardjo, S. P.; Darsono, L.; Pardjo, V. (2012). The enhancement of melon fruit quality by application of the fertilizer and gibberellin. *J. Agric. Sci. Technol.* 2:455-460.
- Bunghuez, I. R., Raduly, M., Doncea, S., Aksahin, I., y Ion, R. M. (2011). Lycopene determination in tomatoes by different spectral techniques (UV-VIS, FTIR and HPLC). *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 6(3), 1349–1356.
- Caballero, M., giannina A., Aguilar am del ct. (2017). Caracterización de macrocomponentes en pulpa congelada de tres biotipos de ucuma (*Pouteria lucuma*).
- Camacho, J. A., Pineda, D. C. R., Díaz, F. Y., LLacza, S. M. M., y Molina, M. A. B. (2020). Fertilizing with native efficient microorganisms has a positive effect on the phenology, biomass and production of tomato (*Lycopersicon esculentum Mill*). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 67–73. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.08>.
- Camposeco montejo, N. (2018). Efecto del portainjerto en el índice y densidad estomática de pimiento morrón *Capsicum annuum var. Annuum*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(15), 555. <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1539>.
- Cano, M., (2014). Acidez y Alcalinidad de los Suelos: Manejo y Corrección de la Acidez de los Suelos. <http://tiposagricultura.blogspot.pe/2014/07/acidez-y-alcalinidad-de-los-suelos.html>.

- Cano-Hernández, R., Martínez-Damián, M. T., Moreno-Pérez, E. C., Sánchez-Del Castillo, F., Cruz-Álvarez, O., y Rodríguez-Roque, M. J. (2019). Effect of growth bioregulators on physicochemical quality indicators in tomato fruits grown in greenhouse. *ITEA Informacion Tecnica Economica Agraria*, 115(2), 120–133. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.032>.
- Cansev, A., Gulen, H., Eris, A. (2011). The activities of catalase and ascorbate peroxidase in olive (*Olea europaea* L. cv. *Gemlik*) under low temperature stress. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 52(2), 113–120.
- Carbone A., Garbi M, Martínez S, Ar-ambarri A.M, de Caboteau A. y Morini M., (2019). Compatibilidad de plantas de tomate utilizadas como pie y copa de injerto, *Bol. Soc. Argent. Bot.* 54
- Cardoza, H.; Chailloux, M.; Núñez, A. (2000). Consumos y dinámica de la absorción de los nutrientes NPK en tomate Campbell. 28. II Seminario Científico Técnico Estación Experimental de Nutrición Vegetal. Larenee. La Habana – Cuba.
- Caro Peñafiel, J. D., Acosta Pérez, L. F., y Cabrales Herrera, E. (2019). Efecto de la aplicación de calcio sobre el crecimiento del cultivo del tomate (*lycopersicon esculentum*, mill), en un suelo ácido de Sucre. *Sistema de Siembra y Uso Eficiente de Recursos*, October 2021. <https://doi.org/10.21892/9789585547155.7>
- Cecilia, P. (2016). Síntomas visuales de sarna y deficiencia en magnesio en plantas de limonero var. *Eureka*. 26 (Mayo), 23–26. <http://www.fcagr.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2016/05/5AM44.pdf>.
- Chabbal, md, & giménez, li, y mazza, sm, y ramirez, mdj, y rodríguez, va (2019). Calidad de frutos y maduración en naranjo dulce '*Valencia Late*' (*Citrus sinensis* (L) *Osbeck*) cv *Limeira*, sobre diferentes portainjertos. *RÍA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 45 (1), 67-73. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86458941006>.
- Chandra, R. y Singh, KK (2015). Aplicación foliar de sulfato de zinc, sulfato de magnesio y sulfato de cobre sobre el rendimiento y calidad de aonla (*Emblca officinallis* Gaerth L.) cv. "NA-7" bajo Garhwal Himalaya. *Revista Himalaya de Estudios de Plantas Medicinales*, 3 (5), 42-45.
- Chávez, J., y Sánchez-Chávez, E. (2017). Eficiencia del uso de portainjerto sobre el rendimiento y dinámica nutricional foliar de macronutrientes en pimiento morrón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(3), 685-693.
- Chen, Z., Zhao, J., Qin, Y., Hu, G. (2016). Estudio de compatibilidad de injertos

entre “Jingganghongnuo” y otros cultivares de litchi. ciencia horticultura.

- Cheng, L. and Raba, R. (2009). Accumulation of macro-and micronutrients and nitrogen demand-supply relationship of ‘Gala’/‘Malling 26’ apple trees grown in sand culture. *Hort. Sci.* 1(134):3-13.
- Chuquillanqui Ruiz, J. (2018). Fertilización en el cultivo de piña (*Ananas comosus* L. Merr. Var. *Comosus*) CV. Golden en Satipo.
- Cole, J. C., Smith, M. W., Penn, C. J., Cheary, B. S., y Conaghan, K. J. (2016). Nitrogen, phosphorus, calcium, and magnesium applied individually or as a slow release or controlled release fertilizer increase growth and yield and affect macronutrient and micronutrient concentration and content of field-grown tomato plants. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 211, pp. 420–430). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.028>.
- Colla, G.; Roupahel, Y.; Cardarelli, M.; Vegetale, P.; Tuscia, U.; De, S. C. and Rea, E. (2006). Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants.
- Constán, A. C.; Leyva, R.; Blasco, B.; Sánchez, R. E.; Soriano. T.; Ruiz, J. M. (2014). Biofortification with potassium: antioxidant responses during postharvest of cherry tomato fruits in cold storage. *Acta Physiol. Plantarum.* 36:283-293.
- Cosme, L., Nicho, P., Paucar, D., y Eguiluz, M. (2020). Evaluation of the effect on the yield and quality of the fruit of two grafting methods in watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb) on the central coast of Peru. *Manglar*, 17(1), 83–87. <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.013>.
- Costa Villanueva, A. (2020). *Estudio del efecto de la presencia de nematodos en el suelo y el uso de injerto en la composición nutricional del melón Cantaloup* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Cuador, M. A. A. B. E., Cedeño-zambrano, J. R., García-párraga, J. V., Maribel, C., Jiménez-flores, L. A. J., Miguel, S., López-mejía, F. X., & Enrique, L. (2022). *Ac c e p t i o n Ac c e p t e d*.
- Cuadra, S.; Ramos, N. (2002). Efecto de diferentes niveles de NPK en el comportamiento Agronómico del Tomate en el Valle de Sébaco. Nicaragua. Tesis de Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de Nicaragua. 61 pp.
- Cumplido-Nájera, C. F., González-Morales, S., Ortega-Ortíz, H., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., y Juárez-Maldonado, A. (2019). The application of copper nanoparticles and potassium silicate stimulate the tolerance to *Clavibacter michiganensis* in tomato plants. *Scientia*



*horticulturae*, 245, 82-89.

- Da Costa C.T., Almeida M.R., Ruedell C.R., Schwambach J., Maraschin F.S., FettNeto A.G. (2013). When stress and development go hand in hand: main hormonal controls of adventitious rooting in cuttings. *Frontiers in Plant Science*, 4, 133.
- Davis A, Perkins-Veazie P, Sakata Y, López-Galarza S, Maroto JV, Sang-Gyu L, Yun-Chan H, Zhanyong S, Miguel A, King SR, Cohen R, and Jung-Myung L. (2008). Cucurbit Grafting. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 27:1, 50-74.
- Davis, A. R., P. Perkins-Veazie, R. Hassel, A. Levi, S. R. King, y X. Zhang (2008). Grafting effects on vegetables quality. *Hortscience* 43: 1670-1672.
- Davis, A.R.; Perkins, P. (2005). Rootstock effects on plant vigor and watermelon fruit quality. *Cucurbit Genetics Cooperative Report* 28-29: 39-42.
- Daymond, A.J., P.J. Tricker, y P. Hadley. (2011). Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. *Biol. Plant.* 55:99-104.
- de Oliveira, F. A., Paiva, F. I. G., de Medeiros, J. F., Melo, M. R. S., de Oliveira, M. K. T., y da Silvas, R. C. P. (2021). Salinity tolerance of tomato fertigated with different K<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> proportions in protected environment, Tolerância do tomateiro à salinidade quando fertigado com diferentes proporções de K<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> em ambiente protegido]. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25(9), 620–625.
- De Wit, P. J. G. M. (2007). How plants recognize pathogens and defend themselves. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 64, 2726–2732.
- De, P., (2020), 'Boletín mensual de producción Tomate rojo (Jitomate) Nayarit, Sonora y San Luis.
- Devi, P., Perkins-Veazie, P., y Miles, C. (2020). Impact of grafting on watermelon fruit maturity and quality. *Horticulturae*, 6(4), 1–10. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040097>.
- Díaz, M., F. Camacho y M.V. Huitrón. (2006). Efecto de diversos portainjertos sobre Producción y calidad de sandía *triploide cv. reina* de corazones. *Horticultura Global, España* 191:20-24.
- Domínguez R, Gullón P, Pateiro M, Munekata PES, Zhang W, Lorenzo JM. (2020). Tomato as Potential Source of Natural Additives for Meat Industry. Una revisión. *Antioxidantes (Basilea)*. 9(1). eng. doi:10.3390/antiox9010073.

- E. Ginter, (1982); *J. Nutr Health.* 1 (1): 66–77.
- E.L., Ramírez, H., Herrera-gámez, B., Benavides-, A., Rancaño-arrijoja, J.H., Álvarez-mares, V. y Martínez-osorio, A., (2010), 'Prohexadiona De Calcio Incrementa La Capacidad Antioxidante, El Contenido De Licopeno Y La Actividad Enzimática En Frutos De Tomate Floradade', *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3), 155–160.
- El-Sharkawy, M. S., El-Beshsbeshy, T. R., Mahmoud, E. K., Abdelkader, N. I., Al-Shal, R. M., y Missaoui, A. M. (2017). Response of Alfalfa under Salt Stress to the Application of Potassium Sulfate Nanoparticles. *American Journal of Plant Sciences*, 08(08), 1751–1773. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.88120>.
- Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P., Salas-Pérez, L., García-Hernández, J.L., PreciadoRangel, P., Sáenz-Mata, J. y Reyes-Carrillo, J.L., (2019), 'Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate', *Biotecnia*, 21(3), 100–107.
- FAO (2019). Datos estadísticos sobre el cultivo del tomate. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. [Consultado: 7 de septiembre del 2020]
- Farzadfar, S., Zarinkamar, F., y Hojati, M. (2017). Magnesium and manganese affect photosynthesis, essential oil composition and phenolic compounds of *Tanacetum parthenium*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 112, 207–217. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.002>.
- Fassio, C., Cautin, R., y Castro, M. (2015). Efecto de la técnica de propagación e injertación en las características morfológicas y relación raíz/brote en plantas de palto (*Persea americana Mill.*). VIII Congreso Mundial de La Palta, 37–40.
- Feicán-Mejía, C.G.; Encalada-Alvarado, C.R.; Becerril-Román, A.E., (2016), 'Descripción agronómica del cultivo de tomate de árbol', *Agroproductividad*, 9(January), 78–86.
- Fernández, C., Pitre, A., Llobregat, M. J., y Rondón, Y. (2007). Evaluación del contenido de licopeno en pastas de tomate comerciales. *Información tecnológica*, 18(3), 31-38.
- Fernández-García, N., Martínez, V., Cerdá, A. y Carvajal, M. Calidad del fruto de plantas de tomate injertadas cultivadas en condiciones salinas. *J. Horti Sci Biotec.* 79, 955–1001 (2004).

- Fernández-García, N.; Carvajal, M.; Olmos, E. (2004). Graft union formation in tomato plants: peroxidase and catalase involvement. *Annals of Botany*, 93(1), 53-60.
- Ferro, D. A., Lozano, L. A., Bartoli, C. G., Fanello, D. D., Larrieu, L., Millan, G. J., y Soracco, C. G. (2020). Disponibilidad y relación de calcio y magnesio. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 119(2), 057. <https://doi.org/10.24215/16699513e057>
- Flores, B. F., P. Sanchez-Bel, M. T. Estañ, M. M. Martinez-Rodriguez, E. Moyano, B. Morales, J. F. Campos, J. O. GarciaAbellan, M. I. Egea, N. Fernandez-Garcia, F. Romojaro, y M. C. Bolarin. (2010). The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Sci. Hort.* 126: 211–217.
- Francisco, J. (2015). Rendimiento de fruto de la var. Elsa de tomate verde en respuesta a la aplicación de hormonas y fertilizantes foliares. 2(5), 374–378.
- Frei, B., Birlouez-Aragon, I., y Lykkesfeldt, J. (2012). What is the optimum intake of vitamin C in humans *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(9), 815–829. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.649149>.
- García Bañuelos, M., Sánchez Chávez, E., Antero Gardea Béjar, A. y Muñoz Marquez, E., (2016), 'Cultivares injertados de pimiento morrón con uso eficiente de nitrógeno para mejorar la producción', *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, (17), 3491–3507.
- García-Ávila, C. de J., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Colinas-León, M. T. B., Trejo-Téllez, L. I., y Vargas-Madriz, H. (2017). Magnesio y su relación con la calidad de *Lilium cv. Casablanca*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(2), 265–276.
- Gerendas J, Fuhrs H. (2013). The significance of magnesium for crop quality. *Plant Soil*. 368:101–128.
- Gholamnejad, S., Haghghi, M., Etemadi, N. y Shariatmadari, H. (2020). Fortificación del tomate con Ca y sus efectos sobre la calidad del fruto, el estado del calcio y los valores nutraceuticos del tomate en diferentes proporciones NO<sub>3</sub>:NH<sub>4</sub>. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 48 (4), 228-243.
- Gilbert, M.E., N.M. Holbrook, M.A. Zwieniecki, W. Sadok, y T.R. Sinclair. (2011). Field confirmation of genetic variation in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation. *Field Crops Res.* 124:85-92.

- Gisbert, C., Prohens, J., Raigón, M. D., Stommel, J. R., y Nuez, F. (2011). Eggplant relatives as sources of variation for developing new rootstocks: Effects of grafting on eggplant yield and fruit apparent quality and composition. *Scientia Horticulturae*, 128(1), 14-22.
- González, F. M., Gómez, L., Rodríguez, M., Hernández, A., Casanova, A., y Depestre, T. (2008). El injerto herbáceo: alternativa para el manejo de plagas del suelo. *Protección vegetal*, 23(2), 69-74.
- Gonzalez, I., Pita, E., Pinzon, E., Celi, G., y Serrano, P. (2017). Efecto de tratamientos pregerminativos en semillas de *Dianthus Barbatulus* L. cv. "Purple" bajo condiciones controladas. *Revistas de ciencias agrícolas*, 35(1), 58- 68.
- Grimaldo Juárez, O., Suárez Hernández, Á. M., Vargas-Hernández, E. A., Carrasco Peña, L. D., y Morales Zamorano, L. A. (2020). Concentración de nutrientes en hoja y calidad de pepino en plantas injertadas bajo condiciones salinas. *Idesia (Arica)*, 38(2), 41–48.
- Guerrero-Polanco, F., Alejo-Santiago, G., Sánchez Hernández, R., Bugarín-Montoya, R., Aburto-González, C. A., y Isiordia-Aquino, N. (2018). Respuesta del cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Hass a la aplicación de nitrato de potasio. *Acta Agronómica*, 67(3), 425–430. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.68858>.
- Gues, N., Gautier, H., y Stevens, R. (2012). Ascorbate as seen through plant evolution: the rise of a successful molecule? *Journal of Experimental Botany*, 64, 33–53.
- Guo, S., Sun, H., Zhang, H., Liu, J., Ren, Y., Gong, G., Jiao, C., Zheng, Y., Yang, W., Fei, Z., y Xu, Y. (2015). Comparative transcriptome analysis of cultivated and wild watermelon during fruit development. *PLoS ONE*, 10(6), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130267>.
- Guzmán, S., Zamarripa, C., y Hernández, L. (2015). Calidad nutrimental y nutraceutica de hoja de moringa proveniente de árboles de diferente altura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(2), 14.
- He, Y., Zhu, Z., Yang, J., Ni, X., y Zhu, B. (2009). Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environmental and Experimental Botany*, 66(2), 270–278. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.02.007>.
- Hernández-Hernández, H., González-Morales, S., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., y Juárez-Maldonado, A. (2018). Effects of chitosan–PVA and Cu nanoparticles on the growth and

antioxidant capacity of tomato under saline stress. *Molecules*, 23(1), 178.

- Hernández-Pérez, OI, Valdez-Aguilar, LA, Alia-Tejacal, I., Cartmill, AD, y Cartmill, DL (2020). Rendimiento, calidad y estado nutricional del fruto del tomate en respuesta al potasio: balance de calcio y conductividad eléctrica en la solución nutritiva. *Revista de Ciencias del Suelo y Nutrición Vegetal*, 20 (2), 484-492.
- Hilda, M., Barraza, P., Enciso, T. O., García, E. A., Alejandra, M., Espinosa, G., y De, M. (2016). Prohexadiona de calcio reduce crecimiento vegetativo e incrementa brotación floral en mango 'Ataulfo'\* Prohexadione calcium reduces vegetative growth and increases sprouting floral mango 'Ataulfo' Resumen Introducción. 7(1 x), 263–276.
- Huu Nguyen, H., Maneepong, S., y Suraninpong, P. (2017). Effects of Potassium, Calcium, and Magnesium Ratios in Soil on Their Uptake and Fruit Quality of Pummelo. *Journal of Agricultural Science*, 9(12), 110.
- Ibrahim, M. H. and Jaafar, H. Z. (2012). Primary, secondary metabolites, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, malondialdehyde and photosynthetic responses of *Orthosiphon stamineus* Benth. to different irradiance levels. *Molecules*. 17:1159-1176.
- Insuasti, J. P. (2017). Efecto de los fertilizantes triple 20 y nitrato de potasio en pH, conductividad eléctrica en el sustrato y crecimiento de plántulas de lechuga, tomate y chile.
- Intrigliolo, D. S., y Castel, J. R. (2006). Performance of various water stress indicators for prediction of fruit size response to deficit irrigation in plum. *Agricultural Water Management*, 83(1–2),173–180,
- Irisarri, P., Binczycki, P., Errea, P., Martens, H. J., Pina, A. (2015). Oxidative stress associated with rootstock–scion interactions in pear/quince combinations during early stages of graft development. *Journal of plant physiology*, 176, 25- 35.
- Islam, MZ, Mele, MA, Baek, JP. (2016). Calidades de tomate cherry afectadas por pulverizaciones foliares con boro y calcio. *Hortico. Reinar. Biotecnología*. 57, 46–52  
<https://doi.org/10.1007/s13580-016-0097-6>.
- Islam, T., Manna, M. y Reddy, MK (2015). El glutatión peroxidasa de *Pennisetum glaucum* (PgGPx) es una peroxirredoxina dependiente de Cd<sup>2+</sup> funcional que mejora la tolerancia contra la salinidad y el estrés por sequía. *PLoS One*, 10 (11), e0143344.

- Islas-Blancas, A. (2006). Efecto de la fertilización y riego con aguas negras en la calidad poscosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) Var. titán. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- J. A. Edgar, J. Nature. (1970); 227 (1): 24-26.
- Jaimes terceros, M., (2019), 'establecimiento de un sistema hidropónico con la técnica de película nutritiva (nft) en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) En la estación experimental patacamaya la paz', 5(2), 93.
- Jim, B. R. Bruno R. Jiménez More 1; Ramón García-Seminario 2. (2017). Influencia del potasio en el rendimiento y calidad del fruto de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Revista de investigación científica MANGLAR, 14(2), 125–131. <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/81/143>.
- Jiménez, Á. L., Cervantes, M. S., Flores, J. I. C. y Hernández, J. P. C. (2021). Efecto del portainjerto por aproximación en el estatus nutrimental del manzano 'Brookfield Gala'. *Revista mexicana de ciencias*.
- Jimenez, a., creissen, g., kular, b., firmin, j., robinson, s., verhoeyen, m., mullineaux, p. (2002). Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. *Planta* 214(5): 751–758.
- Jin, XL; Ma, CL; Yang, LT; (2016), Chen, LS Las alteraciones de la fisiología y la expresión génica debidas a la deficiencia de magnesio a largo plazo difieren entre las hojas y las raíces de *Citrus reticulata*. *J. Plant Physiol.* , 198, 103–115.
- Jincy, M., Djanaguiraman, M., Jeyakumar, P., Subramanian, K. S., Jayasankar, S., Paliyath, G. 2017. Inhibition of phospholipase D enzyme activity through hexanal leads to delayed mango (*Mangifera indica* L.) fruit ripening through changes in oxidants and antioxidant enzymes activity. *Scientia Horticulturae*, 218, 316-325.
- Jose, M., y Laura, M. (2014). Polifenoles en frutas y hortalizas. 2(Tabla 1), 2–3.
- Keski-Saari, S., Falck, M., Heinonen, J., Zoń, J., Julkunen-Tiitto, R., (2007). Phenolics during early development of *Betula pubescens* seedlings: inhibition of phenylalanine ammonia lyase. *Trees* 21, 263–272.
- Koizumi, Y. P. C., Gamboa, J. A. A., y Ríos, A. M. (2017). Efecto de la fertilización orgánica y de síntesis química en tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horn) en Calakmul, Campeche (México). *Avances en investigación agropecuaria*, 41-53.

- Kong, Q., Yuan, J., Gao, L., Liu, P., Cao, L., Huang, Y., Bie, Z. (2017). Transcriptional regulation of lycopene metabolism mediated by rootstock during the ripening of grafted watermelons. *Food Chemistry*, 214, 406–411.
- Köppen, W. (1936). *Das geographische System der Klimate*. Handbuch der Klimatologie. <https://doi.org/10.3354/cr01204>.
- Kováčik, J., Klejdus, B., Hedbavny, J., Štork, F, Bačkor, M., (2009). Comparison of cadmium and copper effect on phenolic metabolism, mineral nutrients and stress-related parameters in *Matricaria chamomilla* plants. *Plant Soil* 320, 231–42.
- Kumar, N., Kaur, P., Devgan, K., y Attkan, A. K. (2020). Shelf life prolongation of cherry tomato using magnesium hydroxide reinforced bio-nanocomposite and conventional plastic films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(4), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14379>.
- Lee JM, Bang HJ, Ham HS (1998) Grafting of vegetables. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 67: 1098-1104.
- Lee JM, Oda M (2003) Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Hort. Rev.* 28: 61- 124.
- Lee, J. M., Kubota, C., Tsao, S. J., Bie, Z., Echevarria, P. H., Morra, L., y Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 93–105. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.003>.
- Leo Sabatino, Salvatore La Bella, Georgia Ntatsi, Giovanni Iapichino, Fabio D'Anna, Claudio De Pasquale, Beppe Benedetto Consentino, Youssef Rouphael, (2021), Selenium biofortification and grafting modulate plant performance and functional features of cherry tomato grown in a soilless system, *Scientia Horticulturae*, Volume 285, 2021,110095, ISSN 0304-4238.
- Leonardi C, Giuffrida F (2006) Variation of plant growth and macronutrient uptake in grafted tomatoes and eggplant on three different rootstocks. *Eur. J. Hort. Sci.* 71(3): 97-101.
- Lester, G. E.; Jifon, J. L. y Makus, D. J. (2010). Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: Melon (*Cucumis melo* L.) case study. *Plant Soil.* 335:117-131.
- LI, H. xia, CHEN, Z. jun, ZHOU, T., LIU, Y., y ZHOU, J. bin. (2018). High potassium to magnesium ratio affected the growth and magnesium uptake of three tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Journal of Integrative*

- Agriculture, 17(12), 2813–2821. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61949-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61949-5).
- Liang, WW; Huang, JH; Li, CP; Yang, LT; Vosotros, X.; Lin, D.; Chen, LS, (2017), Respuestas mediadas por microARN a la deficiencia de magnesio a largo plazo en las raíces de *Citrus sinensis* reveladas por la secuenciación de Illumina. *Genoma BMC.*, 18, 657.
- Liu, G., Chen, Y., He, X., Yao, F., Guan, G., Zhong, B. y Zhou, G. (2020). Cambios estacionales de nutrientes minerales en el fruto de plantas de naranja navel injertadas sobre naranjo trifoliado y citrange. *Scientia Horticulturae*.
- Liu, Yi Fe., Qi, Hong -Yan., Bai, Chun ming., Qi, Ming-Fang., Xu, Chuan-Quiang., Hao, Jing-Hong., Li, Tian-Li. (2011). Grafting helps improve photosynthesis and carbohydrate metabolism in leaves of muskmelon. *International journal of biological sciences*, 7(8), 1161-1170.
- López-Marín, J., Gálvez, A., del Amor, F. M., Albacete, A., Fernández, J. A., Egea-Gilabert, C., y Pérez-Alfocea, F. (2017). Selecting vegetative/generative/dwarfing rootstocks for improving fruit yield and quality in water stressed sweet peppers. *ScientiaHorticulturae*, 214, 9-17.
- López-Vargas, E., Ortega-Ortíz, H., Cadenas-Pliego, G., de Alba Romenus, K., Cabrera de la Fuente, M., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A. (2018). Foliar application of copper nanoparticles increases the fruit quality and the content of bioactive compounds in tomatoes. *Applied Sciences*, 8(7), 1020.
- Lutenberg, O. (2019). La salinidad y su influencia en suelos y plantas. <http://www.ana.gob.pe/media/496359/salinidad.pdf.com>
- Lv, Pin., Li, Na., Liu, Hui., Gu, Huihui., & Zhao, Wen-En. (2015). Changes in carotenoid profiles and in the expression pattern of the genes in carotenoid metabolisms during fruit development and ripening in four watermelon cultivars. *Food Chemistry*, 174, 52–59.
- Maldonado-Peralta, R., Cruz-Huerta, N., Ramírez-Ramírez, I., Castillo-González, F., Livera-Muñoz, M., Sandoval-Villa, M., y González-Hernández, V. A. (2022). Desempeño agronómico y fisiológico de variedades nativas de tomate mexicano sometidas a deficiencias de agua y nutrientes: Performance of native varieties of Mexican tomatoes submitted to water and nutrient deficiencies. *TECNOCIENCIA Chihuahua*, 16(1), 55-74. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.882>
- Malerba, M. and Cerana, R. (2016). Chitosan effects on plant systems. *Inter. J. Mol. Sci.* 17(7):1-15.



- Manqueros-Avilés, V. E. (2015). Mediciones nutritivas en un sistema hidropónico NFT mediante el uso de sensores de iones selectivos y LabVIEW. In *1er Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería* (pp. 1-8).
- Maradiaga, S. (2017). El injerto en tomate (*Solanum lycopersicum Mill.*) alternativa al cambio climático. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 3(2), 183. <https://doi.org/10.36829/63cts.v3i2.346>.
- Marichali, A., Dallali, S., Ouerghemmi, S., Sebei, H., Hosni, K., (2014). Germination, morphophysiological and biochemical responses of coriander (*Coriandrum sativum L.*) to zinc excess. *Ind. Crop Prod.* 55, 248–257.
- Márquez, A., & Sánchez Chávez, E. (2017). Influencia de la variedad, portainjerto y época de cosecha en la calidad e índices de madurez en pimiento Morrón. *Nova Scientia*, 9(19), 1. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.823>.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd edn. Academic Press. London.
- Martínez Bolaños, M., Martínez Bolaños, L., Guzmán Deheza, A., Gómez Jaimes, R. y Reyes Reyes, A.L., (2017), 'Calcio y ácido giberélico en el brotado de frutos de litchi (*Litchi chinensis Soan.*) cultivar Mauritius', *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 837–848.
- MARTÍNEZ, I.; PERIAGO, M. J.; PROVAN, G.; CHESSON, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal Science Food Agriculture* 82(3): 323–330.
- Martínez-Ruiz, F. E., Cervantes-Díaz, L., Aíl-Catzím, C. E., Hernández-Montiel, L. G., Sánchez, C. L. D. T., y Rueda-Puente, E. O. (2016). Hongos Fitopatógenos Asociados Al Tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) En La Zona Árida Del Noroeste De México: La Importancia De Su Diagnóstico. *European Scientific Journal, ESJ*, 12(18), 232. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p232>.
- Mauro-Martín, I. S., y Garicano-Vilar, E. (2015). Papel de la vitamina C y los  $\beta$ -glucanos sobre el sistema inmunitario: Revisión. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 19(4), 238–245. <https://doi.org/10.14306/renhyd.19.4.173>.
- Mcveoy, E.T. (1955) Interaction of Sodium and Potassium on Growth and miNeral Content of Fluccured Tobacco. *Canadian Journal of Agricultural Science*, 35, 294- 299.
- Melnyk, C. W., Schuster, C., Leyser, O., Meyerowitz, E. M. (2015). A

developmental framework for graft formation and vascular reconnection in *Arabidopsis thaliana*. *Current Biology*, 25(10), 1306-1318.

- Méndez, H. A., Preciado-Rangel, P., Sánchez Chávez, E., Esparza Rivera, J. R., Fortis Hernández, M., y Álvarez-Reyna, V. D. P. (2018). El potasio en la calidad nutracéutica de frutos de pepino hidropónico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(SPE20), 4245-4250.
- Meneses, N., Mendoza-Cortez, J. W., y CecílioFilho, A. B. (2017). Fertilización potásica del maíz dulce en suelo con alta disponibilidad de potasio. *Agrociencia Uruguay*, 21(2), 54–58.
- Meza, C. Y. B. (2021). Caracterización de frutos tomate (*Solanum lycopersicum*) en plantas colonizadas por el hongo micorrízico arbuscular *Rhizopagus irregularis* en condiciones de estrés salino.
- Mofidnakhai, M., Abdossi, V., Dehestani, A., Pirdashti, H., y Babaeizad, V. (2016). Potassium phosphite affects growth, antioxidant enzymes activity and alleviates disease damage in cucumber plants inoculated with *Pythium ultimum*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 49(9–10), 207–221. <https://doi.org/10.1080/03235408.2016.1180924>.
- Mohamed, F.; El-Hamed, K.; Elwan, M.; Hussien, M.A. (2012). Impact of Grafting on Watermelon Growth, Fruit Yield and Quality. *Vegetable Crops Research Bulletin* 76(1): 99-118.
- Møller, I. M., Jensen, P. E., Hansson, A. (2007). Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 58, 459–481.
- Moncada, A., Miceli, A., Vetrano, F., Mineo, V., Planeta, D., D' Anna, F. (2013). Effect of grafting on yield and quality of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Scientia Horticulturae*. 149: 108-114.
- Montenegro, H., Mares, V., Ruvalcaba, L., Sarabia, J. y Terán, J. (2016) Respuesta del Tomate Saladette de Crecimiento Determinado a Diferentes Fuentes y Dosis de Calcio en Invernadero. *Diario de la biblioteca de acceso abierto*, 3, 1-7. doi: 10.4236/oalib.1102484.
- Moreno, M. M.; Villena, J.; González-Mora, S.; Moreno, C. (2019). Response of healthy local tomato (*Solanum lycopersicum* L.) populations to grafting in organic farming. *Scientific Reports* 9(1): 4592-4602.
- Müller, V., Lankes, C., Zimmermann, B.F., Noga, G., Hunsche, M., (2013). Centelloside accumulation in leaves of *Centella asiatica* is determined by resource partitioning between primary and secondary metabolism while

- influenced by supply levels of either nitrogen, phosphorus or potassium. *J. Plant Physiol.* 170, 1165–1175.
- Murillo, W. (2010). Optimización de la producción de tres especies de hortalizas bajo producción hidropónica en el sistema NFT en los invernaderos “la huerta” en la localidad de Chicani (La Paz). Tesis Lic. La Paz, Bolivia, UMSA. 118 p.
- N. Horemans, G. Potters, L. De Wilde, R. J. Caubergs, *J. Plant Physiol.* (2003); 133 (1): 361-367.
- Nachtigall, D. R, and Dechen, A. R. (2006). Seasonality of nutrients in leaves and fruits of apple trees. *Scientia Agricola.* 5(63):493-501.
- Naeem, I., Masood, N., Turan, V. e Iqbal, M. (2021). Uso prospectivo de cemento de fosfato de magnesio y potasio combinado con biocarbón derivado de *Bougainvillea alba* para reducir la biodisponibilidad de Pb en el suelo y su absorción por *Spinacia oleracea* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111723.
- Nakano, Y. and Asada, K. (1987) Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts: its inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. *Plant Cell Physiol.*28: 131–140.
- Navarro, A., Guzmán, D., y Gonzales, E. (2018). Composición Físico Química Del Fruto De Influence of Growth Zones on the Physical Chemical Composition of the Fruit of. 84(1), 68–76.
- Navarro-González, I. & Periago, M.J., (2016), ‘Is tomato a healthy and/or functional food?’, *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, 20(4), 323–335.
- Nguyen, HH, Maneepong, S. y Suraninpong, P. (2017). Efectos de las proporciones de potasio, calcio y magnesio en el suelo sobre su absorción y calidad de frutos de pomelo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 9 (12), 110-121.
- Nicoletto, C., F. Tosini, y P. Sambo. (2013). Effect of grafting and ripening conditions on some qualitative traits of ‘Cuore di Bue’ tomato fruits. *J. Sci. Food Agric.* 93:1397-1403.
- Nutr, R.C., (2020), ‘Artículo Original / Original Article’, 47(4), 588–596.
- Orduz-Ríos, F., Suárez-Parra, K. V., Serrano-Cely, P. A., Serrano-Agudelo, P. C., & Forero-Pineda, N. (2020). Evaluation of N-P-K-Ca-Mg dynamics in plum (*Prunus salicina* Lindl.) var. Horvin under nursery conditions. *Revista*

Colombiana de Ciencias Hortícolas, 14(3), 334–341.  
<https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i3.11941>.

- Ozbay N, Ergun N (2015). Prohexadione calcium on the growth and quality of eggplant seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50: 932-938.
- Padayatty, S. J., Daruwala, R., Wang, Y., Eck, P. K., Song, J., S, W., y Levine, M. (2001). Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. En E. Cardenas & L. Packer (Eds.), *Handbook of Antioxidants* (2nd edition, p. 117– 145.). Washington DC, USA.
- Passam CH, Karapanos CI, Bebeli JP, Savvas D (2007) A review of recent research on tomato nutrition, breeding and postharvest technology with reference to fruit quality. *Eur. J. Plant Sci. Biotechnol.* 1: 1-21.
- Peralta Manjarrez, R., Cabrera de la Fuente, M., Morelos-Moreno, Á. & Ramírez Godina, F., (2016), 'Micromorfología del pepino obtenido mediante injerto y desarrollado en dos sistemas de fertilización', *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17), 3453–3463.
- Pérez Espinoza, H. A., Chávez Morales, J., Carrillo Flores, G., Rodríguez Mendoza, M. D. las N., & Hernández, R. A. (2017). Fertilización foliar en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía bajo invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 333.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.54>.
- Pérez, A. C. (2019). Beneficia tu cuerpo con el consumo del tomate. In *BIAH 2018. International Congress of Body Image & Health 6, 7 y 8 de junio de 2018: Libro de actas* (p. 70). Editorial Universidad de Almería.
- Pérez, A. R., & Quintero, E. M. (2015). Funciones del calcio en la calidad poscosecha de frutas y hortalizas: una revisión. *Alimentos hoy*, 23(34), 13-25.
- Pérez, J.; Hurtado, G.; Aparicio, V.; Argueta, Q.; Larín, M.A. (2002). *Guía Técnica, Cultivo de Tomate*. CENTA, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. San Salvador, El Salvador. 49 pp.
- Pérez, L. F. A., Peñafiel, J. D. C., & Herrera, E. M. C., (2021), Efecto de la aplicación de calcio sobre el crecimiento del cultivo del tomate (*lycopersicon esculentum*, mill), en un suelo ácido de Sucre.
- Pérez, M. (2022). Effect of the application of CaCO<sub>3</sub>-based sunburn suppressants on apple fruit quality Efecto de la aplicación de protectores solares a base de CaCO<sub>3</sub> en la calidad de frutos de manzana. 41(104), 19–34.

- Pérez-Díaz, F., Lourdes Arévalo-Galarza, M. de, Pérez-Flores, L.J., Lobato-Ortiz, R. & Ramírez-Guzmán, M.E., (2020), 'Fruits growth and postharvest characteristics of native tomato genotypes (*Solanum lycopersicum* L.)', *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1), 89–99.
- Pérez-Grajales, M., Pérez-Reyes, T. Q., Cruz-Álvarez, O., Castro-Brindis, R., & Martínez-Damián, M. T. (2021). Compatibility of the rootstock CM-334 and its response on the yield, physicochemical quality and content of Capsaicinoids in *capsicum pubescens*. *ITEA Informacion Tecnica Economica Agraria*, 117(4), 332–346.
- Prasad, B., Dimri, DC y Bora, L. (2015). Efecto de la aspersion foliar precosecha de calcio y potasio sobre la calidad del fruto de Peral cv. Pathernaj. *Investigación científica y ensayos*, 10 (11), 376-380.
- Prisciliano, M. C. M., De, R., Hernández, M. C. O. A., & Rodríguez, R. (2017). Propuesta de un sistema basado en visión artificial para detección de palomilla blanca (*Bemisa tabaci*) en cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*). 6(2015), 2017.
- Quinones, A., Rodríguez-Carretero, I., y Canet, R. (2018). Influencia de la fuente de potasio usada en fertirrigación en el estrés hídrico del kaki. *Vida Rural*, (410), 50-52.
- Raja-Harun, R., and Hardwick, K. (1988). The effects of different temperature and water vapour pressure deficit on photosynthesis and transpiration in cocoa. In: Cocoa producers' alliance, editor, Proceedings of the 10th International Cocoa Research Conference. Cocoa Producers' Alliance, Lagos, NGR. p. 17-23.
- Ramírez, H., Mendoza-Castellanos, J., Vázquez-Badillo, M. E., & Zermeño-González, A. (2017). La prohexadiona de calcio (P-CA): una alternativa hormonal viable en chile habanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 631–641. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.323>.
- Ramírez, Homero, Alvarez-Maldonado, Víctor Manuel, Aguilar, Cristóbal Noé, Wong-Paz, Jorge Enrique, Zermeño-González, Alejandro, Vázquez-Badillo, Mario Ernesto, Zavala-Ramírez, María Guadalupe, & Mendoza-Castellanos, Joaquín. (2017). La prohexadiona-ca aumenta rendimiento y contenido de antioxidantes en vid cultivar shiraz. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(10), 13-20. <https://doi.org/10.19136/era.a4n10.829>.
- Ramírez, Homero, Herrera-Gámez, Bruno, Benavides-Mendoza, Adalberto, Rancaño-Arriola, José Hugo, Álvarez-Mares, Vicente, Amado-Ramírez, Carlos, & Martínez-Osorio, Ana. (2010). Prohexadiona de calcio incrementa la capacidad antioxidante, el contenido de licopeno y la actividad

- enzimática en frutos de tomate floradade. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(3), 155-160.
- Ramos González, J. (2016). *Efectos de Meloidogyne spp y del injerto del melón Cucumis metuliferus sobre la calidad del melón tipo Cantaloup* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Ramos, S. J., Faquin, V., Guilherme, L. R. G., Castro, E. M., Ávila, F. W., Carvalho, G. S., Oliveira, C. (2010). Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant, Soil and Environment*, 56(12), 584–588.
- Rangel, P., Andrade-Sifuentes, A., Sánchez-Chávez, E., Salas-Pérez, L., Fortis-Hernandez, M., Rueda-Puente, E. O., & García-Hernández, J. L. (2019). INFLUENCIA DEL POTASIO EN EL CONTENIDO NUTRACÉUTICO Y DE ANTIOXIDANTES EN PIMIENTO SERRANO (*Capsicum annum* L.). *Agrociencia*, 53(4), 581-591.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*. 26: 1231-1237.
- Reyes Alemán, M. del R., Franco Mora, O., Morales Rosales, E.J. & Pérez López, D. de J., (2017), 'Influencia del magnesio y zinc en la altura de planta y verdor de hojas en Liliium', *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (70), 31–37.
- Ribeiro, N.D.; Maziero, S.M.; Prigol, M.; Nogueira, C.; Piano, D. y M. Possobom, (2012). Mineral concentrations in the embryo and seed coat of common bean cultivars, *Journal of Food Composition and Analysis*: 26 (1), 8995.
- Riga, P. (2015). Effect of rootstock on growth, fruit production and quality of tomato plants grown under low temperature and light conditions. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 56(5), 626–638. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0042-0>.
- Rincón, A., & Martínez, E. (2015). Funciones del calcio en la calidad poscosecha de frutas y hortalizas. *Alimentos Hoy Revista de Asociación Colombiana y Tecnología de Alimentos*, 24(34), 13–25.
- Rivero, R. M., Ruiz, J. M., García, P. C., López-Lefebre, L. R., Sánchez, E., & Romero, L. (2001). Resistance to cold and heat stress: Accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Science*, 160(2), 315–321. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00395-2](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00395-2).

- Rodríguez, S.E., Cervantes Juan, M.M., Olalde Portugal, V., Martínez Franco, M.B., Notario Zacarías, M.I. & Valdés Rodríguez, S.E., 2020, 'Cistatina De Amaranto Previene Y Controla El Tizón Temprano En Tomate', *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 567–580.
- Rodríguez-Mendoza, M. N., Baca-Castillo, G., García-Cué, J. L., & Urrieta-Velázquez, J. A. (2015). Aclareo de frutos y aspersiones foliares de calcio y miel de abeja sobre la calidad de tomate tipo costilla TT - Effect of fruit thinning and foliar spraying of calcium and honey on quality of ribbed tomato. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(2), 197–204.
- Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Colla, G.; Rea, E. Rendimiento, composición mineral, relaciones hídricas y eficiencia en el uso del agua de miniplantas de sandía injertadas bajo riego deficitario. *HortScience* 2008, 43, 730–736.
- Sabino-lópez, J. E., Sandoval-villa, M., Alcántar-gonzález, G., Solorio, C. O., Postgraduados, C. De, Montecillo, C., & México, E. De. (2018). Fecha de trasplante, boro, potasio y poda en la producción de frutos de. 255–265.
- Salas-Rivera, Ramiro, Valdez-Aguilar, Luis Alonso, Alvarado-Camarillo, Daniela, Rascón-Alvarado, Emilio, Peña-Ramos, Fidel Maximiano, & González-Fuentes, José Antonio. (2020). Balance potasio: calcio, relación con el déficit de presión de vapor y la radiación fotosintéticamente activa en tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 301-311. Epub 20 de junio de 2020. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.589>.
- Sánchez Aspeytia, D., Borrego Escalante, F., Zamora Villa, V.M., Sánchez Chaparro, J.D. & Castillo Reyes, F., (2017), 'Estimación de la interacción genotipo-ambiente en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con el modelo AMMI', *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 763–778.
- Sánchez, E., Torres, A., Flores, M., Córdova, F., Preciado, P., & Quiroz, C. (2015). *Revista Electrónica Nova Scientia* Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento Morrón Use of rootstocks on the yield, fruit quality and resistance to *Phytophthora capsici* Leonian in. *Nova Scientia*, 7, 227–244.
- Santos, A. de A., Silveira, J. A. G. da, Bonifacio, A., Rodrigues, A. C., & Figueiredo, M. do V. B. (2018). Antioxidant response of cowpea co-inoculated with plant growth-promoting bacteria under salt stress. *Brazilian Journal of Microbiology*, 1–9.
- Savvas D, Savva A, Ntatsi G, Ropokis A, Karapanos L, Krumbein A, Olympios C (2011) Effects of three commercial rootstocks on mineral nutrition, fruit yield, and quality of salinized tomato. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 174: 154-162.

- Schwarz D, Rouphael Y, Colla G, Venema JH (2010) Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae* 127.
- Shahkoomahally S, Ramezani A. (2013). The effect of hot water and calcium solution dipping on quality in kiwifruit during storage. *American-Eurasian Journal Agricultural and Environ Science* 13: 1351-1356.
- Siddiqui, M. H., Alamri, S. A., Al-Khaishany, M. Y. Y., Al-Qutami, M. A., Ali, H. M., Al-Whaibi, M. H., Al-Wahibi, M. S., y Alharby, H. F. (2018). Mitigation of adverse effects of heat stress on *Vicia faba* by exogenous application of magnesium. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(7), 1393–1401. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.09.022>.
- SIGMA-ALDRICH. (2014). 19160 SOD determination kit. Recuperado a partir de <https://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigmaaldrich/docs/Sigma/Datasheet/6/19160dat.pdf>.
- Soteriou, GA, Rouphael, Y., Emmanouilidou, MG, Antoniou, C., Kyrtzis, AC y Kyriacou, MC (2021). Acción bioestimuladora del hidrolizado de proteína vegetal y configuración de las características fisicoquímicas del fruto en sandía injertada. *Horticulturae*, 7 (9), 313.
- Soto Landeros, F. (2017). Respuesta al estrés salino de injertos de *Jatropha curcas* (L.) en portainjerto de *Jatropha cinerea* (Ortega) Muell. Arg.
- Steiner, A. A. (1961). A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. *Plant and Soil*, 15, 134–154.
- Suárez-Salazar, J. C., Duran-Bautista, E. H., Rojas-Castillo, J. A., & Ortiz-Cifuentes, N. (2017). Pigmentos fotosintéticos y conductancia estomática en ecotipos de copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd. Ex. Spreng K. Schum.). *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 199-206.
- Sugimoto, K., Gordon, S. P., Meyerowitz, E. M. (2011). Regeneration in plants and animals: dedifferentiation, transdifferentiation, or just differentiation. *Trends in Cell Biology*, 21 (4), 212-218.
- Tjalling, H. (2006). Guía de Manejo, Nutrición Vegetal de Especialidad, Tomate. SQM S.A. 83 pp.
- Tränkner, M., Tavakol, E., y Jákli, B. (2018). Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia Plantarum*, 163(3), 414–431. <https://doi.org/10.1111/ppl.12747>.



- Treviño López, E. A., Sandoval-Rangel, A., Benavides Mendoza, A., Benavides Mendoza, A., Ortega Ortiz, H., Cadenas Pliego, G., & Cabrera de la Fuente, M. (2021). Nanopartículas de selenio absorbidas en hidrogeles de quitosán-polivinil alcohol en la producción de pepino injertado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 26, 159–169.
- Trinidad, S. A. y Aguilar, M. D. (1999). Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. México. *Terra Latinoamericana*. 3(17):247-255.
- Turhan, A., N. Ozmen, S.M. Serbeci, y V. Seniz. (2011). Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. *Hortic. Sci.* 38:142-149.
- USDA. (1975). Color classification requirements in United States standards for grades of fresh tomatoes.
- Uwitonze, AM y Razzaque, MS (2018). Papel del magnesio en la activación y función de la vitamina D. *Revista de Medicina Osteopática*, 118 (3), 181-189.
- Velasco-Alvarado, M. D. J., Castro-Brindis, R., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Sahagún-Castellanos, J., & Lobato-Ortiz, R. (2016). Composición mineral, biomasa y rendimiento en tomate (*Solanum lycopersicum L.*) injertado. *Interciencia*, 41(10), 703–708.
- Velasco-Alvarado, M. de J., Castro-Brindis, R., Avitia-García, E., Castillo-González, A.M., Sahagún- Castellanos, J. & Lobato-Ortiz, R., (2017), 'Proceso de unión del injerto de empalme en jitomate (*Solanum lycopersicum L.*)', *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1051–1058.
- Vinent, S. N., Riquene, S. M., Cobas, L. G., Méndez, C. O. A., Aguilera, R. D. J. F., y Aguilera, J. G. (2021). Inoculación de rizobios favorecen el crecimiento de plántulas de *Coffea arabica L.* injertadas en vivero. *Research, Society and Development*, 10(6), e10110615722-e10110615722.
- Vrcek, I. V., Samobor, V., Bojic, M., Saric, M. M., Vukobratovic, M., Erhatic, R., Matotan, Z. (2011). The effect of grafting on the antioxidant properties of tomato(*Solanum lycopersicum L.*). *Spanish journal of agricultural research*, (3), 844- 851.
- Willems, P., Mhamdi, A., Stael, S., Storme, V., Kerchev, P., Noctor, G., Breusegem, F. Van. (2016). The ROS Wheel: Refining ROS Transcriptional Footprints. *Plant Physiology*, 171(3),1720–1733.
- Xu, Q., Guo, S. R., Li, L., An, Y. H., Shu, S., Sun, J. (2016). Proteomics analysis of

- compatibility and incompatibility in grafted cucumber seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105, 21-28.
- Xue, T., Hartikainen, H., Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, 237(1), 55–61.
- Y. Wang, S. Chen, O. Yu, *J. Appl Microbiol Biotechnol.* (2011); 91 (1): 949-956.
- Yamamoto T, Shimizu Y, Ueda T, Shiro Y (2010) Mg<sup>2+</sup> dependence of 70S ribosomal protein flexibility revealed by hydrogen/deuterium exchange and mass spectrometry. *J Biol Chem* 285: 5646–5652.
- Yang, T., Whitaker, D.B., Conway, S.W., (2010). Expression analysis of calmodulin and calmodulin-binding transcription factor SR gene family in tomato. *Plant Biology Electronic Abstract Center*, p. 08133 (abstract).
- Yardley, A. (2013). *El Magnesio en la Dieta: Nueva Investigación*. Red Impresiones SAC. Lima.
- Yfran, M. D. M., Chabbal, M. D., Píccoli, A. B., Giménez, L. I., & Rodríguez, V. A. (2017). Fertilización Foliar Con Potasio, Calcio Y Boro. Incidencia Sobre La Nutrición Y Calidad De Frutos En Mandarino 'Nova'. 38(4), 22–29. <https://doi.org/10.1234/ct.v38i4.1399>.
- York, E.T., Bradfield, R. and Peech M. (1953) Calcium-Potassium Interactions in Soils and Plants. Reciprocal Relationship between Calcium and Potassium in Plants. *Soil Science*, 76, 481-492. <https://doi.org/10.1097/00010694-195312000-00007>.
- Zhang, J., Ding, J., Ibrahim, M., Jiao, X., Song, X., Bai, P. y Li, J. (2021). Efectos de la interacción entre el déficit de presión de vapor y el potasio en el sistema de fotosíntesis de plántulas de tomate a baja temperatura. *Scientia Horticulturae*, 283, 110089.
- Zhang, Q., Wang, C., Yong, D., Li, G., Dong, X., Li, B. (2014). Induction of resistance mediated by an attenuated strain of valsa mali var. mali using pathogen-apple callus interaction system. *Scientific World Journal*, 2014, 1-10.
- Zięba, P., Sękara, A., Bernaś, E., Krakowska, A., Sułkowska-Ziaja, K., Kunicki, E., y Muszyńska, B. (2021). Suplementación con sales de magnesio: una estrategia para aumentar el valor nutracéutico de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus djamor*. *Moléculas*, 26 (11), 3273.