

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS**



**Fertilización foliar con sulfato de magnesio en pepino (*Cucumis Sativus* L.)**

**POR**

**Mitzi Mayby Chávez Matus**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**Torreón, Coahuila, México.**

**Marzo, 2023**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS

Fertilización foliar con sulfato de magnesio en pepino (*Cucumis Sativus* L.)

Por:

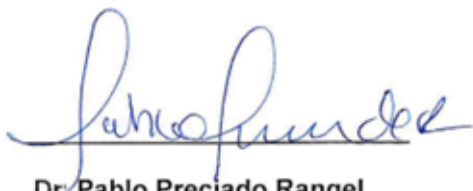
**Mitzi Mayby Chávez Matus**

TESIS

Que se somete a la consideración del h. jurado examinador como requisito parcial para  
obtener el título de:

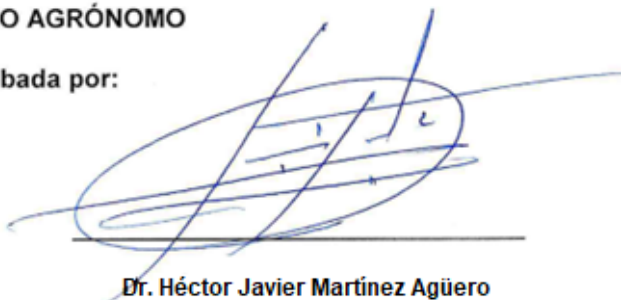
INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por:



Dr. Pablo Preciado Rangel

Presidente



Dr. Héctor Javier Martínez Agüero

Vocal



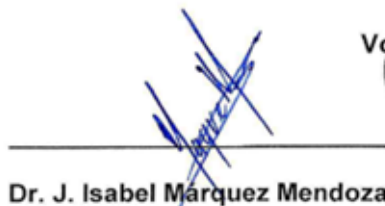
Dr. Alain Buendía García

Vocal



M.C. Reyna Roxana Guillén Enríquez

Vocal suplente



Dr. J. Isabel Márquez Mendoza

Coordinador de la División de Carreras Agronómicas.



Torreón, Coahuila

Marzo, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS

Fertilización foliar con sulfato de magnesio en pepino (*Cucumis Sativus* L.)

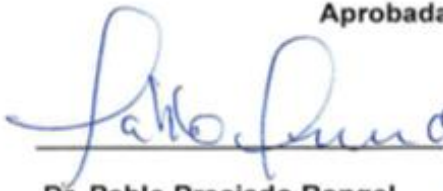
Por:

Mitzi Mayby Chávez Matus

TESIS

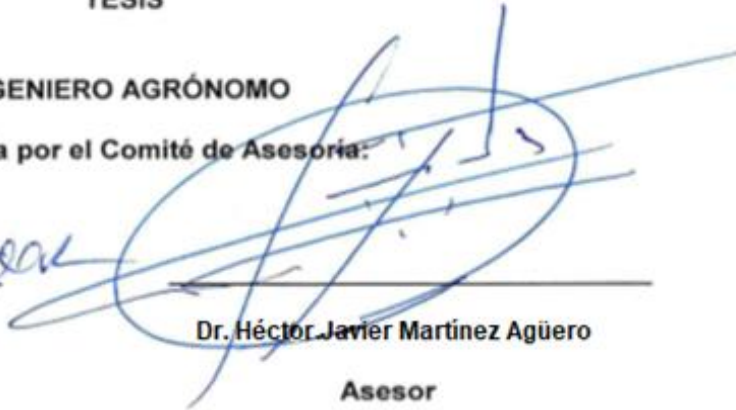
INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Pablo Preciado Rangel

Asesor principal



Dr. Héctor Javier Martínez Agüero

Asesor



Dr. Alain Buendía García

Asesor



M.C. Reyna Roxana Guillén Enriquez

Asesor suplente



Dr. J. Isabel Márquez Mendoza



Coordinador de la División de Carreras Agronómicas.

Torreón, Coahuila

Marzo, 2023

## **AGRADECIMIENTOS**

A **DIOS** en primer lugar por darme la vida, ser mi primer amor, acompañarme a lo largo de mi carrera, porque en aquellos momentos que me sentí débil y sin ganas de seguir, tu iluminabas mi camino y me impulsas a seguir con fe, esperanza y humildad, pero sobre todo porque en cada paso que doy tú estás ahí, guiando mi vida.

### **A mis padres Basilia y Gildardo**

Quienes, con su amor, y gran esfuerzo me impulsaron a cumplir este logro, gracias por las enseñanzas, ser ejemplo de valentía y esfuerzo. Así también a ser una persona de bien, por darme la mejor herencia que es mi carrera y no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

### **Al Dr. Pablo Preciado Rangel**

Por darme la oportunidad, confianza y asesoría en este trabajo de investigación.

### **A la M.C. Reyna Roxana Guillén Enríquez**

Gracias por la confianza, el tiempo brindado en la revisión de tesis, enseñanzas y conocimientos compartidos.

### **Al laboratorista Juan Carlos**

Por brindarme su amistad, enseñanzas y buenos consejos compartidos durante la realización de mi servicio social.

### **A mis amigos de universidad**

#### **Rodrigo, Karime, Florentino, Wendy, Daniel y Anahí.**

Por su apoyo incondicional y amistad, por compartir buenos y malos momentos. Siempre los llevaré en mi corazón.

### **A mi alma mater**

Por ser mi nido de muchos que como yo decidieron estudiar en esta noble institución y Brindarme conocimientos y gratas experiencias. Buitre por siempre.

## **DEDICATORIAS**

### **A mis padres**

#### **Basilia Matus Cruz y Gildardo Chávez Cruz**

Gracias mama por tus oraciones, amor y por no rendirte ante cualquier circunstancia, que me impulsaron a luchar por este sueño que ahora culminamos juntas. Eres ejemplo de fortaleza y valentía. Con admiración a ti padre por depositar en mí la confianza, tu apoyo, cariño y sabios consejos que me ayudaron a seguir adelante. Los amo infinitamente.

### **A mi hermano Jesús**

Gracias por llenar mi vida de amor, cariño y alegría. Eres mi más grande motivación, por significar tanto en mi vida quiero ser ejemplo que superes.

### **A mis abuelos**

#### **Mama susana y papa Nemecio**

Por guiar con mucho amor y ternura mis pasos desde pequeña, han llenado mi vida de mucha felicidad y de hermosos recuerdos que llevo atesorados en el corazón.

### **A mis tíos**

#### **Reina, Norberta, Inno, Toño, Susana, Ivet y Blanca**

Por brindarme su apoyo incondicional, consejos, oraciones y cariño que me han servido de mucho en este trayecto.

### **A la Hna.Meli y la Sra. Mari**

Gracias por sus infinitas oraciones, y escucharme siempre que lo necesite. Recordando siempre el gran amor de Dios.

**A Yolis Gutiérrez**

Por su sincera amistad, apoyo incondicional, incluirme en su familia y hacer que mis últimos meses de estudio fueran agradables y llevaderos.

**A Oscar Moreno**

Por tu amor y cariño, acompañarme siempre de la mano en los peores momentos y quedarte en los buenos, hiciste que mi estancia en Torreón fuera placentera. No hay palabras para agradecer todo lo bueno que has hecho por mí.

## INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS .....	ii
RESUMEN.....	vii
INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo .....	3
Hipótesis .....	3
REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
Origen e historia del pepino.....	4
Raíz .....	5
Tallo .....	5
Hojas.....	5
Flores.....	6
Fruto .....	6
Exigencias climáticas .....	7
Temperatura .....	7
Humedad .....	8
Luminosidad.....	8
Suelos .....	8
Cultivares del pepino .....	9
Producción y superficie sembrada de pepino en México.....	9
Densidad y esquema de plantación .....	10
Nutrición.....	10
Importancia económica y distribución geografía.....	11
Cultivo protegido de pepino.....	11
Fertilización foliar e importancia del Magnesio .....	12
Contenido y comportamiento de magnesio en el suelo .....	13
Requerimiento y asimilación de magnesio por plantas .....	14
Síntomas de deficiencia de magnesio en las plantas .....	15
Biofortificación .....	16
Biofortificación con sulfato de magnesio .....	16
Biofortificación con micronutrientes.....	17
Biofortificación agronómica en cultivos.....	18
Nutracéuticos.....	19
MATERIALES Y MÉTODOS .....	20

<b>Localización y descripción del sitio experimental</b> .....	20
<b>Material vegetal</b> .....	20
<b>Trasplante y sustrato</b> .....	21
<b>Manejo del cultivo</b> Poda.....	21
<b>Tutoreo</b> .....	21
<b>VARIABLES AGRONÓMICAS Y CALIDAD DE FRUTO</b> .....	21
<b>Altura de la planta</b> .....	21
<b>Rendimiento</b> .....	22
<b>Diámetro ecuatorial</b> .....	22
<b>Sólidos solubles totales</b> .....	22
<b>Firmeza del fruto</b> .....	22
<b>ANÁLISIS DE COMPUESTOS NUTRACÉUTICOS</b> .....	22
<b>Fenoles totales</b> .....	22
<b>Flavonoides</b> .....	23
<b>DISEÑO EXPERIMENTAL</b> .....	24
<b>Rendimiento</b> .....	25
<b>Altura</b> .....	26
<b>Firmeza</b> .....	27
<b>Longitud</b> .....	28
<b>Peso de fruto</b> .....	29
<b>Materia seca</b> .....	30
<b>Sólidos solubles totales (°Brix)</b> .....	31
<b>Calidad Nutracéutica</b> .....	32
<b>Capacidad antioxidante total</b> .....	34
<b>Vitamina C</b> .....	35
<b>CONCLUSIONES</b> .....	37
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	38



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la fertilización foliar con Mg sobre el rendimiento del cultivo de pepino. Medias con la misma letra dentro de filas son iguales estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ).....	25
Figura 2. Efecto de la fertilización foliar con Mg sobre la altura de plantas de pepino. Medias con la misma letra dentro de filas son iguales estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ). .....	26
Figura 3 Efecto de la fertilización foliar con Mg sobre la firmeza de frutos de pepino. Medias con la misma letra dentro de filas son iguales estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ). .....	27
Figura 4. Efecto de la fertilización foliar con Mg sobre la longitud de los frutos de pepino. Medias con la misma letra dentro de filas son iguales estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ). .....	29
Figura 5. Efecto de la fertilización foliar con Mg sobre el peso de frutos de pepino. Medias con la misma letra dentro de filas son iguales estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ). .....	30
Figura 6. Variable de materia seca, representado en distintas concentraciones. .....	31
Figura 7. Sólidos solubles (°Brix) de fruto de pepino con sulfato de magnesio en diferentes concentraciones. ....	31
Figura 8. Efecto de la aspersion foliar de sulfato de magnesio sobre el contenido de compuestos fenólicos. ....	32
Figura 9. Flavonoides, evaluación de pepino con respecto a la aplicación de sulfato de magnesio en distintas concentraciones. ....	33
Figura 10. Capacidad antioxidante total promedio de frutos de pepino con la aplicación de sulfato de magnesio en diferentes concentraciones (Tukey; $P \leq 0.05$ ). ....	34
Figura 11. Contenido de vitamina C de los frutos. Resultado de evaluación de pepino con sulfato de magnesio. ....	35

## RESUMEN

La deficiencia de magnesio (Mg) es un factor limitante frecuente para la producción de cultivos esto debido a los bajos niveles de Mg que se presentan en los suelos agrícolas, lo que afecta negativamente el buen desarrollo de esto en el campo. La fertilización foliar es una manera practica y accesible de corregir este problema; Siendo el Sulfato de Magnesio la fuente más usual. El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de la aplicación foliar de Sulfato de Magnesio sobre el rendimiento, compuestos bioactivos, y actividad antioxidante en los frutos de *Cucumis Sativus* L. Para ello el Sulfato de Magnesio fue aplicado foliarmente en las siguientes dosis: 25, 50, 75, 100 y 200 mg L<sup>-1</sup> y un tratamiento control. Los resultados mostraron que el control obtuvo un mayor rendimiento, que las dosis evaluadas de Mg, mayor altura de planta fue con la concentración 50 mg L<sup>-1</sup>, y en longitud la concentración 200 mg L<sup>-1</sup> superando ambas al tratamiento control, así también la variable firmeza 0.4 N y peso del fruto con 4.15 g en ambas variables el tratamiento control presento un aumento a comparación de las demás concentraciones. La calidad nutraceútica en los frutos de pepino fue mayor con cualquier dosis foliar de Mg.

**Palabras clave:** *Cucumis Sativus* L, Capacidad antioxidante, Calidad Nutraceútica

## INTRODUCCIÓN

En México, la producción de hortalizas bajo invernadero ha incrementado significativamente, ocupando la producción de pepino el 10 % de la superficie (López *et al.*, 2015). A nivel nacional en México se cosecha una superficie promedio de 17,129.1 hectáreas (Ramírez-Abarca *et al.*, 2021) .

La producción de hortalizas como el pepino en ambientes protegidos se ha convertido en alternativa para muchos productores; el uso de invernaderos o los diferentes sistemas de protección de las plantas ofrecen beneficios que hacen que la producción en regiones no tradicionales se facilite, ya que permite su producción durante todo el año (López *et al.*, 2011; Ramírez *et al.*, 2012; Sandí *et al.*, 2016).

En México es un cultivo importante por el consumo y recursos generados en su producción. Los estados de Sinaloa, Michoacán, Sonora y Morelos destacan como principales productores de esta hortaliza. En el año agrícola 2019 a nivel nacional fueron sembradas 16,200 ha de pepino de las cuales se obtuvieron 826,402 toneladas que generaron 5,496,036 millones de pesos por su comercialización (SIAP, 2019).

El pepino está constituido un 95 % de agua y con un escaso valor calórico, que no llega a las 20 calorías por cada 100 gramos, y los hace extremadamente ligeros, adecuados para combatir la obesidad. Las plantas, son herbáceas, trepadoras o rastreras, que producen frutos muy grandes y protegidos por una corteza firme (Martínez, 2012).

La duración del ciclo del pepino bajo condiciones de invernadero es de 108 días en invierno, lo que da oportunidad de realizar dos siembras al año prolongando así la ventana de producción (López *et al.*, 2015).

Por lo tanto, las plantas deben ser alimentadas con nutrientes continuamente para obtener un mayor rendimiento, los nutrientes se proporcionan a las plantas a través del suelo y las hojas, la aplicación foliar es el método más rápido y excelente para suministrar nutrientes a las plantas (Fageria *et al.*, 2009).

El Magnesio es el elemento central en la molécula de clorofila, es el hilo conductor detrás de la fotosíntesis en las plantas. Sin magnesio, la clorofila no puede capturar energía solar necesaria para la fotosíntesis y una parte integral en la partición y utilización de fotoasimilados, fotofosforilación (incluida la formación cloroplastos) y carga de sacarosa en el floema, fotooxidación en los tejidos de las hojas y generación de especies reactivas de oxígeno (Cakmak y Yazici, 2010 ).El Mg aplicado foliarmente juega un papel importante en el ciclo fisiológico y bioquímico de las plantas (Adnan *et al.*, 2020). La biofortificación se ha desarrollado como una nueva técnica para combatir el flagelo generalizado del hambre oculta, cuya causa fundamental es la dependencia exclusiva de los alimentos básicos para la nutrición (Sharma *et al.*, 2012).

**Objetivo**

Evaluar el efecto de la aplicación foliar magnesio en el rendimiento y calidad nutraceuticas en pepino (*Cucumis sativus* L.)

**Hipótesis**

La fertilización foliar con Magnesio mejora el rendimiento y la calidad de los frutos de pepino.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen e historia del pepino

El pepino (*Cucumis sativus* L.) pertenece a la familia Cucurbitaceae, incluyendo más de 800 especies distribuidas a través de regiones tropicales y subtropicales (Boualem *et al.*, 2014). Originario del sudeste de Asia, es una especie cultivada que se extendió hacia el cercano Oriente; conocido por los griegos y los romanos antiguos, el cultivo era forzado y lo introdujeron al este de China y después a Europa (Maroto *et al.*, 2010). Es una planta anual, herbácea de crecimiento rastrero e indeterminado, el pepino tiene un alto índice de consumo, en fresco como industrializado, representa una alternativa de producción para el agricultor, tanto para mercado interno, como con fines de exportación (Moreira, 2013).

### Descripción morfológica del pepino

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es la cuarta hortaliza más sembrada en el mundo. (Adeoye y Balogun, 2016). Una vez recolectado en madurez comercial, empieza a experimentar rápidamente cambios metabólicos tendientes a la senescencia y muerte de los tejidos (Moreno *et al.*, 2013).

## **Raíz**

Tiene un sistema radical muy potente y extenso. Con una raíz principal pivotante que suele alcanzar los 60 cm de profundidad, pero puede llegar hasta más de 1 metro en cultivos sueltos y profundos, dicha raíz se ramifican numerosas raíces secundarias muy finas, la raíz de pepino es de rápido crecimiento (Reché ,2011).

## **Tallo**

Herbáceo, trepador, rastrero, anguloso y áspero. Con un crecimiento ilimitado, formación de nudos y entrenudos. Hojas: pecioladas, con pecíolo largo y abierto, grandes, acorazonadas, opuestas a los zarcillos (tallo, hoja o pecíolo especializado del que se sirven para sujetarse a una superficie o a otras plantas), simples, alternas, de limbo lobulado, divididas en 3-4 lóbulos más o menos pronunciados, con el central más afilado, Bordes suavemente dentados, recubiertas de una vellosidad fina, de tacto áspero sobre todo en hojas viejas y con nervios muy pronunciados por el envés. Son de color verde claro cuando son jóvenes y de tono algo más oscuro y más quebradizas las más bajas de la planta, y las 7 que son más afectadas por los plagas y enfermedades, principalmente por la mosca blanca, al principio del ciclo de la planta, a los 7 días, ya se aprecian las dos primeras hojas verdaderas de aspecto ovalado (Reché ,2011).

## **Hojas**

Las hojas son pecioladas, con pecíolo largo y hendido, grandes, palminervias, acorazonadas, opuestas a los zarcillos, simples, alternas, de limbo lobulado, divididas en 3-4 lóbulos más o menos pronunciados, siempre el central más puntiagudo, dependiendo

de la variedad, a veces no se aprecian notablemente. Bordes suavemente dentados, recubiertas de una vellosidad fina, de tacto áspero sobre todo en hojas viejas y con nervios muy pronunciados por el envés. Las hojas de pepino se desarrollan en cada nudo del tallo junto a los zarcillos, Un argumento son de color verde claro cuando son jóvenes y de tono algo más oscuro y más quebradizos las más bajas de la planta (Reche, 2011).

## **Flores**

En las axilas de las hojas nacen flores gamopétalas, masculinas y femeninas, flores unisexuales en plantas monoicas. Una vez polinizadas, darán origen al fruto, diferenciándose fácilmente unas de otras porque las femeninas poseen un ovario ínfero que se aprecia notablemente por un diminuto pepino cubierto de vellosidad y que se desarrolla antes de la floración. Las flores del pepino son de color amarillo oro intenso y de corto pedúnculo (Reché, 2011).

## **Fruto**

Es una pepónide, de forma cilíndrica y alargada, sección circular, peso y tamaño variable, color verde claro al principio posteriormente tiende a tomar color verde más oscuro y amarillento en su madurez fisiológica, que no tiene valor comercial, en cuyo interior y a lo largo del fruto se encuentran las semillas. Las semillas están vacías y muy tiernas cuando los frutos no son polinizados, como ocurre en plantas **ginoicas**, estas plantas con frutos partenocárpicas son variedades de frutos largos que proceden de variedades de floración totalmente femenina, que no necesitan ser fecundadas por el polen de las flores masculinas. La piel del pepino suele ser lisa, con o sin estrías, espina o sin ellas y



de piel rugosa y muy fina. La pulpa es de color blanquecino, acuosa, refrescante, y en algunas variedades de sabor algo amargo (Reché ,2011).

### **Exigencias climáticas**

El manejo racional de forma conjunta de los factores climáticos es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados. (Tamaro, 2005).

Los requerimientos en cuanto a clima y suelo de la planta de pepino se mencionan los siguientes:

#### **Temperatura**

El pepino se adapta a climas cálidos y templados y se cultiva desde las zonas costeras hasta los 1,200 metros sobre el nivel del mar. Por encima de 40 °C el crecimiento se detiene, con temperaturas inferiores a 14 °C, ocurre lo mismo, y en caso de prolongarse esta temperatura, se caen las flores femeninas. La planta muere cuando la temperatura desciende por debajo de 1°C, comenzando un marchitamiento general de muy difícil recuperación (Qian *et al.*, 2013).

## **Humedad**

Es una planta con elevados requerimientos de humedad, debido a su gran superficie foliar, siendo la humedad relativa óptima durante el día del 60-70% y durante la noche del 70-90%. Sin embargo, los excesos de humedad durante el día pueden reducir la producción, al disminuir la transpiración y en consecuencia la fotosíntesis, aunque esta situación no es frecuente, así como exceso de humedad también puede provocar la aparición de enfermedades (Prono *et al.*, 2003).

## **Luminosidad**

Planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas, a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción (Ortega *et al.*, 2012).

## **Suelos**

Se puede cultivar en una amplia gama de suelos fértiles y bien drenados; desde los arenosos hasta los franco-arcillosos, aunque los suelos francos que poseen abundante materia orgánica son los ideales para su desarrollo, se debe contar con una profundidad efectiva mayor de 60 cm, que facilite la retención del agua y el crecimiento del sistema radicular para lograr un buen desarrollo y excelentes rendimientos, en cuanto a pH, el cultivo se adapta a un rango de 5.5-6.8, soportando incluso pH hasta de 7.5; se deben evitar los suelos ácidos con pH menores de 5.5 (Casaca, 2005).

## **Cultivares del pepino**

El cultivo de pepino desde el punto de vista agronómico se clasifica en dos grandes grupos a saber, los pepinos propiamente para el consumo fresco por su tamaño y coloración viable en su cáscara, encontrándose colores desde el verde hasta el amarillento y los pepinillos, utilizados principalmente para consumo en encurtidos o conservas producto del proceso de la agroindustria, diferenciándose de los otros por sus tamaños pequeños y cortezas de color verde, Por otra parte, se clasifican en tres tipos de variedades morfológicamente diferentes, los cuales son pepinos cortos y pepinillos tipo español, los pepinos medio largos tipo francés y los pepinos largos tipo holandés, las características que los diferencian son principalmente por el tamaño, presencia de espinas, tipo de floración entre otras (Mejía ,2010).

## **Producción y superficie sembrada de pepino en México**

En el ciclo agrícola 2019, en México la superficie cosechada de 16,008 ha<sup>1</sup> con una producción total de 1, 191, 607 ton, alcanzando un rendimiento de 74.4 ton/ha-1 (SIAP, 2019). En el año 2020 la superficie cosechada fue de 15, 742 ha-1, alcanzando una producción de 1, 159, 933 ton, con un rendimiento de 73.6 ton/ha-1 (SIAP, 2021)., Sinaloa es el estado de nuestro país que más produce y exporta pepino, y es su segundo cultivo de más importancia después del tomate. el pepino de mesa para rebanar, representa el 80 % de la producción, y se subdivide a su vez en los tipos americano y europeo, conocido también como inglés (Seminis, 2018).

## Densidad y esquema de plantación

Los espaciamientos utilizados en plantas de pepino pudieran ser desde 1,2 a 1,5 m entre hileras y de 25 a 30 cm de separación entre plantas. En dependencia del marco de plantación, un rango de población de plantas por hectárea pudiera estar entre 27 000 y 33 000 (2,7 – 3,3 planta m<sup>2</sup>) (Zamora, 2017).

## Nutrición

Muchas soluciones nutritivas se han formulado y ajustado para el crecimiento de las plantas en diferentes sustratos variando su concentración. (Steiner, 1961) por ejemplo, crea una solución nutritiva Universal basada en el concepto de relación mutua que existe entre la concentración iónica total. Por lo tanto, cualquier relación entre aniones y cationes puede ser establecida siempre y cuando no sobrepase los límites de precipitación en las combinaciones de 7 iones, lo que igual ocurre con las concentraciones totales de sales (Sandí *et al.*, 2016). Al satisfacer la planta con el manejo de los fertilizantes se pueden lograr buenos rendimientos en el producto final, al trabajar en ambientes protegidos la producción en este tipo de sistemas incorpora ciertos componentes que se relacionan unos con otros y es ahí donde los sistemas hidropónicos juegan un papel muy importante para el desarrollo de las plantas gracias al suministro continuo de una solución nutritiva a través del sistema de riego (Barraza, 2017).

## **Importancia económica y distribución geográfica**

El pepino es una de las hortalizas cucurbitáceas más conocidas, cultivada en casi todo el mundo principalmente para consumo de sus frutos no climatéricos en estado inmaduro (Caicedo, 1993). En 100 g de parte comestible, los pepinos poseen alto contenido de agua (96,7%) y pocas calorías (9); contienen vitamina A (20 UI), vitamina B1 (0,02 mg), vitamina B2 (0,02 mg), vitamina B3 (0,1 mg), vitamina C (8 mg), y minerales como calcio (7 mg), potasio (147 mg), hierro (0,3 mg), fósforo (30 mg) y magnesio (13 mg). El pepino se ubica en cuarto lugar como la hortaliza más importante del mundo, después del tomate (*Solanum lycopersicum* L.), repollo (*Brassica oleracea* L. var. capitata) y cebolla (*Allium cepa* L.) (Qureshi *et al.*, 2010 y Abu *et al.*, 2013). Esta hortaliza es valorada por su período vegetativo corto y por tratarse de un cultivo con gran adaptabilidad de siembra, puede prosperar incluso en el clima invernal. Sin embargo, se pueda sembrar en cualquier temporada, el pepino es más abundante durante la estación de primavera (Seminis, 2018). También tiene amplio uso en cosmetología y salud, en la fabricación de jabones, cremas y productos que aprovechan sus propiedades como emoliente, diurético, depurativo, laxante y calmante, así como sus efectos en tratamientos de aclaramiento de la piel y manchas, reducción de ojeras y nutrición del cuero cabelludo (Qureshi *et al.*, 2010; Abu *et al.*, 2013).

## **Cultivo protegido de pepino**

La agricultura intensiva pretende producir el máximo con la menor ocupación posible del suelo, para ello se recurre a una serie de técnicas con el objetivo de forzar la producción,

un ejemplo de este tipo de producción es el cultivo bajo invernadero, el cual busca obtener el más alto rendimiento a costa de aislarlo de las condiciones naturales mediante el forzado del cultivo a través de técnicas de climatización (calefacción, humidificación, iluminación, etcétera) y técnicas culturales (fertirrigación, sustratos, etcétera), rentabilizando al máximo la ocupación del terreno, esta rentabilidad implica una mejora en el uso de los recursos naturales, agua y suelo (Antón, 2004). El pepino es un cultivo de temporada cálida con condiciones de crecimiento de 26.7 a 29.4 °C y mucha luz solar (Hochmuth, 2008). En los últimos años la horticultura en invernadero ha aumentado de forma constante en casi todo el planeta (García-Torrente Pérez-Mesa, 2012). Según (Nieves-García *et al.*, 2011), la agricultura protegida se destina a los sistemas de producción que llevan a cabo actividades bajo una cubierta con propósito de proteger al cultivo de condiciones ambientales que lo puedan afectar.

### **Fertilización foliar e importancia del Magnesio**

La fertilización foliar es una técnica de alimentación de las plantas mediante la aplicación directa de fertilizante líquido a las hojas, las plantas son capaces de absorber elementos esenciales a través de sus hojas, la absorción tiene lugar a través de sus estomas y también a través de su epidermis, el transporte suele ser más rápido, a través de los estomas, pero la absorción total puede ser tan grande a través de la epidermis (Chethan, 2022). Por lo tanto, la fertilización foliar de elementos minerales, como el mg es un enfoque alternativo al uso de fertilizantes en el suelo (White, 2009).

El magnesio es componente de la clorofila, el pigmento que da el color verde a las plantas, por esta razón las plantas que tiene deficiencia de magnesio, tienen deficiencia

de clorofila, este pigmento es esencial para el proceso fotosintético, muchos experimentos han demostrado que cuando el contenido de clorofila en las plantas es bajo se reduce marcadamente la tasa de fotosíntesis, los rendimientos y la calidad de la cosecha; las plantas con deficiencia de magnesio presentan una clorosis o amarillamiento intervenal en las hojas viejas que se inicia desde la punta de la lámina foliar hacia la base (Molina, 2000). Además, la deficiencia de mg provoca una menor proporción de N proteico (Marschener, 2012).

### **Contenido y comportamiento de magnesio en el suelo**

Representa el 1.93% de la Corteza Terrestre, varía desde menos de 1% en suelos de textura gruesa y en zonas húmedas, hasta valores de 2.9% en suelos de textura fina y clima árido semiárido con materiales madres ricos en Magnesio. El Mg se encuentra en forma soluble, cambiante e insoluble, con un contenido inferior al del Ca y K. El magnesio puede ser fácilmente lavado por el agua de percolación de los suelos. (Molina, 1970). El magnesio disponible para las plantas en el suelo, está en la forma cambiante y/o hidrosoluble, la absorción del magnesio por las plantas depende de la cantidad presente, del grado de saturación, de la naturaleza de los otros iones cambiantes, y del tipo de arcilla, al igual que el potasio, pero quizás en menor extensión, el magnesio puede hallarse en los suelos en forma algo lentamente disponible, en la que éste se halla en equilibrio con el magnesio cambiante. Los suelos de textura gruesa son aquellos que por regla general son deficientes en magnesio, Estos suelos contienen tan solo pequeñas cantidades de magnesio cambiante, condición que se agrava por la adición de grandes cantidades de sales fertilizantes que contienen poco o nada de este elemento, dicho

elemento en estos suelos es liberado por cambio iónico cuando se añaden estos fertilizantes y grandes cantidades de cloruros y sulfatos favorecen la eliminación en las aguas de percolación (Escalante, 2014).

En el suelo, el Magnesio, está presente en tres formas:

1. Magnesio en la solución del suelo: en la solución del suelo está en equilibrio con el Magnesio intercambiable y está fácilmente disponible para las plantas (Cakmak y Yazic 2010).

2. Magnesio intercambiable: Ésta es la fracción más importante para determinar el Magnesio disponible, Esta fracción consiste en el Magnesio adsorbido electrostáticamente a las partículas de arcilla y materia orgánica, su liberación depende del efecto que tiene la absorción de un  $Mg^{++}$  en la solución del suelo en el equilibrio con la fracción intercambiable. (Cakmak y Yazic 2010).

3. Magnesio no intercambiable: Es un componente de los minerales primarios en el suelo. Está en la red de cristal que es la base estructural directa de los silicatos del suelo. El proceso de descomposición de los minerales en el suelo es muy lento, por lo tanto, esta fracción de Magnesio no está disponible para las plantas (Cakmak y Yazic 2010).

### **Requerimiento y asimilación de magnesio por plantas**

Macronutriente que se encuentra en forma orgánica y en forma de ion magnesio ( $Mg^{2+}$ ), absorbido por las plantas desde la solución del suelo en forma de catión y como el calcio, es suministrado a las raíces de las plantas por flujo de masas. Aunque las plantas requieren mucho menos Magnesio que Nitrógeno o Potasio, las cantidades requeridas



por la mayoría de cultivos son comparables con los requerimientos de fósforo o azufre (Escalante, 2014). La deficiencia de magnesio puede suprimir todo el incremento de la masa de la planta o específicamente suprimir el crecimiento de las raíces o brotes de crecimiento. Sin embargo, la extensión de inhibición de crecimiento de raíces y brotes será influenciado por la severidad de la deficiencia de magnesio, tipo de planta, etapa del desarrollo de la planta, condiciones ambientales, en general su estado nutricional del cultivo (Barker & Bryson 2006).

### **Síntomas de deficiencia de magnesio en las plantas**

Vistoso y Martínez (2020) destaca que los principales síntomas asociados a la deficiencia de Mg en plantas son: retraso en el crecimiento y tallos delgados y largos, el Mg es móvil en la planta, se transloca desde las hojas más viejas a las más jóvenes, por ello, las hojas jóvenes no se ven afectadas. Se desarrolla una clorosis (amarillamiento del tejido foliar) intervenal de color amarillo claro en la zona media de las hojas viejas que avanza hacia la punta y la base de las hojas. Bajo condiciones de deficiencia severa de Mg, la clorosis evolucionará a franjas color café (como óxido en las hojas viejas), posteriormente, tanto las puntas como los márgenes de las hojas se volverán café oscuro y se necrosarán causando la muerte prematura de las células del tejido foliar. Además, la deficiencia de Mg en los campos puede deberse a su antagonismo iónico con cationes competidores ( $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$  y  $Na^+$ ) que inhiben fuertemente la absorción de  $Mg^{2+}$  por las raíces. La deficiencia de minerales en las plantas comienza a ser un problema global considerando el aumento de la población humana y la necesidad de satisfacer las futuras necesidades mundiales de alimentos y nutrientes (Coelho *et al.*, 2022).

## **Biofortificacion**

La biofortificación es el proceso de aumentar el contenido y/o la biodisponibilidad de nutrientes esenciales en los cultivos durante el crecimiento de las plantas (De Valença *et al.*, 2017). La biofortificación agronómica se considera como una estrategia rentable y sostenible para minimizar las deficiencias de micronutrientes en la población (De Groote, *et al.*, 2021). Y que tiene como objetivo mejorar las características agronómicas, mediante la aplicación de estos elementos vía edáfica, foliar o en solución nutritiva (Jha y Warkentin, 2020). La Biofortificacion tiene múltiples ventajas, como la inversión una sola vez para desarrollar semillas fortificadas, los costos recurrentes son bajos y el germoplasma puede ser compartido. Además, el sistema de cultivos biofortificados es un medio viable para hacer llegar alimentos fortificados a las personas con acceso limitado a ellos, especialmente la gente desnutrida de zonas rurales relativamente remotas (Nestel *et al.*, 2006). Además, la biofortificación proporciona un medio factible de llegar a las poblaciones rurales desnutridas que pueden tener acceso limitado a alimentos fortificados comercializados y suplementos (Bouis *et al.*, 2011).

### **Biofortificacion con sulfato de magnesio**

En investigaciones de (Sánchez *et al.*, 2021) ,las habichuelas se puede mejorar mediante la biofortificacion con cloruro y sulfato de magnesio,el sulfato de magnesio elevó las antocianinas totales más que el cloruro de magnesio en las partes comestibles de la planta con base en la alta concentración de flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante en las plantas biofortificadas con Magnesio, es factible recomendar la aplicación de un programa de biofortificación en 'frijol común' con sulfato de magnesio a una dosis de 100 ppm para reducir la desnutrición. En este contexto, dado

que el tomate (*Lycopersicon esculentum*) es uno de los cultivos hortícolas más populares y consumidos a nivel mundial, y debido a la necesidad de mejorar el contenido de minerales en los cultivos comestibles, un estudio tuvo como objetivo comprender las interacciones minerales (relaciones sinérgicas y antagónicas) en tomates de variedad industrial (H1534) biofortificados con Mg. mediante aspersion foliar presentó un mayor contenido en el tratamiento con 4%  $MgSO^4$  . Adicionalmente, fue posible identificar un efecto antagónico con Mg y Fe y una tendencia a una relación sinérgica con K y Cu, en conclusión, a pesar de la tendencia sinérgica, antagónica y no clara de las relaciones entre los minerales analizados, no hubo cambios significativos en el contenido de sólidos solubles totales en los tomates, mostrando de hecho un aumento no significativo en los tomates biofortificados con  $MgSO^4$  (Coelho *et al.*, 2022).

### **Biofortificacion con micronutrientes**

La aplicación de micronutrientes a través de la biofortificacion de cultivos es una herramienta muy útil no solo para incrementar la cantidad de los micronutrientes esenciales sino, además mejorar la biosíntesis de compuestos bioactivos (Gaucin *et al.*,2020). Las deficiencias en calcio (Ca) y cobre (Cu) se presentan en un tercio de la población, principalmente en los países en vías de desarrollo ( White y Broadley, 2005. ). Al respecto Prasad *et al.* (2015) mencionan que el éxito de la biofortificación depende de la movilidad del elemento en el suelo y la planta, el zinc es uno de los microelementos más adecuados para la biofortificación, presentando su mayor absorción cuando se aplica de forma foliar como  $ZnSO_4$ . Mientras que Cakmak *et al.*, (2010) reportan que el método más eficaz para incrementar el contenido de zinc en el grano de trigo es la aplicación edáfica y foliar. Al mismo tiempo, en repollo (*Brassica oleracea*) la aplicación

de dosis entre 80 y 100  $\mu\text{M}$  de Zn incrementan la concentración de zinc en la parte comestible de la planta (Barrameda et al., 2017). Ahora bien, con el fin de que los programas de biofortificación sean eficaces para aumentar la ingesta diaria de animales y personas, se deben realizar en cultivos que formen parte de sus dietas básicas, en este sentido, las leguminosas junto a los cereales son idóneas para estos estudios (Thavarajah et al., 2010). En lo referente al frijol caupí se reporta que el contenido de zinc en el grano es bajo, en especial al sembrarse en suelos con deficiencias de elementos (Morales et al., 2016). Mientras que Guillen et al. (2016) reportan que se incrementa el contenido de zinc en el grano de frijol caupí cuando se biofortifica con quelato de Zn de forma edáfica.

### **Biofortificación agronómica en cultivos**

Desde la perspectiva de la nutrición humana, Finlandia proporciona un modelo de biofortificación de Se, programa que se ha utilizado con éxito para abordar un problema de salud pública (Ríos et al., 2013). De acuerdo con estudios realizados de Schiavon et al. (2013); y Costa de Oliveira et al. (2018) el suministro de Se en forma de selenato vía foliar, en pequeñas concentraciones, tiene un efecto beneficioso sobre cultivos aumentando la materia seca final y mejorando los niveles de antioxidantes flavonoides naringenina, calcona, y Kaempferol. Si bien, es verdad, que algunos autores han observado menor absorción de otros nutrientes con aplicación de Se al suelo. En un ensayo con zanahoria (*Daucus carota*) disminuyó la concentración de K un 26% en la parte aérea de las plantas (Costa de Oliveira et al., 2018). También, Drahonovsky et al. (2016) apreció esta disminución de K en plantas silvestres, para el trigo cultivado en solución nutritiva. Guerrero et al. (2014) observó que, cuando las plantas fueron

sometidas a diferentes concentraciones de Se, tanto de selenato como de selenito, hubo una reducción de la concentración de Fe, tanto en la parte aérea como en las raíces. Zembala *et al.*, (2010) detectó una reducción del contenido de Fe en las raíces cuando se aplicó Se en suelo como selenato. (Cakmak *et al.*, 2010; Benavides *et al.*, 2012; Ghasemi *et al.*, 2013 y Gomez *et al.*, 2016) mencionan que el Zn ha recibido creciente atención y se le considera, junto con la deficiencia de vitamina A, como uno de los problemas más serios de la salud pública alimentaria a nivel mundial. Por ello, es común la biofortificación de cultivos con sulfato u óxido de Zn, tanto foliar como aplicado al suelo, aunque la aplicación en suelo ha resultado ser menos efectiva a la hora de acumular Zn en las partes comestibles aunque sí mejora el rendimiento de los cultivos, más que la aplicación foliar (Cakmak *et al.*, 2010). Se aconseja la aplicación combinada suelo+foliar para mejorar tanto los rendimientos como la concentración de Zn en las partes comestibles de los cultivos (Poblaciones y Rengel, 2016).

### **Nutracéuticos**

Los nutraceuticos son productos basados en ingredientes procedentes de la propia naturaleza (animales, plantas o minerales) y se caracterizan por ser ricos en determinados nutrientes, lo cual determina su incidencia en la nutrición y en nuestra salud. Son productos atractivos por su origen natural, puesto que se encuentran en la forma más biodisponible y generalmente pueden ser administrados a largo plazo, sin riesgos de efectos colaterales (Pérez, 2010). Los alimentos nutraceuticos se dividen en tres grupos: Nutrientes: azúcares y grasas. Compuestos químicos: fibras, antioxidantes, carotenos, ácidos grasos, Omega 3. Probióticos: microorganismos benéficos (lácteos) (Neff y Holman, 1997; Pérez, 2010). Algunas funciones de acción biológica en el

organismo en las que intervienen son: evitar el estrés oxidativo, regular la función genética, realizar modulación hormonal e inmune y participar en el metabolismo carcinogénico y en la ruta metabólica mediante la inducción de enzimas (Waliszewski y Blasco, 2015).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización y descripción del sitio experimental**

El procedimiento experimental se llevó a cabo en dos etapas, establecimiento del experimento, las cuales se denominan como cultivo del pepino y el análisis de muestras: etapa 1; el cultivo del pepino; etapa 2, análisis de muestras. Seleccionando la ubicación del experimento en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, localizada en Periférico y Carretera a Santa Fe s/n, Torreón, Coahuila, la Universidad se encuentra dentro de la Region Geografica conocida como la Comarca Lagunera, Región ubicada en el Centro-Norte de México. Se localiza a 24° 22' de latitud norte y 102°22' de longitud oeste, a una altura de 1,120 metros sobre el nivel del mar. El clima en dicha zona es árido con lluvias poco abundantes en todas las estaciones. La temperatura media anual es de 20 a 22°C y la precipitación media anual se encuentra en el rango de los 100 a 200 milímetros, con régimen de lluvias (INFAED, 2018).

### **Material vegetal**

El material vegetativo se usarán semilla de pepino de la variedad Poinsett 76, tipo monoica y crecimiento indeterminado.

## **Trasplante y sustrato**

Se utilizaron semillas de pepino de la variedad Poinsett 76, tipo monoica y crecimiento indeterminado. El experimento fue establecido por siembra directa en bolsas negras de polietileno con capacidad de 4 L, el sustrato utilizado fue arena y perlita en relación 9:1. Dicho cultivo se guio a un solo tallo, el riego y la nutrición con la solución nutritiva según Steiner, (1961). La CE fue de  $2 \text{ dS m}^{-1}$  con un pH de 5.5. El riego con la SN se realizó aplicando en la etapa de germinación 250 mL por día durante dos semanas. Después, un litro por planta durante los siguientes tres meses.

## **Manejo del cultivo Poda**

Las plantas fueron podadas a una sola guía, eliminando las yemas axilares (chupones) regularmente cada semana. Sin embargo, hubo podas de hojas senescentes para mejorar la aireación y penetración de luz en la parte inferior de las plantas.

## **Tutoreo**

Se utilizó rafia agrícola de polipropileno calibre 1200 m/kg con la finalidad de mantener las plantas derechas. Las plantas fueron amarradas con rafia al alambre que se tendió a una altura de 2,10 m. atada a la estructura del invernadero.

## **Variables agronómicas y calidad de fruto**

### **Altura de la planta**

La altura de la planta se determinó midiendo con una cinta métrica escala 0 a 5 m desde la base del tallo hasta el ápice de la planta al finalizar el corte del quinto racimo. Para el diámetro de tallo se utilizó un vernier digital marca Truper modelo 14388 y se expresaron en milímetros (mm).

### **Rendimiento**

Se efectuó con el peso de cada uno de los frutos en una báscula digital, posteriormente se una suma total de los frutos de cada planta se multiplicó por los metros cuadrados que fue 1.2 m<sup>2</sup>.

### **Diámetro ecuatorial**

Con la ayuda de un vernier se midió la parte media del fruto

### **Sólidos solubles totales**

Se tomo tres frutos de cada tratamiento y por repetición, perforando cuidadosamente cada fruto para obtener una gota de jugo el cual fue depositada en un refractómetro manual (Master Refractometer Automatic Atago) los valores se reportarían en °Brix.

### **Firmeza del fruto**

Se determino con un penetrómetro de la marca FRUIT PRESSURE TESTER FT 327 utilizando una puntilla de 8 mm de diámetro, para esto se retira la cutícula.

### **Análisis de compuestos nutracéuticos**

#### **Fenoles totales**

Los fenoles totales se midieron por colorimetría utilizando el método Folin-Ciocalteau, propuesto por Singlenton *et al.* (1985). Los fenoles de la muestra de 0.5 g fueron extraídos con metanol. Agregando 750 µL de al 2% en un tubo de ensayo, continuando con la adición de 250 µL del reactivo Folin-Ciocalteau al 50%, con un volumen final de 1375 µL de O desionizada, añadiendo 250 µL del extracto enzimático. Los resultados de fenoles totales se expresaron en **mg de ácido gálico g<sup>-1</sup>**.



## Flavonoides

El análisis de flavonoides se realizó siguiendo método de Zhishen *et al.* (1999). Los compuestos fueron extraídos con metanol. Una cantidad de 0.5 g se homogeneizó con 5 mL de metanol. Se centrifugó a 4000 rpm durante 10 minutos a 4 °C. Para la mezcla se colocaron 250 µL de la alícuota en un tubo de ensayo, seguido de la adición de 75 µL de NaNO<sub>2</sub>, se agitó mediante un vortex. Después de cinco minutos se agregaron 150 µL de ALCL; luego, se incorporó un volumen de 500 µL de NaOH, más un volumen final de 2.025 de H<sub>2</sub>O. La absorbancia fue medida al instante por espectrofotometría A510. Los flavonoides fueron cuantificados basados sobre una curva estándar de catequina.

**Capacidad antioxidante** Se analizó la fruta vegetal recién cosechada, seleccionando al azar cuatro frutos en cada uno de los tratamientos, los cuales se lavaron con agua potable y se secaron con papel secante. Posteriormente se depositaron en bolsas Ziploc® con sus respectivas etiquetas. Las muestras se enviaron al laboratorio de alimentos en la Facultad de Biología de la Universidad Juárez del Estado de Durango, en la ciudad de Gómez Palacio, Durango. El análisis de antioxidantes en estándar Trolox en forma *in vitro* se determinó de acuerdo con Esparza-Rivera *et al.* (2006). La capacidad antioxidante equivalente en Trolox se evaluó de acuerdo al método *in vitro* ABTS<sup>+</sup> reportado por Esparza *et al.* (2006). Los frutos seleccionados se lavaron y posteriormente se pasó al proceso de pelado y troceado (sin cáscara) considerando el tamaño de partículas. Se preparó una solución en método de DPPH<sup>+</sup> (Radical libre estable, 1-Difenil-2 Picril-hidrazilo hidratado) en polvo mezclado en metanol en porción de 7.886 mg DPPH en 100 mL de metanol (solución Stock DPPH<sup>+</sup>), mezclado perfectamente y se dejó reposar 24 h en refrigeración. La absorbancia se ajustó de  $1.100 \pm 0.010$  a 25 °C a una longitud de onda de 515 nm. Se utilizó solución buffer PBS 5 mM. Se mezclaron 100 mL

de muestra y 1 mL solución DPPH<sup>+</sup> (reacción a partir de la adición), la solución morada de radicales (solución DPPH), indicador de presencia de antioxidantes, se procedió a la lectura de absorbancia en celdas de espectrofotómetros a 550 nm bajo curva estándar de Trolox, las muestras fueron triplicadas, se expresó en micro **M equiv/100 g FW**.

**Vitamina C** El contenido de vitamina C en fruto, se determinará por el método de titulación (Padayatt *et al.*, 2001). Se tomaron muestras de fruto en fresco de 10 g, se trituró juntamente con 10 ml de ácido clorhídrico 2 %, se filtra y se afora 100 mL con agua destilada en un matraz Erlenmeyer. Con 10 mL del diluido, se tituló con el 2,6 diclorofenolindofenol (1x10<sup>-3</sup> N) y se determinó el contenido de vitamina C con la fórmula:

$$\text{Vit C (mg 100g PF)} = (\text{mL de 2.6 diclorofenolindofenol})(0.088)(\text{volumen total})(100)/(\text{volumen de la alícuota})(\text{peso de la muestra}).$$

### **Diseño experimental**

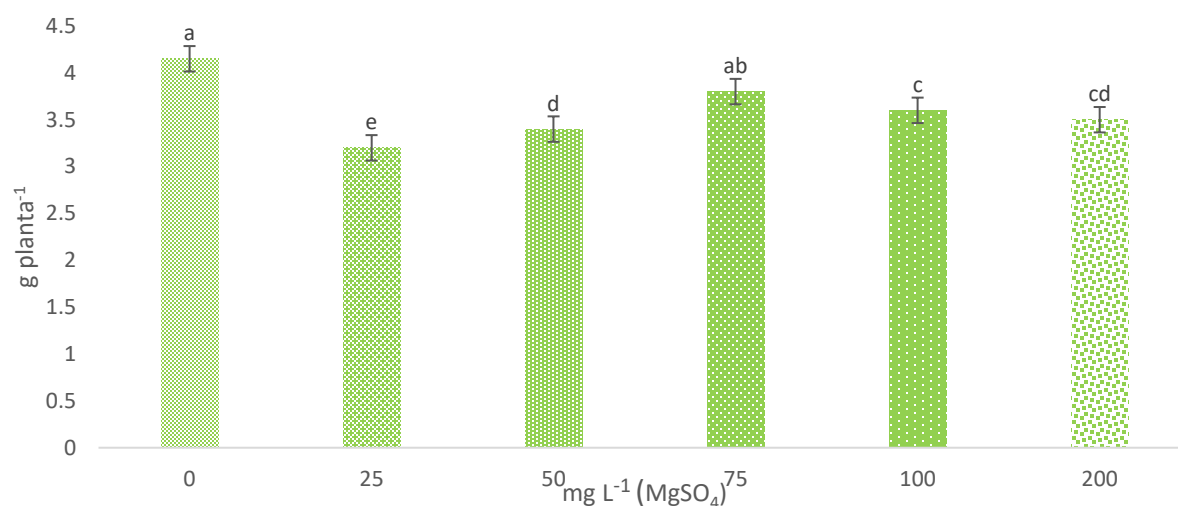
El diseño experimental fue un en bloques completamente al azar compuesto de seis tratamientos y un control con cinco repeticiones utilizando Sulfato de, Magnesio en las siguientes dosis: 25, 50, 75, 100 y 200 mg L<sup>-1</sup>. Los tratamientos se aplicarían cada 10 días después de las primeras hojas verdaderas según las dosis correspondientes, fueron aplicados de manera foliar.

**Análisis estadístico** Los resultados obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza y la comparación de medias con la prueba de Tukey (P≤0.5) utilizando el paquete estadístico SAS versión 9.0 (Statistical Analysis System Institute).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento

El análisis de varianza del rendimiento no mostro diferencia significativa ( $P > 0.01$ ) como resultado de las diferentes concentraciones de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  evaluadas. Donde el control obtuvo la mayor producción las demás concentraciones como lo muestra la Figura 1.



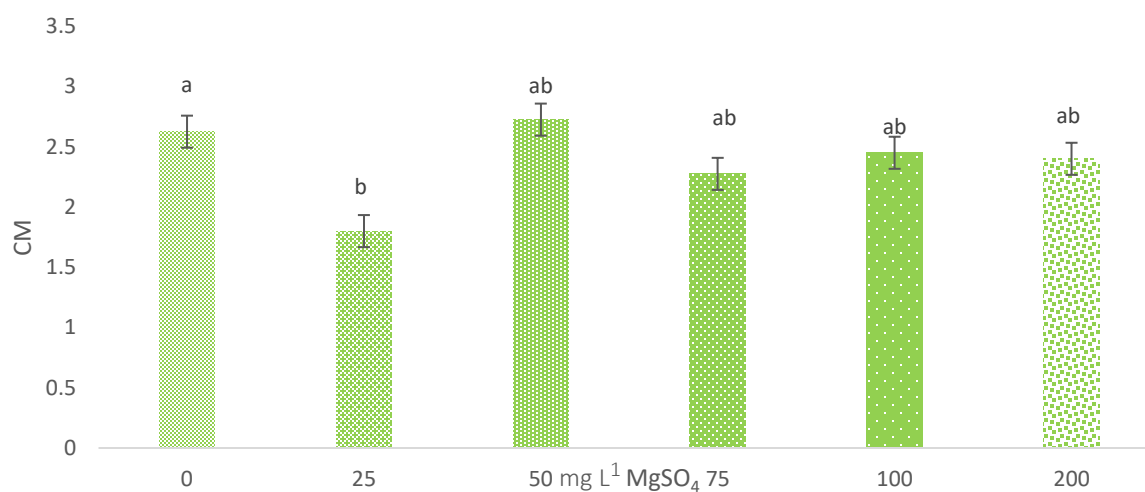
**Figura 1.** Efecto de la fertilización foliar con Mg sobre el rendimiento del cultivo de pepino. Medias con la misma letra dentro de filas son iguales estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ).

El rendimiento de un cultivo se determina por la capacidad de la acumulación de materia seca en los órganos destinados a la cosecha, donde el número y peso de frutos son los principales componentes del rendimiento (Casierra *et al.*, 2007). Se han realizado investigaciones semejantes según Kasinath (2015) Los tomates híbridos con alto potencial de rendimiento presenta una muy alta demanda de magnesio y, son

vulnerables a la deficiencia de magnesio en suelos. Por otro lado, Mendoza (2020) comenta que los tomates cultivados en arenilla (50 – 80 ppm de Mg en solución de nutrientes) teniendo mejores resultados en el rendimiento. En un campo experimental, 54 kg Mg ha<sup>-1</sup> incrementó el rendimiento de tomate por 27.9%. Así mismo Veneros. (2010) menciona que una dosis de 60 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de magnesio, incrementó el rendimiento en 35.43 y 29.46 % TM ha<sup>-1</sup> de caña de azúcar en *Saccharum officinarum* L. variedades H32 y H38 “caña de azúcar”.

### Altura

Mediante los resultados obtenidos para las variables agronómicas, no mostro diferencia significativa ( $P > 0.001$ ). Donde la concentración de 50 mg L<sup>-1</sup> se observó un mayor incremento a comparación de los demás tratamientos.

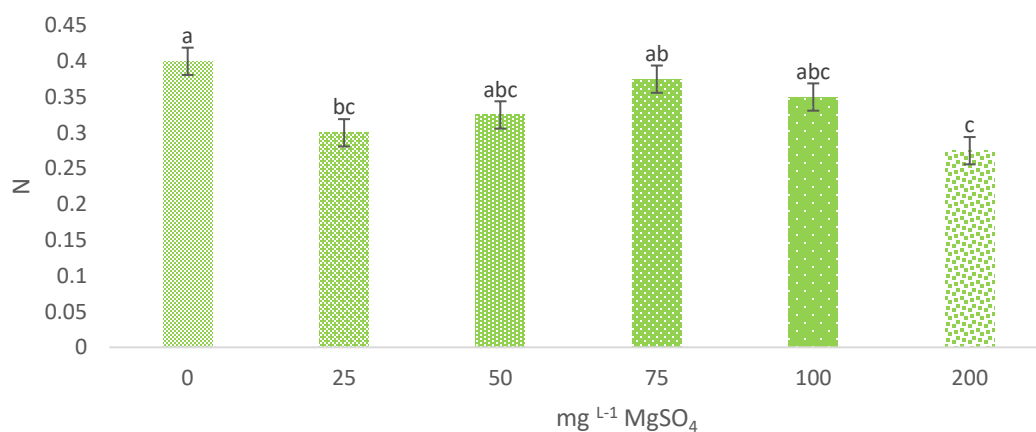


**Figura 2.** Efecto de la fertilización foliar con Mg sobre la altura de plantas de pepino. Medias con la misma letra dentro de filas son iguales estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ).

Similares resultados se encontraron con la aplicación de sulfato de magnesio. Kasinath *et al.* (2015), encontró que con la aplicación de magnesio incrementa la altura de planta y el número de ramas por planta. Otra investigación reportada por Veneros *et al.*, (2010) concluyeron que la aplicación de 80 mg L<sup>-1</sup> de magnesio registró la máxima altura de planta respecto al control.

### Firmeza

Los diferentes tratamientos evaluados provocaron una diferencia significativa para la firmeza en los frutos de pepino, La firmeza más alta se encontró con las dosis de 0 y 75 mg L<sup>-1</sup>.

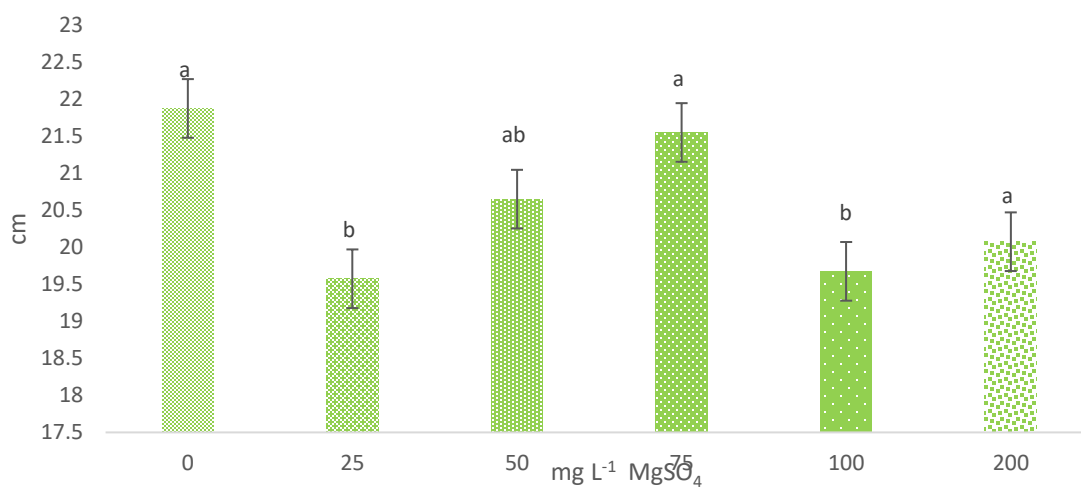


**Figura 3.** Efecto de la fertilización foliar con Mg sobre la firmeza de frutos de pepino. Medias con la misma letra dentro de filas son iguales estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ).

De acuerdo con Barraza, F. V. (2015) determinó que el suministro de fotoasimilados que se utilizan para crecimiento del fruto y metabolismo de componentes estructurales dan firmeza a las células y confieren a los frutos mayor vida de almacenamiento, capacidad de resistir impactos durante el transporte, manejo en postcosecha y mercadeo, una de las consecuencias de la poca firmeza de los frutos de pepino es la rápida pérdida de calidad visual y sensorial, manifestada en primera instancia en marchitamiento, así como alta susceptibilidad a pudriciones, amarillamiento y deshidratación, las cuales se caracterizan por el desarrollo de tejido esponjoso y menor turgencia, debido a la mayor pérdida de agua de las células por transpiración, producto de la plasmólisis y la menor acumulación de azúcares en las paredes celulares.

### **Longitud**

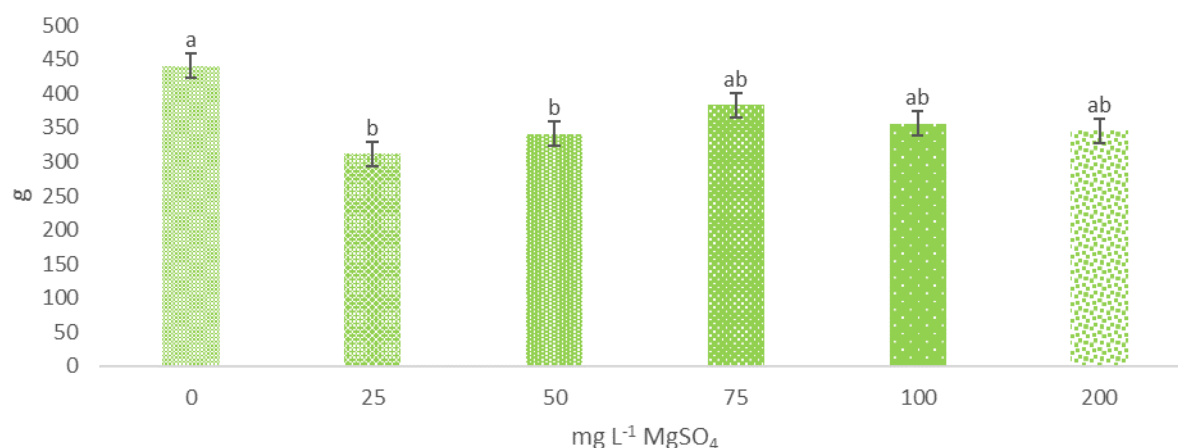
En el análisis de varianza para el diámetro del tallo reporto diferencia significativa entre las distintas concentraciones. En la concentración de  $0 \text{ mg L}^{-1} \text{ MgSO}_4$  obtuvo un mayor incremento. Similarmente, lo reportado por Brito, (2012), encontró con la aplicación del fertilizante de silicato de Magnesio registró un incremento en el diámetro de tallo en el cultivo de maracuyá y maíz.



**Figura 4.** Efecto de la fertilización foliar con Mg sobre la longitud de los frutos de pepino. Medias con la misma letra dentro de filas son iguales estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ).

### Peso de fruto

Con los resultados obtenidos en el análisis de varianza para la variable de peso de fruto donde no presento diferencia significativa entre cada uno de los tratamientos (Figura 5). La concentración que obtuvo un mayor peso fue el control. De acuerdo con Coelho *et al.*, (2022) menciona que, a pesar de las relaciones sinérgicas y antagónicas entre minerales en las diferentes concentraciones de Mg aplicadas, no hubo cambios significativos en el contenido de sólidos solubles totales en los frutos de tomate. Mostrando de hecho un aumento no significativo en los tomates biofortificados con MgSO<sub>4</sub>.

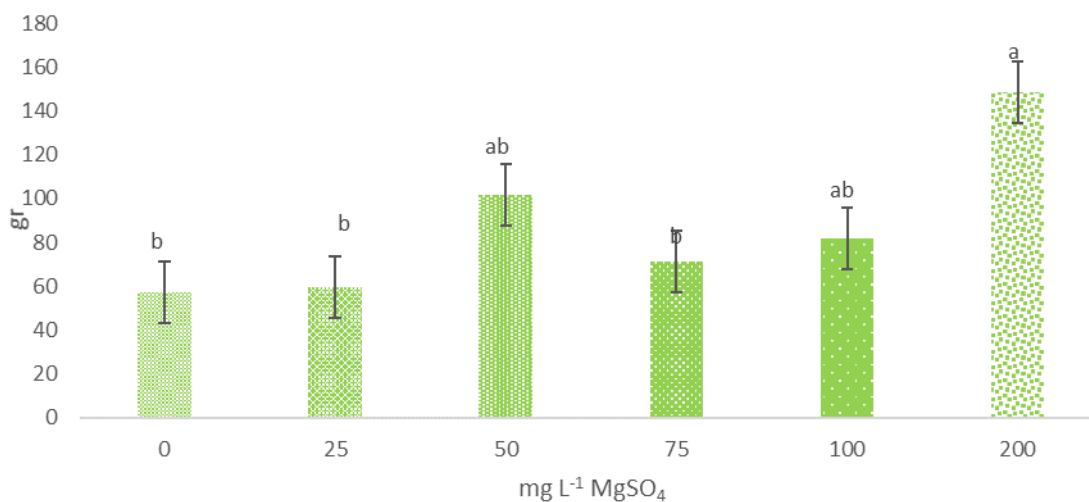


**Figura 5.** Efecto de la fertilización foliar con Mg sobre el peso de frutos de pepino. Medias con la misma letra dentro de filas son iguales estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ).

### **Materia seca**

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza realizados para las distintas concentraciones. El mayor contenido de la variable materia seca lo presentó la concentración de 200 con un valor 148.48 donde este superó al control. De acuerdo con Mendoza, (2020) la dosis de Mg de mejor influencia en las plantas de tomate con la producción de materia seca fue de 120 mg L<sup>-1</sup>, donde contribuyó favorablemente en el crecimiento y rendimiento en materia seca del cultivo de tomate.

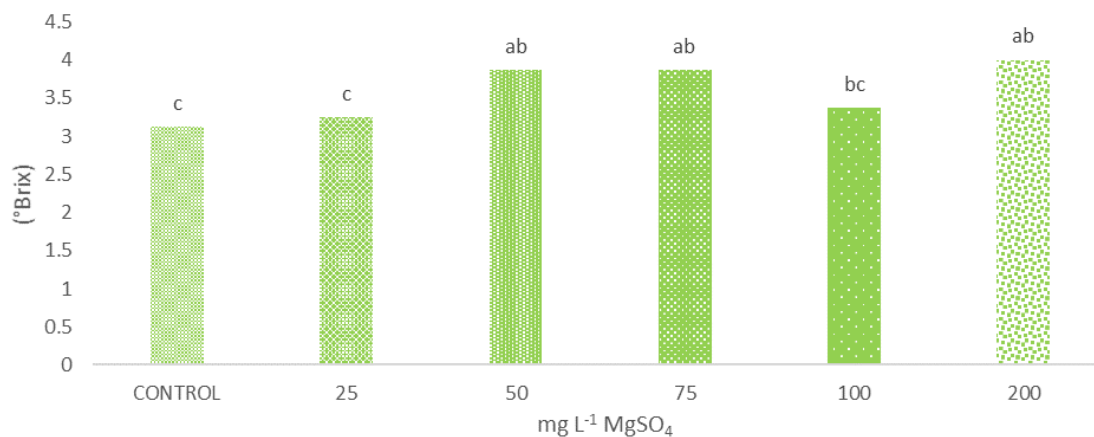




**Figura 6.** Variable de materia seca, representado en distintas concentraciones

### Sólidos solubles totales (°Brix)

De acuerdo a los resultados de sólidos solubles totales (SST) se encontró diferencia estadísticamente significativa en comparación al control. Las dosis de 50 y 75 mg L<sup>-1</sup> se encontró la mayor concentración de SST.



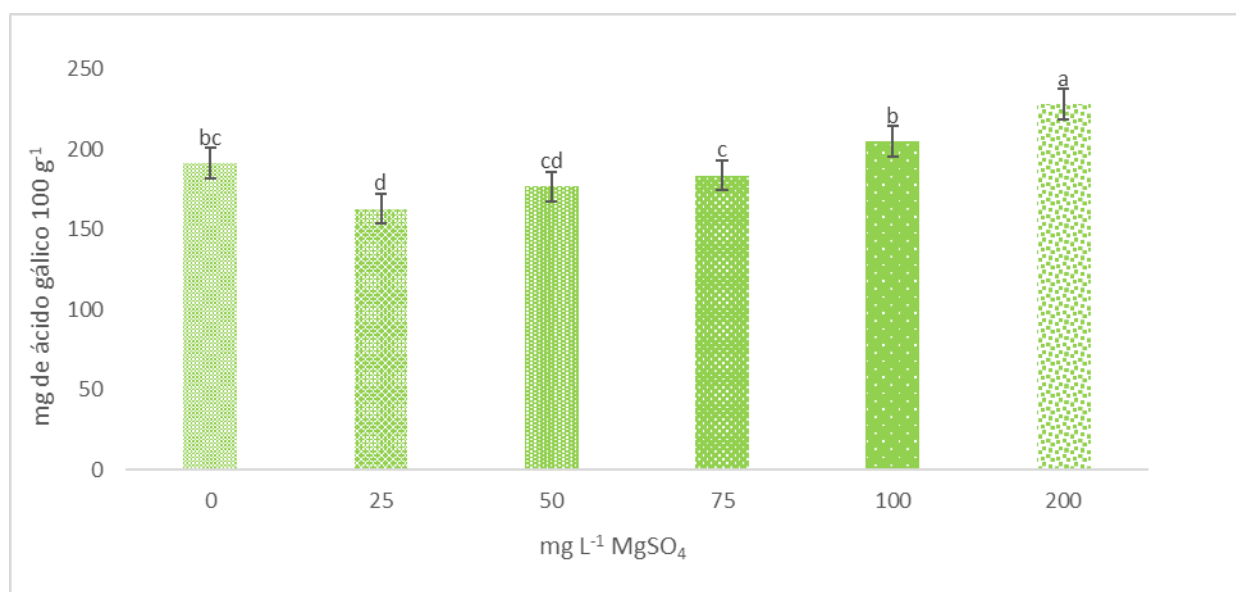
**Figura 7.** Sólidos solubles (°Brix) de fruto de pepino con sulfato de magnesio en diferentes concentraciones.

De acuerdo con Coelho *et al.*, (2022) los sólidos solubles totales se consideran uno de los parámetros más relevantes en los tomates, con sabores influenciados por este contenido. Por lo tanto, los datos mostraron valores más altos en el tratamiento biofortificado y valores más bajos considerando el catálogo de la variedad.

## Calidad Nutracéutica

### Compuestos fenólicos

Se encontró diferencia estadísticamente significativa en los compuestos fenólicos, se obtuvo un mayor incremento en las concentraciones de 100 y 200 de mg de ácido gálico  $100 \text{ g}^{-1}$ .

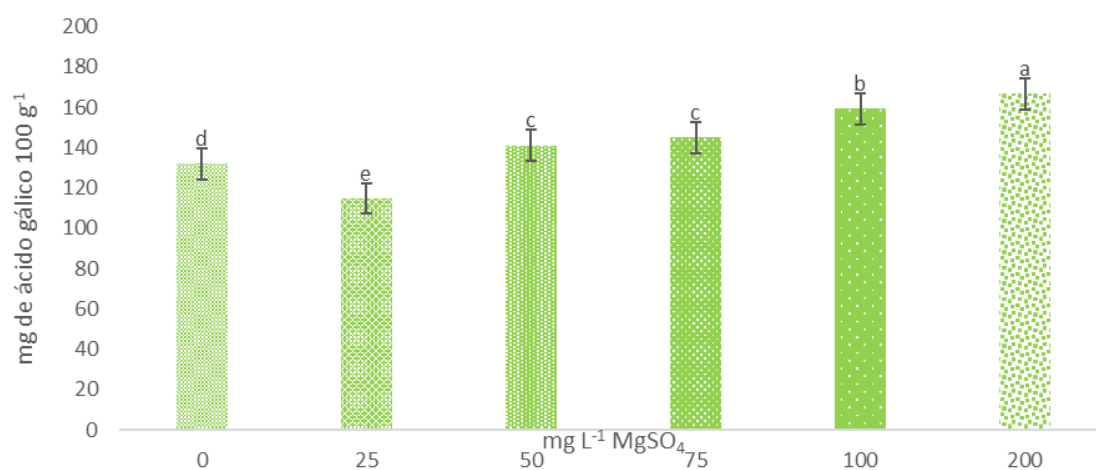


**Figura 8.** Efecto de la aspersión foliar de sulfato de magnesio sobre el contenido de compuestos fenólicos.

Los compuestos fenólicos son productos secundarios importantes, no como nutrientes de las plantas, sino como mecanismos de defensa de las plantas contra cuerpos extraños. También contribuyen al sabor, color y astringencia de las plantas. Estos compuestos fenólicos también presentan propiedades antioxidantes que les permiten capturar radicales libres en el cuerpo. Muchos estudios han demostrado que los compuestos fenólicos tienen potenciales efectos benéficos en la salud humana reduciendo la incidencia de enfermedades coronarias del corazón, enfermedades de los ojos relacionadas con la edad (Chitindingu *et al.*, 2007).

### Flavonoides

Conforme a los flavonoides en pepino la concentración de 200 presentó un mayor incremento con  $166.625 \text{ m equiv Trolox} \cdot 100 \text{ mg}^{-1}$  y el menor corresponde a la concentración de 25 con  $114.75 \text{ m equiv Trolox} \cdot 100 \text{ mg}^{-1}$

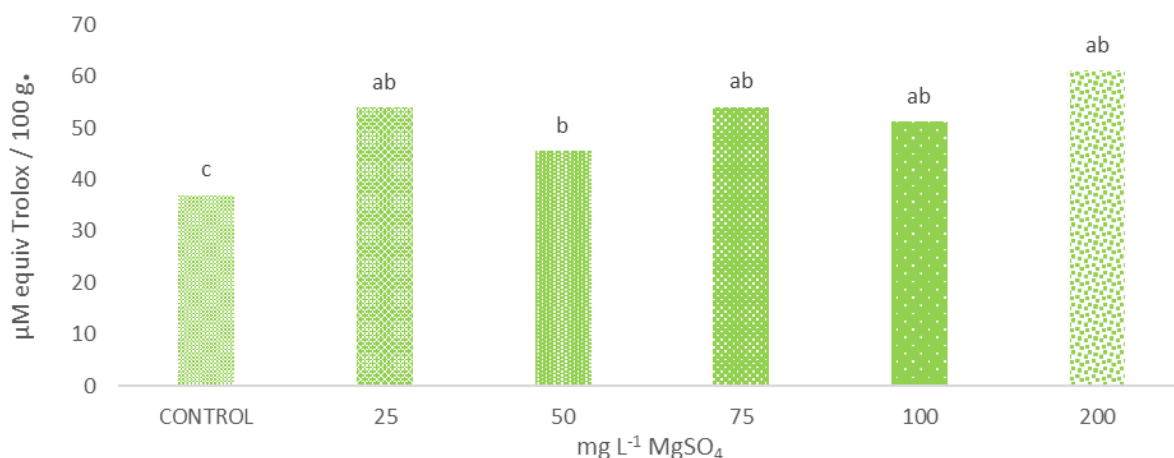


**Figura 9.** Flavonoides, evaluación de pepino con respecto a la aplicación de sulfato de magnesio en distintas concentraciones.

La mayoría de los nutraceuticos activos en las plantas son flavonoides (Lin y Weng, 2006). De acuerdo con Crozier *et al.*, (2006) comenta que los flavonoides son los más numerosos de los compuestos fenólicos y se encuentran en todo el reino vegetal. en grandes concentraciones en la epidermis de las hojas y en la piel de las frutas.

### Capacidad antioxidante total

De acuerdo a los resultados se obtuvo diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ). En las diferentes concentraciones evaluadas de sulfato de magnesio. Presentando la mayor concentración con la dosis de  $200 \text{ mg L}^{-1}$



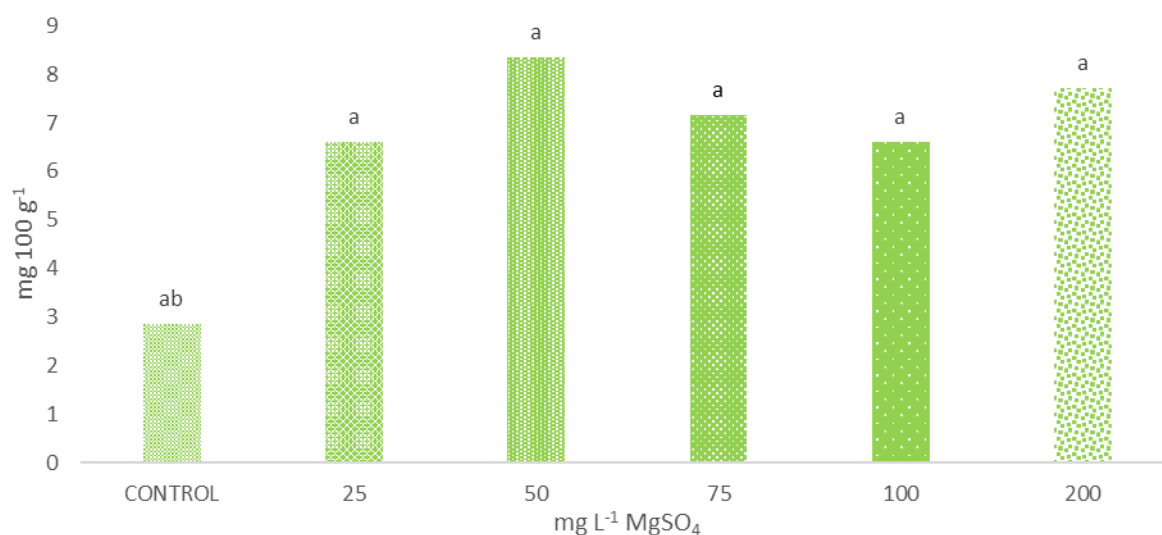
**Figura 10.** Capacidad antioxidante total promedio de frutos de pepino con la aplicación de sulfato de magnesio en diferentes concentraciones (Tukey;  $P \leq 0.05$ ).

Según Luna y Delgado, (2014) los antioxidantes son compuestos capaces de impedir o demorar la oxidación, reduciendo los radicales libres reduce el riesgo de muchas patologías relacionadas con el estrés oxidativo. En estudios realizados por (Ciscomani *et al.*, 2021), los valores de capacidad antioxidante fueron similares entre  $\text{MgCl}_2$  y  $\text{MgSO}_4$

tratamientos, entre las dosis se informaron diferencias significativas. La dosis de 100 ppm de  $\text{MgSO}_4$  mostró el mayor nivel de capacidad antioxidante, superando al tratamiento siguiente en un 25% de actividad secuestrante (200 ppm de  $\text{MgCl}_2$ ). La dosis de 100 ppm de  $\text{MgSO}_4$  tuvo una actividad secuestrante del 78%, esta dosis fue mejor que la dosis de 200  $\text{mg L}^{-1}$  en la que se obtuvo una actividad depuradora del 55%.

### Vitamina C

Se encontró diferencia estadísticamente significativa en comparación al control. La dosis que obtuvo el mayor valor fue el tratamiento de 50  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{MgSO}_4$ .



**Figura 11.** Contenido de vitamina C de los frutos. Resultado de evaluación de pepino con sulfato de magnesio.

En el estudio realizado por *Wszelaczyńska et al.*, (2020) menciono que la fertilización con Mg aplicada durante el cultivo de papa aumentó el contenido de Mg, vitamina C y proteína total en tubérculos. Los resultados indicaron que un contenido más bajo de

nitrato y un contenido más alto de vitamina C eran los parámetros que diferenciaban más consistentemente las papas orgánicas de las producidas convencionalmente.

## CONCLUSIONES

La aspersión foliar con las dosis intermedias de Magnesio ( $50-75 \text{ mg L}^{-1}$ ), incrementaron los valores de la variable de calidad nutracéutica en los frutos de pepino, mientras que dosis mayores elevadas ( $100-200 \text{ mg L}^{-1}$ ) favorecieron la biosíntesis de compuestos bioactivos. La fertilización foliar con Magnesio es una manera practica y sencilla de incrementar el rendimiento y la calidad nutracéutica en frutos de pepino.

## LITERATURA CITADA

- Abu, S., M. Suwwan y E. Al. 2013. Influencia de los reguladores del crecimiento vegetal en la inducción de callos a partir de hipocotilos de pepino (*Cucumis Sativus* L.). (Adv. Environ. Biol. 7(2): 339-343
- Adeoye, i., Balogun, O. 2016. Rentabilidad y eficiencia de la producción de pepino entre pequeños agricultores en el estado de Oyo, Nigeria. J. Agr. ciencia (Sri Lanka) .61(4):387-398.
- Adnan, M., Hayyat, MS, Imran, M., ur Rehman, F., Saeed, MS, Mehta, J. y Tampubolon, K. (2020c). Impacto de la aplicación foliar de fertilizante de magnesio en cultivos agronómicos: una revisión. Revista India de Biociencias Puras y Aplicadas, 8(6): 281-288. <http://dx.doi.org/10.18782/2582-2845.8465>.
- Antón, M.A. 2004. Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. España.
- Barker, A. V. & Bryson, G.M. (2006) Comparisons of Composts with Low or High Nutrient Status for Growth of Plants in Containers, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37:9-10. DOI: 10.1080/00103620600626460
- Barrameda, M. Y.; Blasco, B.; Lentini, M.; Esposito, S.; Baenas, N.; Moreno, D. A. & Ruiz, J. M. 2017. La biofortificación con zinc mejora los fitoquímicos y el perfil aminoacídico en Brassica oleracea cv. Bronco. Plant Sci. 258:45-51.
- Barraza, F. V. 2015. Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 9(1): 60–71. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3746>.
- Barraza, F. V. 2017. Absorción de N, P, K, Ca y Mg en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema hidropónico. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 11(2), 343–350. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.7346>.
- Benavides, A., Ramírez, H., Robledo, V., Fuentes, L., Sandoval, A. 2012. Elementos traza y calidad nutricional, casos del yodo, zinc y selenio. Pp.139-164.
- Blasco, B. 2015. Biofortificación: beneficios potenciales para los cultivos y la salud humana. Recuperado de <http://aefa-agronutrientes.org/la-biofortificacion>
- Boualem, A., Fleurier, S., Troadec, C., Audigier, P., Kumar, A. P. K., Chatterjee, M., y Bendahmane, A. (2014). Desarrollo de una plataforma TILLinG de *Cucumis sativus*



- para genética directa e inversa. *Revista Más uno*. 9(5): 3–10.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097963>
- Bouis, H.E., Christine, H., McClafferty, B., Meenakshi, J.V. y Pfeiffer, W.H. 2011. Biofortificación: Una nueva herramienta para reducir la malnutrición por micronutrientes. *Boletín de Alimentación y Nutrición*. 32:31-40.
- Brito, J. 2012. Efecto del silicato de calcio y magnesio sobre el crecimiento del ricino sometido a niveles de salinidad. *Ciencias Agrarias*,33(1): 2948-2958.
- Caicedo, L .1993. Horticultura. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.. pp. 473-474.
- Cakmak, I. Yazici, A.M. 2010. Magnesio: elementos olvidados en la producción de cultivos.
- Cakmak, I., Kalayci M., Kaya, Y., Torun, A., Aydin, N., Wang Y., et al. 2010. Biofortificación y Localización de Zinc en Grano de Trigo. *J. Agric. Química alimentaria* 58: 9092-9102.
- Cakmak, I.; Pfeiffer, W.H y McClafferty, B. 2010. Biofortificación de trigo duro con zinc y hierro. *Revista Química De Cereales*. 87(1):10-20.  
<https://doi.org/10.1094/CCHEM-87-1-0010>
- Casaca, A. 2005El cultivo del pepino - *Guías tecnológicas de frutas y vegetales*. Proyecto de modernización de los servicios de tecnología agrícola PROMOSTA. Banco Interamericano de cooperación para la agricultura (IICA) Costa rica. P.13.
- Casierra, F. F. Cardoso, M.C., y Cárdenas, J. F. 2007. Análisis de crecimiento en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) cultivadas bajo invernadero. *Agronomía Colombiana*. 25:299-305.
- Chitindingu, A. R. Ndhlala, C. Chapano, M. A. Benhura y Muchuweti. 2007. “Contenido de compuestos fenólicos, perfiles y actividades antioxidantes de *Amaranthus Hybridus* (Pigweed), *Brachiaria Brizantha* (Upright Brachiaria) y *Panicum Maximum* (Guinea Grass)”, *Revista De Bioquímica Alimentaria*. 31(2):206-216.  
[doi:10.1111/j.1745-4514.2007.00108.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2007.00108.x).
- Ciscomani, J. P., Sánchez, E., Jacobo, J. L., Sáenz ,H.K.,Orduño,N.,Cruz,O.Ávila,G.D. 2021.Eficiencia de la biofortificación con sales de magnesio en el aumento de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en habas. *Ciencia Rural*. 51(6):4–5.  
<http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200442>

- Coelho, A.R.F., Luís, I.C., Marques, A.C., Pessoa, C.C., Daccak, D., Silva, M.M., Simões, M., Reboredo, F.H., Pessoa, M.F., Legoinha, P., Galhano, C., Regato, M., Regato, J., Dias, J., Beja, N., Guerreiro, I., Ramalho, J.C., Campos, P.S., Pais, I.P., y Lidon, F.C. 2022. Interacción Mineral en Tomates Biofortificados (*Lycopersicon esculentum* L.) con Magnesio. *Biol. ciencia de la vida* .16, (16) [.https://doi.org/10.3390/iecho2022-12509](https://doi.org/10.3390/iecho2022-12509).
- Costa de Oliveira, V., Faquín, V., Carvalho Guimaraes, K., Ribeiro Andrade, F., Perreira, J. y Guimaraes, L.R. 2018. Agronómico biofortificación de zanahoria con selenio. *Ciencia e Agrotecnología* .42: 138-147.
- Crozier A., Jaganath I.B., Clifford M.N., Phenols, Polyphenols & Tannins 2006. In *Plant Secondary Metabolites, Occurrence, Structure and Role in the Human Diet*. (Ed. Crozier A., Clifford M.N., and Ashihara H.) Oxford, England-UK: Blackwell Publishing.
- De Groote, H., Tessema, M., Gameda, S., y Gunaratna, N. S. 2021. Zinc del suelo, zinc sérico y el potencial de biofortificación agronómica para reducir la deficiencia humana de zinc en Etiopía.. *Scientific Reports*, 11(1), 8770. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88304-6>.
- De Valença, A.W., Bake, A., Brouwer, D. & Giller, K.E. 2017. Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa. *Global Food Security* 12:8-14.
- Drahonovský J, Száková J, Mestek O, Tremlová J, Kana A, Najmanová J, et al. Selenium uptake, transformation and interelement interactions by selected wildlife plant species after foliar selenate application (2014). *Environ Exper Bot.*125:12–9. doi: 10.1016/j.envexpbot.2016.01006
- Escalante, N. 2014. Efectos de la aplicación de fuentes de potasio y magnesio en el suelo arenoso para el cultivo de acelga bajo condiciones de Invernadero. La Molina: UNALM.
- Fageria, N., Filho, M, Moreira, A., y Guimarães, C. 2009. Fertilización foliar de plantas de cultivo. *Revista de Nutrición Vegetal*, 32(6):1044-1064.
- García, R. y Pérez, J. 2012. "Invernaderos, innovación para la productividad y el medioambiente." Cuaderno de Estudios Agroalimentarios <https://www.publicacionescajamar.es/publicacionescajamar/public/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-548.pdf>: 7-21.

- Gaucin-Delgado, Jazmín Monserrat, Preciado-Rangel, Pablo, González-Salas, Uriel, Sifuentes-Ibarra, Ernesto, Núñez-Ramírez, Fidel, & Vidal, Jorge Arnaldo Orozco. (2021). Biofortification with selenium improves bioactive compounds and antioxidant activity in jalapeño pepper. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(8), 1339-1349. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.3066>.
- Guerrero B, Llugany M, Palacios O, Valiente M. 2014. Dual effects of different selenium species on wheat. *Plant Physiol Biochem*. doi: 10.1016/j.plaphy.2014.08.009.
- Guillen, M. M.; Márquez, Q. C.; De La Cruz, L. E.; Velázquez, M. J. R.; Soto, P. J. M.; García, C. M. y Orozco, V. J. A. (2016). Biofortificación de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) con hierro y zinc. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 17:3427-3438.
- Hochmuth, R.C. 2012. Greenhouse cucumber production-Florida greenhouse vegetable production handbook. University of Florida, USA. 3 (1): 1-7. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/CV/CV26800.pdf> .
- Jha, A. B., & Warkentin, T. D. 2020. Biofortification of pulse crops: Status and future perspectives. *Plants*, 9(1) : 1-29. <https://doi.org/10.3390/plants9010073>.
- Kasinath, B. E. 2015. Efecto del magnesio sobre el crecimiento vegetal, materia seca y rendimiento en tomate. *Journal Horticulture Science*, 190-93.
- Lin, J.K. & Weng, M.S. Flavonoids as nutraceuticals 2006. *The Science of Flavonoids*. 7: 213–238. [http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-28822-2\\_8](http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-28822-2_8).
- López , J., Garza , S., Huez , M. A., Jiménez , J., Rueda , E. O., & Murillo , B. 2015. Cucumber (*Cucumis Sativus* L.) Production as a Function of Plantation Density Under Greenhouse Conditions . *European Scientific Journal*, 11(24):25–36. Retrieved from <http://www.agricultura.uson.mx/publicaciones/indexadas/ESJ>.
- López, J., Rodríguez, J. C., Huez, M. A., Garza, S., Jimenez, J., y Leyva, E. I. 2011. Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *IDESIA*. 29(2) : 21–27.
- Luna, M. L.; y Delgado, A. 2014. Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) *Avances en Investigación Agropecuaria*. 18: 51-66.
- Maroto, J.; Miguel, A. y Pomares, F. 2010. El cultivo de pepino. Mundi-prensa, Madrid. P.322.
- Marschner, P. (2012) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd Edition, Academic Press, Cambridge, 649 p.

- Martínez., J. C. 2012. Propagación y técnicas de cultivo del Pepino (*Cucumis sativus* L.). Vinculando, 1–3.<https://vinculando.org/mercado/agroindustria/propagacion-y-tecnicas-de-cultivo-del-pepino-cucumis-sativus.html>.
- Mejía, R. 2010. Comparación del método de siembra del pepino (*Cucumis sativus* L.) con dos tipos de acolchado plástico y riego por goteo. Tesis Ingeniero Agrónomo en Irrigación. Universidad Autónoma Agraria, México.
- Mendoza ,C.2020. Fuentes de magnesio en el crecimiento del tomate (*solanum lycopersicum*) cv. río grande bajo estrés salino en la unalm.Tesis ingeniero agrónomo .Universidad nacional agraria la molina,Lima-Peru .
- Molina, C. 1970. Estudio de la Interacción Potasio-Magnesio bajo dos niveles de encalado en un suelo ácido de la provincia de Huamachuco Departamento de La Libertad. Tesis para optar Título de Ingeniero Agronomo, UNALM . La Molina.
- Molina, E. 2000. Nutrición y fertilización del pejibaye para palmito. *Informaciones Agronómicas*, 38(2) :2-3.
- Morales, M. A. E.; De La Cruz, L. E. ; Osorio, O. R.; Sánchez, C. E.; Montemayor, T. A. y Márquez, Q. C. 2016. Contenido mineral y rendimiento de germinados de frijol caupí biofortificados. *Rev. Mex. Cienc. Agríc .* 17:3415-3425.
- Moreira, J. (2013). Fertilización química en la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) en la zona de Valencia. Tesis de Grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Unidad de Estudios a Distancia, Valencia.
- Moreno, D. C., W., García, E., Ibañez, A.,Barrios, J. M., Barrios, B. 2013. Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. *Mexican Journal of Agricultural Sciences*. 4 (6): 909-920.
- Neff, J., y Holman, J. (1997). Cómo los últimos productos siguen la delgada línea entre alimentos y medicamentos. *Proceso de alimentos .* 58:23-26.
- Nestel, P., Bouis, H. E., Meenakshi, J. V. 2006. Biofortification of staple food crops. *Journal of Nutrition*, 136: 1064-1067.
- Nieves, G. V.; Van der Valk, O. & Elings, A. 2011. Mexican protected horticulture: Production and market of Mexican protected horticulture described and analyzed wageningen ur greenhouse horticulture. Landbouw Economisch Institute. The Hague. Minister of Economic Affairs.p. 104
- Ortega, E., Montoya, S., y Asensio, C. 2012. Prácticas y Seminarios de Producción de Materias Primas ,Segunda ed. Universidad de Granada.

- Pérez G. Hurtado J., Aparicio V., Quirino A. y Larín M. A. 2010. El cultivo de tomate. Primera edición. Centa ,Salvador.. Pp. 9-11.
- Poblaciones, M.J. & Rengel, Z. 2016. Combined foliar biofortification of selenium and zinc in peas (*Pisum sativum* L.): accumulation and bioavailability in raw and cooked grains. *Crop and Pasture Sci.* 68: 265-271.
- Prasad, B.V.G.; Smaranika, M.; Rahaman, S. & Bareily P. 2015. Biofortification in horticultural crops. *J. Agric. Eng. Food Technol.* 2(2):95-99.
- Prono, H., Schreiner, M., Huyskens, S., y Ludders, P. 2003. Efecto de la etapa de maduración y la temperatura de almacenamiento en la calidad poscosecha del pepino. *Agricultura Alimentaria y Medio Ambiente.*, 1(1), 35-41.
- Qian, C., He, Z., Zhao, Y., Mi, H., Chen, X., y Mao, L. 2013. Tolerancia al frío dependiente de la madurez regulada por la capacidad antioxidante en frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.) poscosecha. *Diario de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura*, 93: 626-633.
- Qureshi, R., Raza , G. Asma, R. 2010. Ethnomedical uses of herbs from northern part of Nara desert, Pakistan. *Pak. J. Bot.* 42 (2) : 839-851.
- Ramírez Vargas, C. y Nienhuis, J. 2012. Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha.* 25(2):10-20. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i2.303>.
- Ramírez-Abarca, O., J. Hernández-Martínez y F. d. J. González-Razo 2021. "Análisis económico del pepino persa en condiciones de invernadero en Guerrero y estado de México, 2020." *Revista Mexicana de Agronegocios.* 48: 1405-9282.
- Reche, M., J. 2011. Cultivo de pepino en invernadero. Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. Madrid. Pp.50. ISBN: 978-84-491-1112-9.
- Rios J, Blasco B, Leyva R, et al 2013. Changes in the nutritional balance in lettuce plants grown under different doses and forms of selenium. *J. Plant Nutr.* 36(9):1344-1354.
- Sánchez, E., Jacobo, J. L., Sáenz, H. K., Orduño, N., Cruz, O. y Ávila, G. D. 2021. Eficiencia de la biofortificación con sales de magnesio sobre el aumento de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en habas. *Ciência Rural*, 51(6). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200442>.
- Sandí, C. G. 2016. Crecimiento, producción y absorción nutricional del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) con dos soluciones nutritivas en ambiente protegido en la

zona de San Carlos, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica Sede Regional San Carlos.

Schiavon M., Dall'acqua S., Mietto A., Pilon E.A., Sambo P., Masi A., et al 2013. Selenium fertilization alters the chemical composition and antioxidant constituents of tomato (*Solanum lycopersicon* L.). *Food Chem* .61:10542-10554.

Seminis. 2018. Producción y exportación del pepino cultivado en México. recuperado de: <https://www.seminis.mx/produccion-yexportacion-del-pepino-cultivado-en-mexico/>.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP 2019. "Anuario Estadístico de la Producción Agrícola." Disponible: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP 2021. "Anuario Estadístico de la Producción Agrícola." Disponible: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.

Sharma, P.; Aggarwal, P. and Kaur, A. 2012. Biofortification: a new approach to eradicate hidden hunger. *Food Rev. Int.* 2016, 33, 1–21. HarvestPlus: Washington, USA.

Steiner, A. A. 1961. " Un método universal para preparar soluciones nutritivas de cierta composición deseada " *Planta y Suelo*. 15 (2): 134-154.

Tamaro, D. (2005). Guía para el cultivo de hortalizas. Limusa.Mexico. P. 34.

Thavarajah,D.,Wakentin,T. & Vandenberg 2010. Natural selenium enrichment in Saskatchewan peas (*Pisum sativum* L.).*Can J Plant Sci.*90:383-389.

Veneros,R.(2010). Efecto del sulfato de magnesio en la concentración de sacarosa en el jugo de tallo de *Saccharum officinarum* L. variedades h32 y h38 "caña de azúcar". Tesis doctorado en ciencias biológicas . Universidad nacional de Trujillo. Perú.

Vistoso,E., y Martínez,J.2020. Magnesio disponible y fertilización en suelos de la Región de Los Ríos. Chile.INIA.

White, P. J. & Broadley, M. 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diet- Iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist* 182(1):49-84.

White, P. J., y Broadley, M. R. 2005. Biofortificante de cultivos con elementos minerales esenciales. *Tendencias en la ciencia de las plantas*. 10: 586-593.

- Wszelaczyńska E., Pobereźny J., Lamparski R., Kozera W., y Knapowski T. 2020 .Efecto de la biofortificación del tubérculo de papa con magnesio y el tiempo de almacenamiento sobre el contenido de nutrientes. 25(2): 687-700. DOI: 10.5601/jelem.2019.24.4.1880
- Zamora, E. 2017 “El cultivo de pepino Slicer – Americano (*Cucumis sativus* L.) Bajo cubiertas plásticas”. Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora México. pp. 1-7.
- Zembala, M., Filek, M., Walas, S., Mrowiec, H., Kornaś, A., Miszański, Z., Hartikainen, H.. 2010. Efecto del selenio en la distribución de macro y microelementos y parámetros fisiológicos de plántulas de colza y trigo expuestas a estrés por cadmio. *Planta y Suelo*. 329: 457- 468.