

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación de los Nutrientes Minerales en Fruto de Diferentes Variedades de Chile  
(*Capsicum annum* L.)

Por:

**ROSA ALICIA SOLÍS PÉREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación de los Nutrientes Minerales en Fruto de Diferentes Variedades de Chile  
(*Capsicum annuum* L.)

Por:

**ROSA ALICIA SOLÍS PÉREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Valentín Robledo Torres

Asesor principal



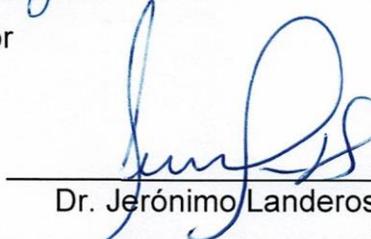
Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Coasesor



Dr. Miguel Ángel Pérez Rodríguez

Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores

Coordinador Interno de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2023

## Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

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

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



---

Rosa Alicia Solís Pérez

## AGRADECIMIENTOS

A mi **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO** por abrirme las puertas y darme la oportunidad de aprender y forjarme como profesional y sentirme orgullosa de ella.

A mi asesor el Dr. **Valentín Robledo Torres** por aceptarme a realizar esta tesis para concluir mi formación profesional. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades, durante el desarrollo de la tesis.

A la Dra. **Rosalinda Mendoza Villarreal** por haberme brindado asesorías durante la tesis y permitirme utilizar sus equipos del laboratorio, que fueron fundamentales para esta investigación.

Al Ing. **Juan Manuel Ramírez Cerda** por todas sus aportaciones, por la paciencia que tuvo durante la realización del trabajo en campo y la colaboración infinita a lo largo del desarrollo de este proyecto.

A **Laura Durón Ochoa** gracias a su experiencia me brindó su apoyo y conocimientos al momento de realizar las pruebas de laboratorio, la determinación del contenido de minerales.

**A mis maestros** les agradezco por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo, amistad y por los conocimientos que me transmitieron.

En especial a **Cristian Olvera Silva** por ser una parte muy importante en mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, brindándome consejos que me motivaron a seguir adelante en los momentos de desesperación, sobre todo por su paciencia y amor incondicional, te amo.

## DEDICATORIA

A **Dios**: Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi **madre Alicia Pérez Enríquez** por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor. **¡Gracias por darme la vida!**

A mi **padre Ángel Solís Robles** a quien le debo todo en la vida, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis hermanas: **Ángela Solís Pérez, Marisol Solís Pérez y Tulia Solís Pérez**, por todo ese apoyo mutuo que me brindaron durante mi trayectoria de la carrera, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A mi hermano **Rafael Solís Pérez** porque siempre he contado con él para todo, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo y amistad.

A mis **sobrinos** que son el motor de mi familia y hacerme sentir como ejemplo para ellos.

A mis **tíos**: Eliseo Pérez Enríquez, Joel Pérez Enríquez, Oscar Pérez Enríquez, Gabriel Pérez Enríquez y Pedro Pérez Enríquez por sus consejos y cariño.

A ti **Cristian Olvera Silva**, amor de mi vida, por tu comprensión, paciencia, tolerancia, amor, compañía, ayuda, por compartir y apoyar mis sueños, simplemente por todo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CUADRADOS.....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	3
<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
Antecedentes del cultivo.....	4
Importancia del cultivo.....	4
Variedades con mayor producción y exportación en el país.....	4
Clasificación taxonómica.....	6
Descripción de las características morfológicas del cultivo.....	7
Tallo.....	7
Hojas.....	7
Flores.....	7
Fruto.....	7
Raíz.....	8
Etapas fenológicas.....	8
Germinación y emergencia.....	8
Crecimiento de la plántula.....	8
Crecimiento vegetativo.....	8
Floración y fructificación.....	8

Requerimientos edafoclimáticos.....	9
Manejo agronómico del cultivo.....	9
Preparación del suelo.....	9
Densidad de plantación.....	10
Siembra.....	10
Poda de formación.....	11
Tutorado.....	12
Deshojado.....	12
Riego y fertilización.....	12
Principales plagas y enfermedades en el cultivo de chile.....	13
Plagas.....	13
Enfermedades.....	15
Cosecha.....	15
Los minerales en las plantas.....	16
Fósforo.....	17
Potasio.....	17
Calcio.....	17
Magnesio.....	18
Formas de absorción de los minerales en la planta.....	19
Fósforo.....	19
Potasio.....	19
Calcio.....	19
Magnesio.....	19
Los efectos de los minerales en la planta.....	20
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
Ubicación del experimento.....	21
Material genético.....	21

Diseño experimental.....	21
Materiales, herramientas y equipos.....	22
Materiales y herramientas.....	22
Establecimiento del experimento.....	24
Desinfección del invernadero.....	24
Siembra en charolas.....	25
Preparación del terreno.....	25
Sistema de riego.....	25
Acolchado .....	25
Trasplante.....	26
Riegos.....	26
Fertilización.....	27
Manejo agronómico del cultivo.....	28
Poda de sanidad .....	28
Poda de formación .....	28
Tutoreo.....	28
Destallado.....	29
Deshoje.....	29
Control de plagas y enfermedades.....	29
Deshierbes.....	31
Cosecha.....	31
Análisis estadístico.....	32
VARIABLES EVALUADAS.....	32
VARIABLES DE RENDIMIENTO.....	32
Peso total de frutos por planta (PTFPP).....	32

Numero de frutos por planta (NFPP).....	32
Peso promedio de fruto (PPF).....	32
Evaluación del contenido de minerales.....	33
Determinación del contenido de P, K, Ca, y Mg.....	33
Determinación del contenido de fósforo (P).....	35
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>36</b>
Peso total de frutos por planta.....	36
Número de frutos por planta.....	37
Peso promedio de fruto.....	38
Contenido de fósforo en el fruto.....	40
Contenido de potasio en el fruto.....	41
Contenido de calcio en el fruto.....	42
Contenido de magnesio en el fruto.....	43
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>46</b>

## ÍNDICE DE CUADRADOS

<b>Cuadro 1.</b> Fórmula de fertilización para el cultivo de chile en suelo (En 2500 L de agua).....	13
<b>Cuadro 2.</b> Función, movilidad y síntomas de deficiencia de nutrientes en la planta (Mills y Jones, 1996). .....	20
<b>Cuadro 3.</b> Distribución de las variedades de chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.), obteniendo tres tamaños de muestra. ....	21
<b>Cuadro 4.</b> Fertilizantes y cantidad utilizada en 1000 L de agua para el cultivo de chile.....	28
<b>Cuadro 5.</b> Control químico de plagas y enfermedades. ....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Trasplante de las diferentes variedades de chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.). .....	26
<b>Figura 2.</b> Cosecha de las diferentes variedades del cultivo de chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.).....	31
<b>Figura 3.</b> Análisis de las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica (Marca: GBC Modelo: XplorAA). Laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Horticultura.....	34
<b>Figura 4.</b> Determinación del contenido de P. Laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Horticultura. ....	35
<b>Figura 5.</b> Peso total de frutos por planta de genotipos de chile jalapeño resultantes de procesos de selección. Genotipos con diferente letras son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$ ). ....	36
<b>Figura 6.</b> Número total de frutos por planta de genotipos de chile jalapeño resultantes de procesos de selección. Genotipos con diferente letras son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$ ). ....	38
<b>Figura 7.</b> Peso promedio de fruto de 12 genotipos de chile jalapeño resultantes de procesos de selección. Genotipos con diferente letras son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$ ). ....	39
<b>Figura 8.</b> Contenido de Potasio en fruto de 12 genotipos de chile jalapeño resultantes de procesos de selección. Genotipos con diferente letras son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$ ). ....	42
<b>Figura 9.</b> Contenido de Magnesio en fruto de 12 genotipos de chile jalapeño resultantes de procesos de selección. Genotipos con diferente letras son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$ ). ....	44

## RESUMEN

México, cuenta con un registró de 29 tipos de chiles verdes y secos cultivados a nivel nacional, indicando la gran diversidad, distribución y demanda que existe en el país. El objetivo de la presente investigación fue determinar el contenido de minerales en el fruto de diferentes variedades de chiles y su estimar su relación con el rendimiento. El trabajo se desarrolló en un invernadero de la UAAAN, en el ciclo primavera-verano de 2022. Se evaluaron 12 variedades de chile: 1) CJYW1, 2) CSGN, 3) CJGN1, 4) CJGN3, 5) SCJGN20-5, 6) SCJGN20-3, 7) SCJGN10-4, 8) SCJGN10-1, 9) SCJGN-1, 10) SCPGN10, 11) SCPGN20 12) SCJRF. El experimento se estableció en suelo con acolchado plástico y riego por cintilla. La fertilización suministrada fue de N (200 ppm), P (80 ppm), K (30 ppm 0), Ca (253.3 ppm), Mg (75 ppm), Fe (1.5 ppm) y Zn (0.78), en la etapa reproductiva. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar con 12 tratamientos y tres bloques, cada tratamiento fue constituido por cuatro plantas, con separación de 30 cm entre planta y planta, teniendo en total 144 plantas en dicha área, la unidad experimental fueron camas de 16.7 m de largo y 60 cm de ancho. Las variables evaluadas fueron: peso total de frutos por planta, número de frutos por planta, peso promedio de fruto, determinación de fósforo, potasio, calcio y magnesio en frutos de chile. El mayor peso total de frutos por planta (695.7 g planta<sup>-1</sup>), peso promedio de frutos (38.9 g) y contenido de potasio (1059 ppm) fue obtenido por la variedad nueve. La variedad de chile 9 evaluada en condiciones de invernadero en suelo con acolchado plástico, destacó por ser la que obtuvo el mayor rendimiento, peso promedio de fruto y contenido de potasio en el fruto de chile.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, variedades de chile, fósforo, potasio, calcio, magnesio.

## INTRODUCCIÓN

En México, se cuenta con un registro de 29 tipos de chiles verdes y secos que son cultivados a nivel nacional, lo que indica la gran diversidad, distribución y demanda que existe en el país. Además, el chile, es una planta fundamental para la cocina y para las tradiciones mexicanas, por lo que también, es considerado como uno de los alimentos básicos y estratégicos para la alimentación y la agricultura (SADER, 2020).

En cuanto a la producción de pimiento, en México, este cultivo ocupa el cuarto lugar de exportación de productos agrícolas en fresco, con un valor de 1, 776 millones de dólares (SIAP, 2021). Así mismo, en el anuario estadístico de la producción anual, para el año 2021, reporta (campo abierto y en agricultura protegida) una producción de 567,350.02 t, en una superficie cosechada de 7, 200.46 ha, con un rendimiento promedio de 78.79 t ha<sup>-1</sup>, lo que representa un valor monetario de la producción de 7,665.13 millones de pesos (SIAP, 2022a). De acuerdo a la SADER (2022), el país, se ha logrado posicionar en los últimos años, como el principal país exportador de pimientos, con una participación mundial del 29 %, cuyos principales países importadores son: Estados Unidos, Canadá y el Reino Unido.

En lo que respecta a la producción de chile verde de la variedad jalapeño, el SIAP (2022b), reportó para el año 2021, una superficie sembrada de 27,763.80 ha, con una producción total de 799, 388.29 t, y con un rendimiento promedio nacional de 29.43 t ha<sup>-1</sup>, lo que la producción equivale a un valor de más de 6,344,778.93 miles de pesos. Siendo los principales estados productores, los estados de Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas y Sonora. Por lo anterior, el cultivo de chile se considera como uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2017). Además, es reconocido principalmente por sus componentes del fruto, por sus tres capsaicinoides: nordihidrocapsaicina, dihidrocapsaicina y capsaicina (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2010). Además, el cultivo de chile tiene un gran impacto social en la economía por ser generador de muchas fuentes de empleo, y por aportar un 16.1 % de la producción nacional de las hortalizas que se producen (Intagri, 2020).

Por su parte, Hernández *et al.* (2013), mencionan que el Chile enfrenta grandes problemas que están relacionados con la oferta limitada de cultivares nacionales, con capacidad de adaptación a los agroecosistemas hortícolas y la semilla híbrida proviene de diversas empresas transnacionales, las cuales ofrecen las semillas a costos muy elevados, lo que ocasiona que la gran mayoría de los productores opten por utilizar semilla de generaciones subsecuentes, como la F2 o F3, que son derivadas de híbridos comerciales, para así lograr reducir sus costos, aunque el rendimiento y la calidad de fruto se ven afectados por esas generaciones filiales.

Por otra parte, existe la gran importancia de una adecuada nutrición, que obtienen a partir de la solución del suelo o medio de cultivo, el cual entra en contacto con sus raíces de tal manera que las plantas obtengan todos los minerales que necesitan, para su óptimo crecimiento y desarrollo. Dentro de los principales minerales, se pueden encontrar el nitrógeno (N), el cual se reporta que puede alcanzar entre 0.5 y 6 % del peso seco de la planta, y en cuanto a nutrientes como el cobalto (Co), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) están presentes en apenas partes por millón (ppm) (Epstein, 1994).

Por su parte, Epstein (1999), menciona que la mayoría de las plantas cultivadas, se han analizado, desde la introducción del sistema hidropónico, lo que ha permitido su mejor estudio. De igual forma, Bregliani *et al.* (2006), reportan que los elementos nutritivos esenciales más importantes para las plantas son el nitrógeno, fósforo y potasio, ya que estos nutrientes son requeridos en cantidades mayores para la obtención de altos rendimientos. Simonne *et al.* (1998), reportaron que la respuesta del Chile y la extracción foliar de elementos esenciales (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, boro, cobre, hierro, molibdeno, manganeso y zinc), resultó ser lineal en relación a la cantidad de agua que es aplicada y se mantiene dentro de los intervalos recomendados para la producción. Es por ello que se evaluó el comportamiento de 12 variedades de Chile, para la determinación del contenido de nutrientes en el fruto y estudiar su relación con el rendimiento del fruto.

## **Objetivo general**

Determinar el contenido de minerales en el fruto de diferentes variedades de chiles y su estimar su relación con el rendimiento.

## **Objetivos específicos**

- Evaluar las variables de rendimiento: peso total de frutos por planta, número de frutos por planta y peso promedio de fruto.
- Determinar el contenido de los minerales de P, K, Ca y Mg en el fruto, de 12 variedades de chiles.

## **Hipótesis**

Al menos una de las 12 variedades de chile evaluadas, presenta mayor rendimiento, y mayor contenido de uno de los cuatro minerales determinados en el fruto.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Antecedentes del cultivo**

La SADER (2015), menciona que las especies silvestres de Chile se localizan al sur del continente americano, y donde se calcula que se originó este género de plantas. Por su parte, algunos botánicos mencionan que el lugar de origen del Chile se encuentra en la zona andina, mientras que otros opinan que se originó en el sureste de Brasil, por la gran diversidad de especies de *Capsicum* que existen en esas dos regiones. En cuanto al cultivo de pimiento morrón, es un cultivo originario de América, cuyos orígenes se sitúan principalmente en Sudamérica, este fruto, se puede encontrar en diferentes colores, los cuales varían desde el color verde, amarillo, naranja y rojo, lo que va dependiendo de su estado de maduración del fruto (SADER, 2022).

### **Importancia del cultivo**

Los chiles, pertenecen al género *Capsicum*, a la Familia *Solanaceae*. Se ha reportado su domesticación de al menos dos especies en México: el Chile Tabasco o paradito (*C. frutescens*) y más de 100 morfotipos de *C. annum var. annum*; siendo esta última, la especie de mayor importancia por su gran variabilidad genética y morfotipos que presenta, ya que incluye a diferentes tipos de chiles, tales como a los chiltepines, jalapeños, serranos, pimientos morrones, Chile de árbol, ancho, guajillo, pasilla, entre otros más (SADER, 2020).

### **Variedades con mayor producción y exportación en el país**

Hoy en día, se trabaja bajo la implementación de diferentes prácticas que pueden resultar benéficas para la gran mayoría de y en beneficio de los productores, empresas y consumidores de los diferentes tipos de chiles que se cultivan en México. Por su parte la SADER (2020), reporta que:

1. Se reconocen 15, 133.83 ha cultivadas en Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación en la Producción Primaria de Vegetales (SRRC) y Buen Uso y Manejo de Plaguicidas (BUMP), disminuyendo los daños de las prácticas agrícolas al medio ambiente.
2. 20 entidades Federativas producen chile certificado por SENASICA en SRRC y BUMP, de las cuales, Chihuahua (24), Guanajuato (22), Sinaloa (22), Sonora (12) y Zacatecas (8).
3. En México existen 142 empresas certificadas y/o reconocidas por SENASICA en SRRC y BUMP.
4. 161 son las unidades de producción Certificadas en SRRC. 67 son las unidades de empaque de vegetales en campo certificados en SRRC. Y 44 son las unidades de producción reconocidas por SENASICA en BUMP.
5. Además, el estado de Sonora (5, 408.6 ha), Sinaloa (4, 096.95 ha) y Chihuahua (3, 603.11 ha) son las entidades con mayor superficie Certificada en SRRC y BUMP.

Y dentro de las variedades de chile producidas en México según Panorama (2018), se encuentran:

1. Tipo Ancho: Allende, El Rancho, Chapulín, Esmeralda, Rebelde, Vencedor, Corcel, Yolo Wonder y California Wonder 300.
2. Chile serrano: Camino Real, Palenque, Nasas, Cocula.
3. Jalapeño: Austeco, Autlán, J-7, W004, Tajín, Colima y El Camino.
4. Chile Anaheim: Anaheim 118, Sahuaro y El Cardón.
5. Chile Caribe: Río de Oro.
6. Chile de Árbol: Balandra y Salvatirra.
7. Entre los chiles picosos, predominan: Ancho, Banana, Caloro, Cas Salm, Cascabel, Cubajo, Jalapeño, Pasilla, Poblano y Serrano.

Además, se pueden encontrar variedades como Karisma, Imagination, Revelation, Cannon, Valeria, ACX 293, Samboni, Monserrat y Sympati.

## Clasificación taxonómica

El chile, pertenece a la familia de las *Solanáceas*, variedad *Grossum*, especie *Capsicum annuum* L. En México, el fruto de morrón, es utilizado como condimento o especia, además, posee un alto valor nutritivo, bajo contenido en grasas, y una gran cantidad de agua, rico en vitaminas, minerales, carbohidratos y fibra (SADER, 2019). México, cuenta con un inventario de 64 tipos de chiles criollos, de los cuales, 25 se ubican en Oaxaca, 12 en Guerrero, 10 en Puebla, nueve en Veracruz, y el resto en otras entidades del país. Estos se clasifican por su taxonomía en especies, subespecies y variedades botánicas, los comerciales o cultivares, por su origen geográfico, el procesamiento después de la cosecha, o región de cultivo; por ejemplo, en México se cuenta con dos denominaciones de origen, los cuales son: chile habanero de la península de Yucatán y chile de Yahualica de los Altos de Jalisco (SADER, 2020).

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Subfamilia:	Solanoideae
Tribu:	Capsiceae
Género:	<i>Capsicum</i>
Especie:	<i>Capsicum annuum</i> L.

(Missouri Botanical Garden).

## **Descripción de las características morfológicas del cultivo**

El chile es una planta anual herbácea, la parte comestible es un fruto, así como sus semillas (Fideicomiso de Riesgo Compartido, 2017).

### **Tallo**

Es de crecimiento limitado y erecto, con un porte que en término medio varía dentro de 0.5 y 1.5 m (Intagri, 2020). Además, es erguido, ramoso y liso (Fideicomiso de Riesgo Compartido, 2017).

### **Hojas**

Al lignificarse los tallos, presentan hojas pubescentes, enteras, lanceoladas con un ápice muy pronunciado y un pecíolo largo o poco aparente (Intagri, 2020).

### **Flores**

Las flores son autógamas, poseen corola color blanquecina y aparecen solitarias en cada nudo. Es una planta de ciclo intermedio que presenta una floración a los 50 días después del trasplante (Intagri, 2020).

### **Fruto**

También llamado chile, es erguido o péndulo, de forma y tamaño variable, dulce o picante, de colores variantes, rojo o anaranjado, verde (Fideicomiso de Riesgo Compartido, 2017). Su maduración para el consumo del chile en verde es de 100 a 120 días después del trasplante (Intagri, 2020).

## **Raíz**

Presenta un sistema radicular pivotante provisto y reforzado, con un gran número de raíces adventicias (Intagri, 2020).

## **Etapas fenológicas**

### **Germinación y emergencia**

El período de preemergencia varía entre 8 y 12 días, es rápido cuando la temperatura es elevada (Fagro de México, 2019).

### **Crecimiento de la plántula**

Después del desarrollo de las hojas cotiledonales, se inicia el crecimiento de las hojas verdaderas, alternas y pequeñas. A partir de aquí, se muestra un crecimiento lento aéreo de la planta, pero desarrolla su sistema radicular. La tolerancia a los daños aumenta, pero aún es muy susceptible (Fagro de México, 2019).

### **Crecimiento vegetativo**

A partir de la sexta a la octava hoja, la tasa de crecimiento del sistema radicular se reduce gradualmente; en cambio el crecimiento del follaje y tallos incrementa, las hojas alcanzan el máximo tamaño, el tallo principal se bifurca y a medida que la planta crece, ambos tallos se ramifican (Fagro de México, 2019).

### **Floración y fructificación**

Al inicio de la floración, la planta produce abundantes flores terminales en las ramas. Este período, dura hasta que la carga de frutos cuajados corresponda a la capacidad de madurarlos. Y, bajo condiciones óptimas, la mayoría de las primeras

flores producen fruto, luego ocurre un período durante el cual la mayoría de las flores aborta. A medida que los frutos crecen, se inhibe el crecimiento vegetativo y la producción de nuevas flores. Las plantas, usualmente permite cosechas semanales o bisemanales durante un período que oscila entre seis y 15 semanas, dependiendo del manejo del cultivo. El mayor número de frutos y los frutos de mayor tamaño se producen durante el primer ciclo de fructificación, aproximadamente entre los 90 y 100 días. Los ciclos posteriores tienden a producir frutos de menor tamaño, como resultado del deterioro y agotamiento de la planta (Fagro de México, 2019).

### **Requerimientos edafoclimáticos**

El cultivo de chile, necesita de una temperatura media de 25 °C, para su óptimo desarrollo y crecimiento, con una humedad que no sea demasiado alta, con valores que van desde 60 hasta un 75 %. Además, requiere de gran cantidad de luz solar, siendo más necesaria en el primer período de crecimiento después de la germinación. No obstante, se puede cultivar en cualquier tipo de suelo con humedad. El suelo ideal, debe presentar un adecuado drenaje, con presencia de arena y materia orgánica. Estos requerimientos hacen que los chiles puedan ser cultivados en invernaderos, donde el manejo de las condiciones es más controlable y favorable (SADER, 2019).

### **Manejo agronómico del cultivo**

#### **Preparación del Suelo**

El terreno debe de estar libre de maleza, mullido y sin terrones, que pueden dificultar las labores de cultivo (si se cultiva en suelo). Además, debe estar bien nivelado para evitar encharcamientos que causen pudriciones en las raíces de las plantas. Por lo que se requiere, llevar a cabo labores como el barbecho, rastreo, nivelación, surcado y trazo de las líneas de riego (cintilla), no obstante, si se utiliza acolchado

plástico, este debe de colocarse de tal manera que no quede con el color negro por encima y el color blanco por debajo, o de lo contrario generará demasiado calor, lo que en etapas tempranas de las plantas causaría su muerte, además procurar la desinfección del suelo con productos como el Metam Sodio o Metam Potasio (INIFAP, 2003).

### **Densidad de plantación**

El cultivo de chile, se dispone en líneas orientadas de Norte a Sur, con un marco de plantación de 1 m entre líneas y 0.5 m entre plantas, y con una densidad de plantación de dos plantas por metro cuadrado. Según el número de tallos por planta, se puede variar la densidad de plantación hasta tres plantas por metro cuadrado (Urrestarazu, 2004). Con el sistema de acolchado plástico, la distancia entre orificios para plantar chile debe ser de 35 cm entre plantas y a doble hilera en disposición de tresbolillo, que da una densidad de plantación de 36,500 plantas ha<sup>-1</sup> (Traxco, 2016).

### **Siembra**

Para la producción de plántulas de chile es necesario, realizarlo en un invernadero, que logre un control óptimo de factores climáticos como la luz, temperatura y humedad relativa. El uso de sustratos es rápido y práctico, se utilizan mezclas de sustratos tales como el peat moss, fibra de coco, perlita, vermiculita, y deben de estar bien desinfectados, y que puedan utilizarse inmediatamente. Se deben utilizar charolas de 200 cavidades, ya que se producen plantas con mayor vigor, además las raíces no sufren daño, ya que salen de las cavidades con el cepellón completo. Es necesario utilizar una semilla por cavidad. El manejo de las plántulas en invernadero requiere de un eficiente control de humedad y temperatura. Es recomendable aplicar fertilizantes para su óptimo desarrollo y crecimiento. Para siembras en invernadero con charolas se requieren aproximadamente 250 g de semilla para una ha. Se pueden obtener en 40 días, plántulas vigorosas y sanas,

listas para trasplante, mientras que, en los almácigos de suelo en un período de 60 a 70 días, con menor vigor y mayor pérdida de semilla y de planta (INIFAP, 2003).

### **Poda de formación**

La poda de formación en el cultivo de chile es de gran importancia, por lo que se efectúa la poda parcial de algunas ramas secundarias, para concentrar la producción en dos o tres ramificaciones, favoreciendo así la ventilación y la calidad de los frutos. Se debe de realizar la poda de los tallos del tronco principal por debajo de la cruz de la planta, para evitar el gasto de nutrientes, y que además su producción es más tardía y de peor calidad, así como también, la entrada de luz a las plantas (Nuez *et al.*, 1996).

Por su parte, Metalizar (2015), manifiesta que la poda es una actividad que aumenta la mano de obra, pero se obtiene mayor comodidad y facilidad para la cosecha de los frutos y la aplicación de diversos productos para el control sanitario y o fertilización foliar. En la actualidad, la poda tiende a conformar la planta en dos a tres tallos a partir de la primera cruz. La poda a dos tallos presenta en las primeras recolecciones mayor precocidad y frutos de más calidad; sin embargo, con poda de formación a tres tallos el incremento de producción es mayor. Existen dos tipos de poda:

- a) Poda de formación: es en la que se suprimen los brotes y las hojas en el tronco de la planta, además se eliminan “chupones” y tallos.
- b) Poda de producción: consiste en el aclareo de hojas en tronco y tallos; además del aclareo de frutos y los despuntes. No obstante, se ha de tener presente que la poda a más de dos tallos necesita tutorado y puede dificultar las labores culturales.

## **Tutorado**

El sistema más comúnmente utilizado en los sistemas de producción agrícolas bajo invernadero, es el sistema “V” o de “tipo holandés”. En este sistema solamente se dejan dos o tres ramas principales por planta, podándose todas las laterales que van apareciendo. Cada tallo, a medida que va creciendo, se va enredando en un hilo vertical que le sirve de soporte y que cuelga de un hierro o alambre sujeto a la estructura. Se obtienen frutos con mejor calidad, grosor y uniformidad de coloración, además de que se obtiene una mejor ventilación entre las plantas (Nuez *et al.*, 1996).

## **Deshojado**

La poda de hojas se realiza con la finalidad de evitar problemas fitosanitarios, y se debe de eliminar las hojas viejas y con presencia de cenicilla, además estimula la aparición de nuevas flores y frutos. Además, provee mayor espacio de ventilación entre las plantas. Se debe de realizar con manos y o guantes sanitizados para evitar la diseminación de diversas enfermedades fungosas o bacterianas, a cada planta se le cortan un promedio de cinco hojas por poda, y se realiza al menos cinco o seis veces durante el ciclo del cultivo (Jovicich *et al.*, 2005).

## **Riego y fertilización**

La fertirrigación es la acción de la aplicación de fertilizantes disueltos en el agua de riego para la nutrición del cultivo (Sabillón y Merkley, 2004) (Cuadro 1). Cuyas principales ventajas son: obtener una mayor producción y calidad de fruto, además permite el ahorro de agua, dosificación racional de los fertilizantes, y mayor eficiencia del agua y nutrientes (Bello y Pino, 2000; Yiasoumi *et al.*, 2005). Sin embargo, Locascio (2005), menciona que tiene un costo elevado además de alta inversión en equipo.

**Cuadro 1.** Fórmula de fertilización para el cultivo de chile en suelo (En 2500 L de agua).

Fertilizante	Formula	Hasta 20 ddt	De 20 a 80 ddt	De inicio a fin de cosecha
Sulfato de potasio (3)	$K_2SO_4$		225 g	302 g
Nitrato de potasio (4)	$KNO_3$	920 g	920 g	950 g
Sulfato de magnesio (5)	$MgSO_4$	320 g	320 g	460 g
Nitrato de calcio (6)	$Ca(NO_3)_2$	950 g	850 g	550 g
Complejo de micros (7)	MICROS	50 g	50 g	65 g
Ácido nítrico (1)	$HNO_3$	530 ml	800 ml	800 ml
Ácido fosfórico (2)	$H_3PO_4$	135 ml	180 ml	180 ml

Fuente: (Sabillón y Merkley, 2004).

## Principales plagas y enfermedades en el cultivo de chile

Las plantas de chile suelen ser atacadas por diversas plagas que causan daños económicos muy representativos, estos consisten en pérdidas de producción y una baja calidad de los cultivos, según se indica a continuación (INIFAP, 2003):

### Plagas

- Barrenillo del chile (*Anthonomus eugenii*): quizás sea la plaga más importante en el chile, y es que en su estado adulto es color café oscuro y mide aproximadamente de 4 a 5 mm; la hembra deposita los huevecillos en el interior de los frutos en desarrollo; y su larva es de color blanco cremoso

con la cabeza café, se desarrolla dentro del fruto y se alimenta de la semilla en formación. Este insecto se presenta desde la primera floración, y se debe iniciar su control cuando se detecte un adulto por cada 200 plantas muestreadas, inspeccionando un mínimo de dos yemas florales, botones o flores por planta. Para su control es recomendable la aplicación de: Fipronil 50 g I.A. (Ingrediente activo) ha<sup>-1</sup>, Clorpirifos 720 g I.A. ha<sup>-1</sup> y Oxamil 520 g I.A. ha<sup>-1</sup>.

- Mosquita blanca (*Bemisia tabaci*): es una mosquita pequeña de color blanco que mide entre 1 y 2 mm de longitud. La hembra pone los huevecillos en el envés de las hojas. En forma de ninfa permanece en las hojas alimentándose de la savia de la planta hasta llegar al estado adulto en el que tiene un vuelo muy activo. Puede transmitir virosis. Se debe muestrear al menos 50 plantas ha<sup>-1</sup> distribuidas en tres, cinco o más sitios. Para su prevención aplicar Imidacloprid 350 g I.A. ha<sup>-1</sup> al cuello de la planta, después de 45 a 60 días, se puede controlar aplicando Endosulfán 525 a 700 g I.A. ha<sup>-1</sup>. Aplicar cuando se observen de cuatro a cinco mosquitas por planta.
- Pulgón verde (*Myzus persicae*): es un insecto vector de virus, y es considerado el más dañino del mundo, porque es capaz de transmitir más de 120 enfermedades que afectan a más de 500 plantas hospedantes. El daño es ocasionado por todos los estadíos, al succionar la savia de las hojas y brotes, al alimentarse inyectan una saliva tóxica que distorsiona las hojas, el daño causa reducción de vigor de la planta, achaparramiento, marchitez, amarillamiento, y caída de las hojas, así como fumagina que crece en la mielecilla que excretan, y que reduce la fotosíntesis. Se puede controlar con la aplicación de químicos como Acefate 800 g I.A. ha<sup>-1</sup> o Pirimicarb 250 g I.A. ha<sup>-1</sup>.
- Minador de la hoja (*Liriomyza* sp.): es una pequeña mosquita que pone los huevecillos en el envés de las hojas. La larva penetra en los tejidos alimentándose de su contenido, y desfigurando la hoja y dejando galerías o minas. Se recomienda muestrear 50 plantas por lote de 1 a 2 hectáreas en

tres a cinco sitios diferentes y se debe aplicar Abamectina 5.4 g I.A. ha<sup>-1</sup> o Cyromazina 75 g I.A. ha<sup>-1</sup>.

- Araña roja (*Tetranychus* sp.): se puede observar en el envés de las hojas en donde se forman colonias de arañitas que secretan una fina telaraña. Las plantas atacadas presentan un aspecto enfermizo presentando un color amarillento y café. Provoca la caída de hojas. Se presenta en baja humedad relativa y ambientes secos. Se puede controlar con la aplicación de Abamectina 9 g I.A. ha<sup>-1</sup>. Las aspersiones de azufre elemental son efectivas cuando se aplican en densidades bajas de ácaros o cuando se realizan de manera preventiva para controlar enfermedades foliares en dosis de 2, 000 g I.A. ha<sup>-1</sup>.

## **Enfermedades**

- Virosis: dentro de las diversas enfermedades que se presentan en el cultivo de chile, suelen ser ocasionadas por virus, los cuales representan importantes pérdidas. Dentro de los virus que han sido identificados y reportados en México, se encuentran el Virus Rizado Amarillo también conocido como Geminivirus y Enchinamiento, Virus Jaspeado del Tabaco, Virus Mosaico del Tabaco y Virus Mosaico del Pepino, los cuales son transmitidos principalmente por mosquita blanca y pulgón verde. Se debe evitar y controlar la presencia de insectos, ya que no existe tratamiento químico para su control.
- Marchitez del chile: esta enfermedad es causada por un complejo de hongos, tales como el *Fusarium*, *Phytium*, *Rizoctonia* y *Phytophthora*. El daño principal se localiza en el cuello de la raíz y base del tallo y causa un marchitamiento repentino y muerte de la planta. La infección se propaga en lugares con encharcamientos de agua o donde año tras año se siembra chile y tomate sin practicar la rotación de cultivos. Para su prevención es necesario evitar encharcamientos y aplicar Metalaxil 483 g I.A. ha<sup>-1</sup>.

## **Cosecha**

Los frutos se cosechan cuando alcanzan su tamaño propio de la variedad y presentan un color característico de la variedad, verde para los jalapeños, y rojo, verde, amarillo, anaranjado para chile pimiento morrón. El primer corte o “calienta” se realiza aproximadamente a los 100 a 110 días después del trasplante; el resto de los cortes se hace en intervalos de 12 a 16 días. Para obtener altos rendimientos se utilizan variedades recomendadas las cuales pueden llegar a producir más de 12 t ha<sup>-1</sup>, y para el caso de los híbridos el rendimiento supera las 16 t ha<sup>-1</sup> de fruto fresco, en cuanto a la producción de pimientos estos pueden llegar a producir hasta 120 t ha<sup>-1</sup> o incluso más (INIFAP, 2003). En lo que respecta al cultivo de chile pimiento morrón la cosecha se realiza cuando los frutos de color presentan por lo menos de un 80 a un 90 % de pigmentación en el fruto (esto dependerá del color característico de la variedad), como lo indica la tabla de maduración de frutos de la empresa Fresh Market.

## **Los minerales en las plantas**

Los minerales son importantes para el desarrollo óptimo de los cultivos y se requieren de 17 elementos o nutrientes esenciales. Estos nutrientes son carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), y micronutrientes zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y níquel (Ni). Además, cobalto (Co). Aunque Co estimula el crecimiento de ciertas plantas, no es considerado esencial (Arnon y Stout, 1939). Por su parte, Rice (2007), menciona que los nutrientes esenciales pueden ser definidos como los que las plantas necesitan para completar su ciclo de vida, y que son insustituibles por otros elementos y están involucrados directamente en el metabolismo de las plantas.

## **Fósforo**

El fósforo (P), es un elemento esencial para la vida, y es fundamental en las rutas metabólicas de las plantas. Participa como componente de las moléculas esenciales de la célula, tales como fosfolípidos, ARN, ADN y ATP, el cual este último es requerido para la transferencia de energía y catálisis celular (White y Metcalf, 2007). Además, se puede encontrar en compuestos inorgánicos y orgánicos, que van desde los iones de la solución del suelo hasta compuestos estables (Negassa y Leinweber, 2009). Siendo así, este elemento, un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, y que tiene un papel irremplazable en diversos procesos bioquímicos, fisiológicos, y además proporciona alta resistencia a diversas enfermedades. Su ausencia se presenta en una alta presencia de plagas y enfermedades (Rasche *et al.*, 2016).

## **Potasio**

El potasio (K) es un elemento considerado como esencial para las plantas. De acuerdo a Havlin *et al.* (1999), el 90 % de potasio total en la planta es absorbido por la raíz mediante difusión. En el suelo se puede encontrar en concentraciones que van de 1 a 10 mg K kg<sup>-1</sup> de suelo, pero este puede disminuir en el suelo por la absorción de las plantas y por la lixiviación a capas inferiores. Además, Hasanuzzaman *et al.* (2018), considera al potasio como vital para la supervivencia de las plantas en condiciones de estrés. Y forma parte de la estructura química de las plantas, así como tiene diversas funciones, tales como regulador bioquímico y fisiológico. Participa en el metabolismo y crecimiento de las plantas en interacción con los demás nutrientes.

## **Calcio**

El calcio (Ca) es un elemento estructural para las plantas y constituye la lámina media, las paredes y membranas de la célula, además, participa en la división y

elongación celular, modula la acción de hormonas y señales, estabiliza la pared y la membrana, y contribuye al equilibrio iónico de la célula. Cuando existe una buena absorción de calcio, se ha reportado que las concentraciones en el citosol son de 0.1 a 0.2  $\mu\text{M}$ , mientras que en la vacuola se encuentra 105 veces más, en el cloroplasto presenta un rango de 6.5 a 15  $\mu\text{M}$  y en el estroma 2.4 a 6.3  $\mu\text{M}$  (Marschner, 1986). Por su parte, Salisbury y Ross (1994), mencionan que este elemento tiene la función de estabilizar la pared y las membranas celulares mediante su interacción con el ácido péptico que está entre la pared celular y la lámina media. Esta reacción genera el pectato de calcio o pectinas, las cuales confieren estabilidad e integridad a la pared celular y, en general, a todos los tejidos de la planta. Además, es importante para dar firmeza a los frutos de los cultivos.

## **Magnesio**

El magnesio (Mg) es un macronutriente que es esencial para el crecimiento y desarrollo de todas las plantas. Y los niveles adecuados en los suelos son importantes para producir los máximos rendimientos de los cultivos, y que a su vez contribuyen con el beneficio económico. La deficiencia de Mg en la producción de los cultivos suele ser más común en suelos ácidos erosionados, y también puede darse en suelos que presentan una estructura gruesa con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Fageria y Souza, 1991).

Existen diversas funciones que el magnesio realiza en las plantas, ya que actúa como activador de enzimas y como componente de las moléculas de la clorofila (núcleo pirrólico), por lo que está directamente involucrado en la fotosíntesis. Además, el  $\text{Mg}^{2+}$  es un auxiliar en el metabolismo del fosfato (respiración de la planta) y en la activación de varios sistemas enzimáticos que están involucrados en el metabolismo energético (Fageria y Gheyi, 1999).

## **Formas de absorción de los minerales en la planta**

### **Fósforo**

En lo que respecta a las y a los microorganismos del suelo, obtienen el fósforo de la solución del suelo, principalmente de las formas inorgánicas más disponibles (ortofosfato  $\text{PO}_4^{3-}$ ), pero debido a su alta reactividad química y a su demanda, su disponibilidad suele reducirse muy rápidamente. Cuando el ortofosfato no está disponible, es necesario adquirir el P de otras formas químicas, entre las cuáles, las formas orgánicas son la principal fuente alternativa (Kononova y Nesmeyanova, 2002).

### **Potasio**

El potasio es un catión monovalente ( $\text{K}^+$ ), cuya absorción es altamente selectiva y muy acoplada a la actividad metabólica; presenta una gran movilidad en la planta a todos los niveles dentro de células, en tejidos y en el transporte a gran distancia por vía xilema y floema, y presenta un balance catión-anión (Marschener, 1995).

### **Calcio**

El calcio es absorbido por la planta en forma de ión  $\text{Ca}^{2+}$ . Presenta una alta densidad de carga neta en su superficie, lo que le permite unirse a las moléculas de agua, es decir, como ión hidratado se absorbe con más lentitud que un catión monovalente (Salisbury y Ross, 1994; White y Davenport, 2002), lo que hace que la entrada de  $\text{Ca}^{2+}$  a la célula sea únicamente por medio de canales en la membrana.

### **Magnesio**

La absorción de Mg por las plantas se ve estimulada por el nitrato, y que, además, es adsorbido electrostáticamente a las partículas de arcilla y a la materia orgánica

y su liberación depende del efecto que tiene la absorción de un  $Mg^{2+}$  en la solución del suelo (Mulder, 1958).

### Los efectos de los minerales en la planta

La carencia de los nutrientes puede provocar síntomas visuales en diferentes órganos de la planta (Cuadro 2). Además, Fageria (2009), menciona que la concentración de un elemento esencial en los tejidos de las plantas es un criterio muy importante que sirve para diagnosticar suficiencia o deficiencia. Y que, existen diversos factores que afectan la absorción y la concentración de los nutrimentos en los tejidos; los cuales son representados por la edad de la planta, parte analizada, especie cultivada y fertilidad del suelo.

**Cuadro 2.** Función, movilidad y síntomas de deficiencia de nutrientes en la planta (Mills y Jones, 1996).

Nutrientes	Función	Movilidad en planta	Síntoma de deficiencia
P	Necesario para la energía, metabolismo y conduce a reacciones químicas en los tejidos vegetales	móvil	Color verde oscuro en hojas adultas y púrpura
K <sup>+</sup>	Formación de enzimas, aminoácidos y proteínas, juega un papel importante en la absorción del agua y transpiración	móvil	Color verde claro a amarillo en márgenes de las puntas de hojas adultas
Ca <sup>2+</sup>	Elongación celular y división celular vigorosa (crecimiento)	no móvil	Hojas deformes y cloróticas, y detención del crecimiento meristemático
Mg <sup>2+</sup>	Reacciones metabólicas y es necesario para la mayoría de las funciones vitales de las plantas	poco móvil	Amarillamiento intervenal de la hoja

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del experimento

El presente trabajo experimental se llevó durante el ciclo primavera – verano del 2022, en un invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, cuyas coordenadas geográficas son: 25° 21' 20" LN y 101° 02' 06" LO, a una altitud de 1, 764 msnm.

### Material genético

El material genético utilizado en el experimento fueron 12 variedades de chile (*Capsicum annuum*), los cuales fueron seleccionados por su rendimiento, calidad de fruto y tolerancia a enfermedades radiculares; 1) CJYW1, 2) CSGN, 3) CJGN1, 4) CJGN3, 5) SCJGN20-5, 6) SCJGN20-3, 7) SCJGN10-4, 8) SCJGN10-1, 9) SCJGN-1, 10) SCPGN10, 11) SCPGN20 12) SCJRF.

### Diseño experimental

El experimento se realizó bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, con 12 tratamientos y tres bloques (Cuadro 3). Cada tratamiento está constituido por cuatro plantas por tratamiento, con separación de 30 cm entre planta y planta, teniendo en total 144 plantas en dicha área, la unidad experimental fueron camas de 16.7 m de largo y 60 cm de ancho, teniendo un total de 90 m<sup>2</sup> en el área experimental.

**Cuadro 3.** Distribución de las variedades de chile (*Capsicum annuum* L.), obteniendo tres tamaños de muestra.

### Bloque 1

1	2	3	4
8	7	6	5
9	10	11	12

### Bloque 2

12	5	9	2
4	11	1	8
6	3	10	7

### Bloque 3

5	10	6	7
11	4	1	8
12	9	2	3

## **Materiales, herramientas y equipos**

### **Materiales y herramientas**

- Azadón
- Jeringa de plástico de 10 mL
- Mochila aspersora de 20 L
- Un bote de 20 L
- Guantes de plástico
- Charolas de poliestireno de 200 cavidades
- Perlita
- Peat moss
- Recipiente de un litro
- Rastrillo
- Rafia (hilo de polipropileno)

- Estacas
- Cinta métrica
- Cintilla calibre 4000
- Acolchado plástico de color plateado
- Lápiz
- Tijeras
- Plumón
- Navaja
- Frasco de vidrio color ámbar
- Rafia (hilo de polipropileno)
- Ganchos de acero
- Anillos para tutoreo
- Atomizador de capacidad 1 L
- Bolsas de papel estraza
- Frascos de plástico de 10 mL
- Agua destilada
- Mortero de porcelana
- Crisoles de vidrio de capa porosa poro abierto
- Pinzas para vasos
- Piseta
- Papel filtro
- Probetas graduadas de 10 mL, 100 mL, 250 mL
- Espátula
- Mechero
- Vasos precipitados de 40 mL, 200 mL y 500 mL
- Embudos de plástico
- Tubos de ensaye 13 x 100
- Gradilla
- Pipetas graduadas de 2 mL y 5 mL
- Celdillas para espectrofotómetro
- Matraz de aforación volumétrico de 50 mL y 1000 mL

- Papel klinex

## **Equipos**

- Parrilla
- Báscula digital (VINSON, capacidad: 5 kg)
- Potenciómetro (HANNA)
- Conductímetro (MYRON L COMPANY)
- Estufa de secado (MAPSA, HDP-334)
- Balanza analítica (AND Weighing, capacidad: 220 g)
- Mufla (Thermo scientific – serie BF51841C-1, LINDBERG BLUE M)
- Espectrofotómetro de absorción atómica (GBC scientific, XplorAA)
- Computadora de escritorio
- Espectrofotómetro (Thermo electron, Biomate 5)
- Micropipeta (GLASSCO, Capacidad de volumen:100-1000  $\mu\text{L}$ )

## **Establecimiento del experimento**

### **Desinfección del invernadero**

El 19 de enero se llevó a cabo la limpieza general del invernadero eliminando con un azadón las malezas, de igual manera, se llevó a cabo la desinfección del interior del invernadero, con el fin de eliminar cualquier insecto, se aplicó un insecticida diclorvos (D.D.V.P. 50% C.E.), a una dosis de 3 mL  $\text{L}^{-1}$  de agua, se realizaron dos aplicaciones en todo el área del invernadero, el total de la dosis fueron 120 mL de diclorvos 40  $\text{L}^{-1}$  de agua, para la aplicación de dicho producto químico se utilizó una mochila aspersora de 20 L de capacidad, se tomaron todas las medidas de seguridad, después de realizar la desinfección se restringió el área cerrando el invernadero por ocho días.

## **Siembra en charolas**

El 27 de enero del 2022 se llevó a cabo la siembra, en charolas de poliestireno de 200 cavidades, se utilizaron seis charolas, para la preparación del sustrato se realizó una mezcla de peat moss y perlita (50/50%, v/v), el cual fue humedecido antes de sembrar; para luego pasar al llenado de las charolas, donde se colocó una semilla por cavidad, a 0.5 cm de profundidad; posteriormente, las charolas se estibarón y fueron cubiertas por un plástico de color negro para promover uniformidad en la germinación.

## **Preparación del terreno**

Se removió el suelo utilizando un azadón con el fin de exponer cualquier patógeno en el ambiente, una vez preparado el suelo se nivelaron las camas de manera manual, se colocaron dos estacas en cada uno de los extremos de la superficie marcada para la elaboración de las camas, a una altura de 30 cm, con el ayuda de un azadón se realizó el levantamiento de las camas de 16.7 m de largo, 60 cm de ancho y 35 cm de altura, con una separación entre camas de 1 m.

## **Sistema de riego**

El sistema de riego fue por goteo, para lo cual se usó una cintilla de calibre 4000 marca HIDROLITE®, con 30 cm de separación entre goteros y 1.0 L h<sup>-1</sup> de gasto por emisor, de manera manual fueron colocadas dos líneas de cintilla por cama.

## **Acolchado**

Una vez instalado el sistema de riego por goteo, de manera manual se colocó el acolchado plástico de color plateado y se cubrieron los bordes con tierra utilizando el azadón.

## Trasplante

El día 7 de abril del 2022, se llevó a cabo el trasplante de manera manual (Figura 1) cuando las plantas alcanzaron una altura de 16 cm y la cuarta hoja verdadera (70 días después de la germinación), se llevó a cabo por la tarde con el fin de no deshidratar la plántula, la cual se colocó en el centro de cada orificio del acolchado y a una profundidad de 8 cm, en hilera sencilla, con distancia a 30 cm entre planta y planta. Un día antes de realizar el trasplante se aplicó un riego pesado con el fin de tener una humedad suficiente en el suelo.



**Figura 1.** Trasplante de las diferentes variedades de chile (*Capsicum annuum* L.).

## Riego

El volumen de agua aplicado en cada riego fue de acuerdo a la etapa de desarrollo de la planta, partiendo desde el trasplante donde se inició con una aplicación de 0.250 L de agua por planta por día. Hasta llegar la etapa vegetativa, donde se

modificó con una aplicación de 500 L de agua diariamente dividida en dos riegos los cuales se realizaban a las 8:00 horas y a las 15:00 horas.

Los cuales tenían una duración de 30 minutos cada uno, esto con el fin de no saturar el contenido de humedad en el suelo y con ello prevenir la aparición de enfermedades en el suelo las cuales atacan principalmente a la raíz, en la etapa de producción del cultivo se aplicaron 1.5 L de agua por planta por día.

## **Fertilización**

Durante la emergencia de charolas, Cuando se presentaron las primeras hojas verdaderas en las plántulas se aplicó la primera fertilización, con fertidrip 20-30-10 a una dosis de 1 g L<sup>-1</sup> de agua y un enraizador (fax) a una dosis de 5 g L<sup>-1</sup>, en 20 L de agua.

A los 30 días después del trasplante se aplicó la fertilización, fue la misma para todos los tratamientos, se presenta en el Cuadro 4.

Con los fertilizantes indicados se aportó la concentración (ppm) de cada uno de los elementos siguientes: N (200), P (80), K (300), Ca (253.3), Mg (75), Fe (1.5) y Zn (0.78), vía riego todos los días excepto los domingos, éste día solo se aplicaba un riego sin fertilización, con el fin de drenar las sales de los goteros.

Antes de incorporar los fertilizantes al depósito para fertilización se medía la conductividad eléctrica y el pH del depósito, utilizando un potenciómetro y un conductímetro, posteriormente se mezclaban los fertilizantes en una cubeta de 20 L de capacidad, con el fin de que se diluyeran todos los fertilizantes y no quedaran residuos en el depósito, por último, se incorporaban en el depósito de fertilización.

**Cuadro 4.** Fertilizantes y cantidad utilizada en 1000 L de agua para el cultivo de chile.

Fertilizantes	Cantidad (g 1000 L <sup>-1</sup> de agua)
Fosfonitrato de potasio	500
Nitrato de magnesio	500
Fosfato mono potásico	125
Fierro 6 % Fe	25
Zinc 14.8 % Zn	5
Ácido nítrico al 85 %	180 mL

Manejando un pH de la solución de 6.5 y la conductividad eléctrica de 1.8 dS/m.

### **Manejo agronómico del cultivo**

#### **Poda de sanidad**

Esta actividad consistió en la eliminación de manera manual de los brotes y hojas que se desarrollaron por debajo de la bifurcación, con el fin de favorecer la ventilación adecuada y evitar la incidencia de enfermedades.

#### **Poda de formación**

La poda de formación se realizó después de los 20 días de trasplante, en esta práctica las plantas fueron guiadas a dos tallos, posteriormente se eliminaron de forma manual todos los brotes laterales, para mantener a la planta vigorosa y con alta producción y calidad de fruto.

#### **Tutoreo**

Se realizó el tutorado holandés a los 20 días después del trasplante, en la base de cada planta se colocó un anillo o clip de tutoreo y de ahí se fijó la rafia (hilo de polipropileno) que se fue enredando a la planta pasándolo por cada entrenudo hasta

la parte apical de la planta y posterior conducción de la planta de forma vertical, la rafia fue soportada de un alambre galvanizado calibre 10, a 3.5 m sobre el nivel del suelo, lo anterior fue con el fin de evitar el desgajamiento de las ramas y evitar que las hojas y los frutos estén en contacto en el suelo. Esta práctica se realizó cada ocho días a lo largo del ciclo del cultivo.

### **Destallado**

Esta práctica se realizó cada ocho días de manera manual se eliminaron los brotes laterales de los tallos seleccionados en la poda de formación, posteriormente para evitar el consumo de nutrientes que pueden demandar en los brotes laterales.

### **Deshoje**

Esta actividad se realizó de manera manual eliminando todas las hojas enfermas y senescentes de la parte baja de la planta, posteriormente para que la planta tenga una mejor luminosidad, con el fin de que la luz llegara más uniforme a los frutos, proporcionando una coloración más rápida, de igual manera mantiene a la planta con mayor aireación, evitando que se desarrollen enfermedades fúngicas, dicha actividad se realizó conforme lo iba requiriendo el cultivo.

### **Control de plagas y enfermedades**

Durante la etapa de germinación de la plántula se aplicaron productos preventivos utilizando insecticidas con el ingrediente activo Thiamethoxam (ACTARA® 25WG) y carbofuran (FURADAN 350L) a una dosis de 1 mL L<sup>-1</sup> de agua y un fungicida de dos ingredientes activos el metalaxil-M y el clorotalonil (RIDOMIL GOLD® BRAVO SC) a una dosis de 1 mL L<sup>-1</sup> de agua. Las aplicaciones se llevaron a cabo cada 15 días en las últimas horas de la tarde, utilizando un atomizador de capacidad de un litro. Las principales plagas que se presentaron durante su desarrollo del cultivo fueron la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), minador de la hoja (*Liriomyza spp.*) y la

paratrioza (*Bactericera cockerelli*). Se llevó a cabo el monitoreo de las plagas de manera preventiva y curativa utilizando los siguientes productos químicos (Cuadro 5), es importante señalar que se tomaron en cuenta los intervalos de seguridad considerados en la etiqueta de cada insecticida.

**Cuadro 5.** Control químico de plagas y enfermedades en el cultivo de Chile.

Producto	Ingrediente activo	Dosis de aplicación
FURADAN 350L	Carbofuran: 2, 3-Dihidro-2,2 dimetilbenzofuran-7-il metilcarbamato.	1.5 mL L <sup>-1</sup>
CONFIDEL 350 SC	Imidacloprid: 1-(6-cloro-3-piridin-3-ilmetil) - N-notroimidazolidin-2-ilidenamina.	1 mL L <sup>-1</sup>
DELTAPYR <sup>MR</sup> 40 C.E.	Dimetoato: 0,0-Dimetil-S-(N-metilcarbamoilometilo)- fosforo-ditioato.	1 mL L <sup>-1</sup>
ABAMECTINA <sup>MR</sup> DELTA	Abamectina: Avermectin B1.	1 mL L <sup>-1</sup>
ENGEOR <sup>®</sup>	Timeotoxam + Lambdacihalotrina	1 mL L <sup>-1</sup>

Las aplicaciones de los insecticidas se realizaron considerando el intervalo de seguridad, intercalando los insecticidas con el fin de no crear resistencia en las plagas, las aplicaciones se realizaron por la tarde para evitar quemaduras en el cultivo y evitar evaporación del producto químico. Para las aplicaciones de los productos químicos se utilizó una mochila aspersora de una capacidad de 20 L. Además de los insecticidas aplicados se colocaron trampas cromáticas (de color amarillos y se les agregó un aceite), ya que atrae los insectos el color amarillo y se quedan adheridos directamente en la trampa, posteriormente se colocaron cuatro trampas por surco a una distancia de 5 m entre trampa y trampa.

La única enfermedad que se presentó durante el crecimiento del cultivo fue el *Fusarium*, se presentaron los primeros síntomas en las primeras cosechas, se llevó a cabo un control biológico, donde se aplicó 0.5 L 1000 L<sup>-1</sup> agua de *Trichoderma harzianum* por vía riego.

### **Deshierbes**

Con el apoyo del acolchado y del ground cover se minimizó la presencia de malezas, sin embargo, hubo mayor incidencia a los extremos del interior del invernadero, la eliminación de las malezas fue de forma manual, esta actividad se realizó cada mes, con el fin de evitar la presencia de plagas y enfermedades.

### **Cosecha**

El 16 de julio, habiendo transcurrido 100 días después del trasplante del cultivo se procedió a dar el primer corte (Figura 2), de lo cual se realizaron 5 cortes semanalmente, se realizaron de forma manual basándose principalmente en la firmeza y la coloración de los frutos, una vez hecho esto se procedió a colocar los frutos en bolsas de papel estraza donde se les colocó una identificación y posteriormente se inició con la evaluación de las variables.



**Figura 2.** Cosecha de las diferentes variedades del cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.).

## **Análisis estadístico**

A los datos obtenidos se les aplicó un análisis de varianza bajo el diseño de Bloque completos al azar y se realizó la comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), utilizando un programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4, posteriormente para la realización de las gráficas se utilizó un programa sigmaplot (versión 12.1).

## **Variables Evaluadas**

### **Variables de rendimiento**

#### **Peso total de frutos por planta (PTFPP)**

Para la estimación de esta variable se utilizó una báscula digital (VINSON) para pesar todos los frutos cosechados por planta en cada corte, al finalizar las cinco cosechas se sumaron los pesos para obtener el peso total de frutos por planta, los resultados se registraron en gramos (g).

#### **Numero de frutos por planta (NFPP)**

Para estimar esta variable se contabilizó el número de frutos cosechados por planta en cada corte, se realizó una sumatoria del total de los frutos por planta, al término de las cinco cosechas.

#### **Peso promedio de fruto (PPF)**

Al obtener los datos de las variables anteriores de las cinco cosechas, esta variable se calculó, dividiendo el peso total de frutos por planta (PTFPP) entre el número de frutos por planta (NFPP).

## **Evaluación del contenido de minerales**

Para la obtención de los datos de la concentración del contenido de minerales, se juntaron los frutos de las cuatro plantas de cada tratamiento, posteriormente se pesaron en una báscula digital (Marca: VINSON) aproximadamente 200 gr por tratamiento, las variables que se determinaron fueron; Contenido de Potasio en el fruto (CKF), contenido de Calcio en el fruto (CCaF), contenido de Magnesio en el fruto (CMgF) y contenido de Fosforo en el fruto (CPF).

## **Determinación del contenido de P, K, Ca, y Mg**

Los frutos fueron cortados longitudinalmente con un cuchillo de plástico para favorecer el deshidratado del mismo fueron colocados a una temperatura de aproximadamente 40 °C por tres días. Posteriormente la muestra se colocó en una estufa de secado (MAPSA ) a una temperatura de 60 °C por tres días, una vez seca la muestra, se molió en un mortero de parcelada, por lo tanto se lavaron los crisoles con agua destilada y se dejaron secaron a temperatura ambiente, con el fin de favorecer la perdida de humedad, con el ayuda de una balanza analítica se pesaron 0.500 g de la muestra ya triturada, se procedió a colocarla en un crisol, posteriormente se empleó el método de digestión por calcinado y se llevó acabo un pre calcinado, por lo tanto en se colocó el crisol en una parrilla durante 10 a 15 minutos, con el fin de volatilizar los carbonos orgánicos y se retiró la muestra de pre calcinación y se llevó acabo la calcinación dicha muestra en una mufla (Thermo scientific) a una temperatura de 600 °C, durante cada hora se subió la temperatura a 200 °C, 400 °C y cuando se cambió a la siguiente hora a 600 °C, se dejó durante cuatro horas, de tal manera dicho procedimiento transcurrió en seis horas, posteriormente cuando llego a la temperatura deseada se apagó el equipo y al día siguiente se abrió la mufla. Posteriormente a la muestra calcinada se le agregaron 5 mL de ácido clorhídrico, posterior a ello se filtró y se aforo con agua desionizada a 50 mL, una vez aforada la muestra se colocó en un frasco de plástico y se llevó

acabo la lectura de la muestra en un espectrofotómetro de absorción atómica (GBC, XplorAA).

Los datos obtenidos del equipo se calcularon con la siguiente formula:

$$\text{Elemento ug / g} = \frac{(C)(V)(Fd)}{W}$$

C = Lectura en el instrumento

V = Volumen de dilución

W = Peso de la muestra

Fd = Factor de dilución

$$Fd = \frac{\text{Vol. aforación de la muestra}}{\text{Vol. de la alicuota}}$$



**Figura 3.** Análisis de las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica (Marca: GBC Modelo: XplorAA). Laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Horticultura.

## Determinación del contenido de fósforo (P)

Para determinar la concentración del fósforo (Figura 4), se empleó el método por medio de colorimetría. De la misma muestra digerida para el equipo de absorción atómica se utilizó para la determinación de la concentración del fosforo, con el ayuda de una micropipeta (GLASSCO) se tomó una alícuota de un 1 mL de la muestra y se colocó en un tubo de ensaye (perfectamente lavado con jabón libre de fosforo y enjuagado tres veces con agua des ionizada), después con una pipeta se le agrego 5 mL de una solución de molibdato de amonio y 2 mL de solución ANSA, de manera manual se agito el tubo de ensaye con el fin de mezclar las soluciones (se dejó reposar por 20 minutos). Posteriormente se procedió a leer la muestra en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 650 nm.

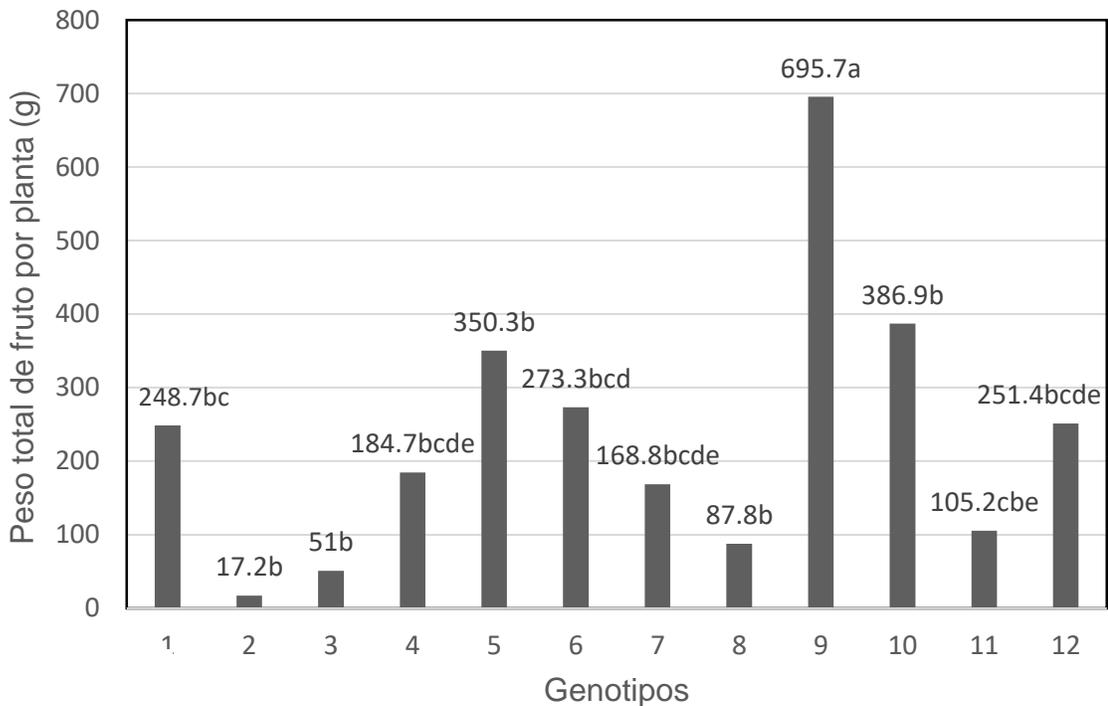


**Figura 4.** Determinación del contenido de P. Laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Horticultura.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Peso total de frutos por planta

El análisis de varianza realizado para la variable exhibió diferencias significativas entre genotipos ( $p \leq 0.01$ ). La Figura 5 muestra que el genotipo 9 presentó el mayor peso total de frutos por planta con 695.7 g, resultando significativamente superior a siete genotipos, el genotipo 9 superó en 79.481% al genotipo que se ubicó en segundo lugar. Es importante señalar que los rendimientos obtenidos son el resultado de 5 cortes de fruto, aunque algunos tuvieron un menor comportamiento en rendimiento de fruto, porque tuvieron ciclos muy tardíos. El genotipo 2, presentó el menor peso total de frutos por planta con 17.2 g planta<sup>-1</sup>.



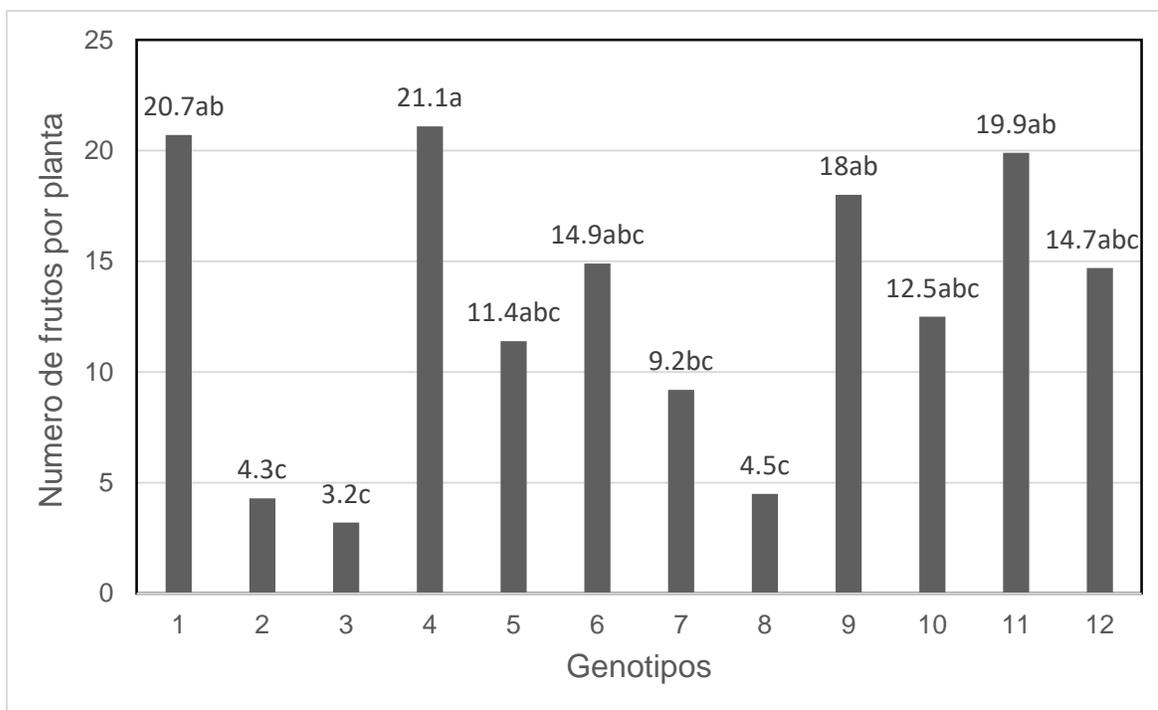
**Figura 5.** Peso total de frutos por planta de genotipos de Chile jalapeño resultantes de procesos de selección. Genotipos con diferentes letras son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, se mostró que siete de los 12 genotipos de chile que fueron evaluadas, fueron diferentes del genotipo que exhibió el mayor rendimiento de fruto y concuerda con lo reportado por Escalera-Ordaz *et al.* (2019), quienes corroboraron que en un cultivo de *C. pubescens*, existió también observó variabilidad. Por otra parte, Luna *et al.* (2021), encontraron diferencias significativas entre genotipos de chile, y donde presentaron los más altos valores de 2, 735.5 y 2, 764 g planta<sup>-1</sup>. Sin embargo, estos valores presentados, son más altos que lo encontrado en la presente investigación, debido a que en este trabajo se consideró 20 cortes.

### **Número de frutos por planta**

Para la variable Número de frutos por planta, el análisis estadístico realizado, demostró diferencias significativas entre los 12 genotipos estudiados ( $p \leq 0.01$ ). Siendo el genotipo cuatro el que presentó el mayor número de frutos por planta con un total de 21.1, resultando significativamente igual a los genotipos 1, 5, 6, 9, 10, 11 y 12, y superando significativamente a los genotipos 2, 3, 7 y 8 (Figura 6).

El genotipo 4 supero en 17.22% al genotipo 9, aunque fueron significativamente iguales, aunque en la variable anterior el genotipo 9 supero al genotipo 4 en 98.6%, considerándose el genotipo 9 como prometedor si se consideran las dos variables anteriores.



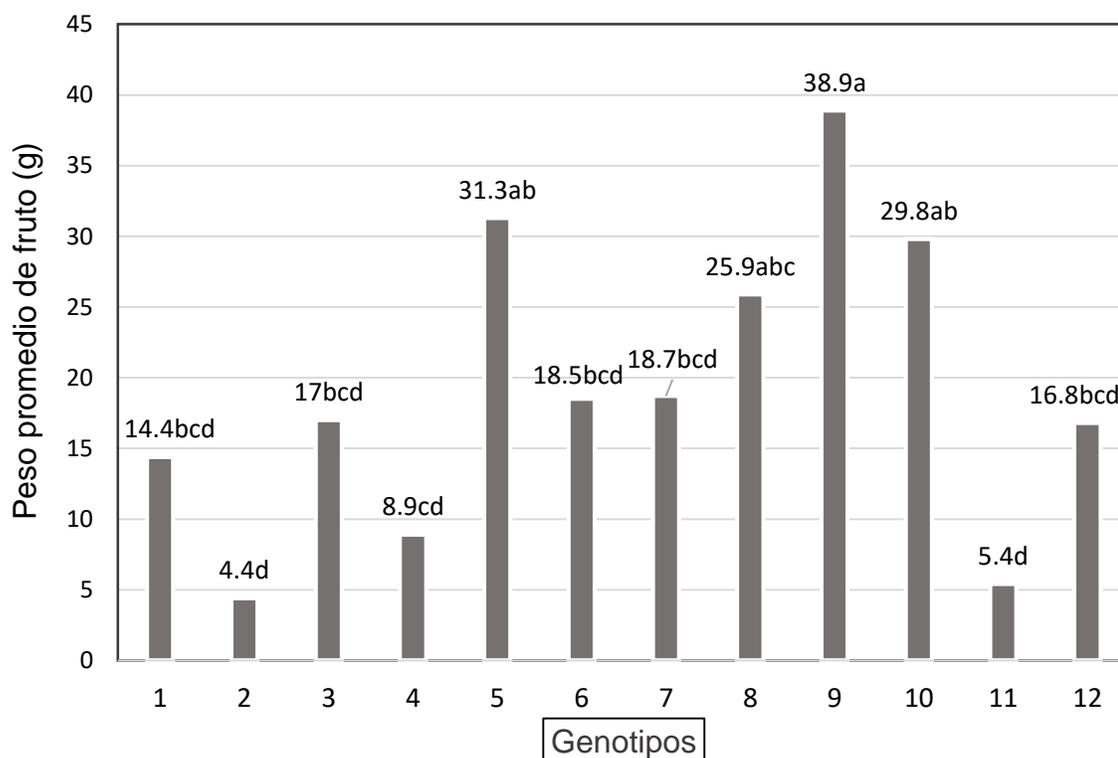
**Figura 6.** Número total de frutos por planta de genotipos de chile jalapeño resultantes de procesos de selección. Genotipos con diferentes letras son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

El genotipo de chile 4, presentó el más alto número de frutos con un valor superior a los 20 frutos por planta, lo que lo hace la variedad más fructífera de las 12 variedades evaluadas, y que de acuerdo a investigadores como May *et al.* (2010), fueron valores superiores a lo reportados por estos investigadores, ya que obtuvieron de 5.8 a 12.2 frutos de pimiento por planta. Así mismo, Toledo-Aguilar *et al.* (2011), presentaron una gran variabilidad en el rendimiento de fruto de 21 variedades nativas de chile poblano, en un rango de 1.6 a 9.6 t ha<sup>-1</sup>. Donde, además, se obtuvieron valores donde el híbrido Doroteo presentó 4.2 y el miahuateco 3 frutos por planta.

### **Peso promedio de fruto**

El análisis de varianza realizado para la variable peso promedio de fruto (Figura 7), demostró alta diferencia significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre los genotipos de chile evaluadas

en el experimento. Siendo el genotipo 9, el cual presentó el mayor peso promedio de fruto con 38.9 g·fruto<sup>-1</sup>, aunque fue significativamente igual a los genotipos 5, 8 y 10. Superando significativamente a ocho genotipos, de estos algunos alcanzaron frutos del peso promedio del chile tipo serrano, pero los cuatro de mayor peso se ajustan más al peso o incluso llegan a superar el peso promedio de un chile tipo jalapeño.



**Figura 7.** Peso promedio de fruto de 12 genotipos de chile jalapeño resultantes de procesos de selección. Genotipos con diferentes letras son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Medina *et al.* (2006), mencionan que variables como el espesor de pulpa, peso, longitud y volumen de fruto han sido reportadas como características de gran importancia en la explicación de la variación que existe dentro del género *Capsicum*, de acuerdo a lo encontrado en el presente estudio concuerda por lo reportado con estos autores, porque se identificaron diferentes grupos de las diferentes características en función con el fenotipo, lo que representaría la

variación del género *Capsicum*. Además, Lannes *et al.* (2007), mencionan que el peso de fruto es una de las características más importantes que demanda el mercado, ya que los frutos más grandes suelen ser los más vistosos, y que, además, si presentan un pericarpio más grueso se verá reflejado en el manejo postcosecha. Cabe mencionar, que estos resultados obtenidos, muestran variabilidad en el peso del fruto entre variedades, al igual que Toledo-Aguilar *et al.* (2011), quienes reportaron variabilidad y distintos rangos de peso que iban de los 4.69 g hasta los 24.8 g.

### **Contenido de fósforo en el fruto**

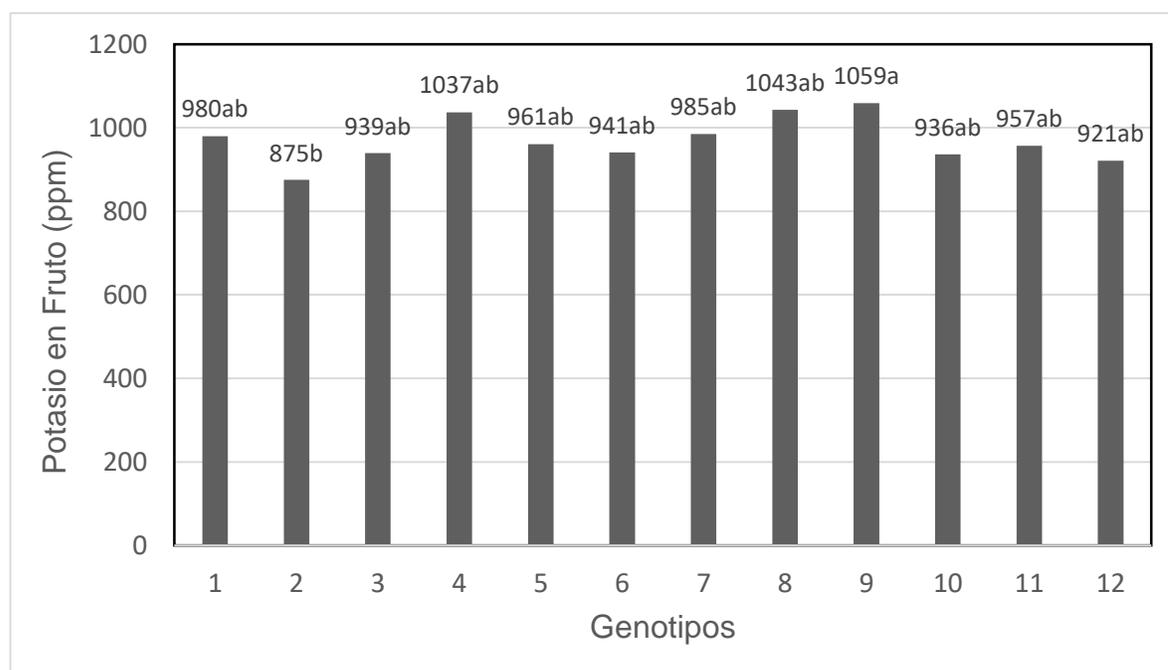
En cuanto al contenido de Fósforo que fue determinado en el fruto a los 12 genotipos de Chile, el análisis de varianza realizado demostró no tener diferencia estadística entre las variedades de chiles evaluadas. Por lo que todas las variedades contienen la misma cantidad de este elemento. El contenido de Fósforo que presentaron las variedades, se encuentra en un rango de 29.24 a 49.45 ppm de P. Aunque el tratamiento 11 supera en 69% al genotipo 1, fueron significativamente iguales y en productividad el tratamiento 11 no es sobresaliente, podría decirse que es de baja productividad.

Es preciso mencionar que Pardey *et al.* (2009), han reportado que existe una amplia variabilidad de caracteres morfológicos que presenta el género *Capsicum*, que se ha observado en distintos trabajos. Sin embargo, para la variable de contenido de fósforo en el fruto, fue igual para las 12 variedades de Chile que fueron evaluadas. Por lo que estos resultados, concuerdan con autores como Palacios y García (2009), quienes mencionan que las diferentes especies pertenecientes al género *Capsicum* comparten rasgos en común. Este rasgo en común, puede ser el contenido de fósforo en el fruto, ya que su comportamiento fue igual entre las 12 variedades de Chile evaluadas. No obstante, Inzunza-Ibarra *et al.* (2010), reportaron que las concentraciones de fósforo en Chile jalapeño que fueron determinadas en su investigación, presentaron diferencias significativas, y que fue debido al manejo

del riego y acolchado, sin embargo, a las variedades evaluadas del experimento se les dio el mismo riego para todos los genotipos, pero habría de suponer que el contenido de fósforo fuera diferente entre variedades, si se les diera un manejo diferente. Por su parte, Chávez-Servia *et al.* (2016), reportaron concentraciones de P, en morfotipos de chiles como el Agua, Solterito y Tabiche con más de 400 mg·100 g<sup>-1</sup>.

### Contenido de potasio en el fruto

Para la variable evaluada del contenido de Potasio en el fruto (Figura 8), el análisis de varianza realizado, exhibió diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las variedades de Chile evaluadas. Siendo el genotipo de Chile 9, el que presentó el mayor contenido de Potasio en el fruto, con un total de 1059 ppm de K por cada 100 g, aunque fue significativamente igual a 10 genotipos restantes y solo superó significativamente al genotipo 2, al cual superó en 21%. Lo antes expuesto indica que en general todos los genotipos excepto el genotipo 2, aportan cantidades similares de éste importante elemento desde el punto de vista nutricional.



**Figura 8.** Contenido de Potasio en fruto de 12 genotipos de chile jalapeño resultantes de procesos de selección. Genotipos con diferentes letras son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Epstein (1994), menciona que el potasio, es de gran importancia como osmolito para las plantas y también resulta ser benéfico para la nutrición humana.

Por su parte, Chávez-Servia *et al.* (2016), reportaron la variación de contenidos minerales en variedades de chile, y el contenido de minerales en los frutos de *Capsicum* es afectado por factores genéticos, que están sumamente relacionados con la especie y o variedad, además, del estado de maduración del fruto y las prácticas agrícolas de manejo, así como las condiciones ambientales donde se desarrollan.

El contenido de Potasio de las 12 variedades de chile evaluadas en la presente investigación, se encuentra dentro de un rango de 850 a 1050 ppm de K, y de acuerdo a Khadi *et al.* (1987) y Ribes-Moya *et al.* (2014), quienes reportaron valores de K en frutos de chile de 1509 a 5180 mg 100 g<sup>-1</sup> de peso seco, por lo que estos resultados nos muestran que las determinaciones de K en chile observadas en éste trabajo, están por debajo de las reportadas por estos autores. Además, en cuanto al K, Bugarín-Montoya *et al.* (2002), han reportado que este elemento es el más extraído.

### **Contenido de calcio en el fruto**

Para la variable contenido de Calcio en el fruto determinado en 12 variedades de chiles, el análisis de varianza realizado, no mostró diferencias significativas, a pesar de encontrar un rango de 6.74 a 48.19 ppm de Ca, aunque las diferencias fueron muy altas, no se observaron diferencias significativas, debido probablemente a que se observó un alto coeficiente de variación, probablemente debido a errores de muestreo, ya que los suelos y el agua de ésta región presentan altos valores de

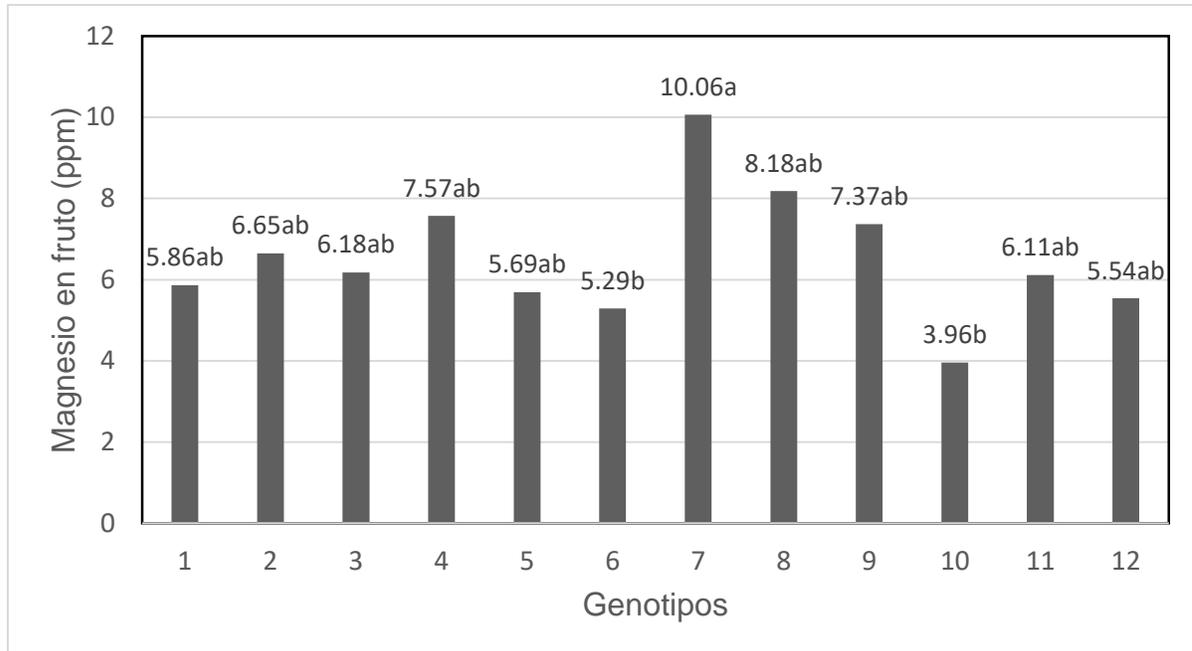
calcio, que deberían de inducir valores más uniformes a menos que la variación entre plantas dentro de cada genotipo fuese muy alta, lo cual no es posible ya que las variedades estudiadas tienen seis ciclos de autofecundación. Broadley *et al.* (2008), reportaron que, en las plantas, el porcentaje de calcio oscila entre 0.02 a 13.1 %.

En cuanto a los resultados obtenidos en la presente investigación, difiere con lo reportado por Chávez-Servia *et al.* (2016), quienes reportaron en sus resultados diferentes cantidades de calcio, en poblaciones de chile piquín se encontraron 300 mg de Ca 100 g<sup>-1</sup> y en los chiles tipo Tabiche 75.1 mg de Ca 100 g<sup>-1</sup> de peso seco, lo que indica que son valores superiores a lo encontrado en la presente investigación.

Por su parte Miranda *et al.* (2006), mencionan que una mayor disponibilidad de agua y el incremento de la temperatura del suelo, promueven una mayor producción de materia seca, lo que se refleja en una mayor extracción de nutrientes y mayor rendimiento de fruto en chile jalapeño.

### **Contenido de magnesio en el fruto**

El análisis de varianza realizado a la variable contenido de Magnesio en el fruto de chile, se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las 12 variedades estudiadas. La figura 9 muestra que el genotipo 7 fue la que exhibió el mayor contenido de Magnesio, superando en 23% al segundo mejor genotipo que fue el 8, el cual fue significativamente igual al resto de las variedades estudiadas. El genotipo 7 supero en 154% a la variedad que presento el contenido más bajo de Mg en fruto.



**Figura 9.** Contenido de Magnesio en fruto de 12 genotipos de chile jalapeño resultantes de procesos de selección. Genotipos con diferentes letras son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Los resultados obtenidos en la presente investigación, concuerdan con lo reportado por Chávez-Servia *et al.* (2016), quienes, al evaluar el contenido de minerales en frutos de cinco morfotipos de chile, mostraron diferencias significativas en el contenido de magnesio, así como de calcio. Además, mismos autores, mencionan que el chile es un alimento que provee de un alto valor nutricional, y que 100 g de peso seco, pueden satisfacer la necesidad diaria de magnesio hasta 330 mg. Por su parte Salazar-Jara *et al.* (2016), concluyeron que los índices de extracción nutrimental para un cultivo de chile húngaro, de acuerdo a una meta de rendimiento ( $\text{Kg t}^{-1}$  de producto cosechado), para el magnesio es de 0.2 Kg de Mg, además 3.1 Kg para N, 0.4 Kg de P, 4.2 Kg de K y 1 Kg de Ca, lo que nos indica que el elemento magnesio es el macronutriente que la planta necesita en menor cantidad, si se compara con los 4.2 Kg de K que requiere para producir una tonelada de fruto. Sin embargo, no deja de ser un elemento importante para la fotosíntesis.

## **CONCLUSIONES**

La variedad de chile 9 evaluada en condiciones de invernadero en suelo con acolchado plástico, destacó por ser la que obtuvo el mayor rendimiento, peso promedio de fruto y contenido de potasio en el fruto de chile, este último reflejándose en el rendimiento de la planta y por lo tanto como la variedad más destacada.

En las variedades estudiadas se observó alta variabilidad, lo cual permite hacer selección por rendimiento y por calidad de fruto.

Otra característica observada en las poblaciones estudiadas también se observó tolerancia a enfermedades radiculares, ya que originalmente se cosecharon las que sobrevivieron al problema antes citado.

## LITERATURA CITADA

- Arnon DI, Stout PR (1939) The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*. 14:371-385.
- Bello MA, Pino MT (2000) Metodologías de fertirrigación. Instituto de las investigaciones agropecuarias. 22 p.
- Bregliani M, Temminghoff W, Riemsdijk V, Haggi ES (2006) Nitrogen fractions in arable soils in relation to nitrogen mineralization and plant uptake mabel. *Commun. Soil Sci. Plan. Anal.* 37: 1571-1586.
- Broadley MR, Hammond JP, King GJ, Astley D, Bowen HC, Meacham MC, Mead A. Pink DAC, Teakle GR, Hayden RM, Spracklen WP, White PJ (2008) Shoot calcium and magnesium concentrations differ between subtaxa, are highly heritable, and associate with potentially pleiotropic loci in *Brassica oleraceae*. *Plant Physiology* 146: 1707–1720.
- Bugarín MR, Galvis SA, Sánchez GP, García PD (2002) Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra*. 20: 391-399.
- Chávez-Servia JL, Vera-Guzmán AM, Carrillo-Rodríguez JC, Heredia-García E (2016) Variación en contenido de minerales en frutos de variedades autóctonas de Chile (*Capsicum annuum* L.), cultivadas en invernadero. *Revista de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*. ISSN 0121-4004 / ISSNe 2145-2660. Volumen 23 número 1.
- De la Cruz-Lázaro E, Márquez-Quiroz C, Osorio-Osorio R, Preciado-Rangel P, Márquez-Hernández C (2017) Caracterización morfológica in situ de Chile silvestre pico de paloma (*Capsicum frutescens* L.) en Tabasco, Mexico. *Acta Universitaria*. 27(2):10-16.
- Epstein E (1994) The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91: 11–17.

Epstein E (1999) Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50: 641–664.

Escalera-Ordaz AK, Guillén-Andrade H, Lara-Chávez MBN, Lemus-Flores C, Rodríguez-Carpena JG, Valdivia-Bernal R (2019) Caracterización de variedades cultivadas de *Capsicum pubescens* en Michoacán, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, No. 3. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2023>

Fageria NK (2009) The use of nutrients in crop plants. CRC Press. Taylor and Francis Group. 430 p.

Fageria NK, Gheyi HR (1999) Efficient crop production. Campina Grande, Brazil: Federal University of Paraiba. 547 p.

Fageria NK, Souza CMR (1991) Upland rice, common bean and cowpea response to magnesium application on a Oxisol. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 22:1805-1816.

Fagro de México (2019) Guía Técnica para el Cultivo de Chile Dulce. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. Etapas fenológicas del cultivo de chile. <https://blogdefagro.com/2019/09/26/etapas-fenologicas-del-cultivo-del-chile/>. Consultado el 22 de diciembre de 2022.

Fideicomiso de Riesgo Compartido (2017) Chile, producto tradicional de la gastronomía mexicana. Gobierno de México. [https://www.gob.mx/firco/articulos/chile-producto-tradicional-de-la-gastronomia-mexicana?idiom=es#:~:text=El%20tallo%20es%20erguido%2C%20ramoso,blanco%20o%20purp%C3%BAreo%20cuando%20inmaduro](https://www.gob.mx/firco/articulos/chile-producto-tradicional-de-la-gastronomia-mexicana?idiom=es#:~:text=El%20tallo%20es%20erguido%2C%20ramoso,blanco%20o%20purp%C3%BAreo%20cuando%20inmaduro.). Consultado el 22 de diciembre de 2022.

Hasanuzzaman M, Borhannuddin MHM, Nahar K, *et al.* (2018) Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses. *Agronomy*, 8: 31, doi:10.3390/agronomy8030031.

- Havlin JL, Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD (1999) Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Prentice-Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Hernández-Leal E, Lobato-Ortiz R, García-Zavala JJ, Reyes-López D, Méndez-López A, Bonilla-Barrientos O, Hernández-Bautista A (2013) Comportamiento agronómico de poblaciones F2 de híbridos de tomate. Rev. Fitotec. Mex. 36(3):209-215.
- INIFAP (2003) El cultivo de chile serrano en la zona media de San Luis Potosí. SAGARPA. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/125.pdf>. Consultado el día 22 de diciembre de 2022.
- Intagri (2020) Tipos de chiles. <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/tipos-de-chiles>. Consultado el 22 de diciembre de 2022.
- Inzunza-Ibarra, MA, Villa-Castorena M, Catalán-Valencia EA, Román-López A (2010) Extracción de nutrientes y producción de chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 211-218.
- Jovicich, E, Vansickle, J.J, & Cantliffe D.J. (2005) Greenhouse-grown Colored peppers: a profitable alternative for vegetable production in Florida. *Hortechology*.15(2), 355-369.
- Kafkafi U (2005) Global Apects of Fertigation Usage. In: Optimizing the Utilization of Water and Nutrients. International Symposium on fertigation. Beijing/China. 183 p.
- Khadi BM, Goud JV, Patil VB (1987) Variation in ascorbic acid and mineral content in fruits of some varieties of chilli (*Capsicum annuum* L.) *Plant Foods Hum Nutr.* 37(1): 9-15.
- Kononova SV, Nesmeyanova MA (2002) Phosphonates and their degradation by microorganisms. *Biochemistry* 67: 184-195.

- Lannes SD, Finger FL, Schuelter AR, Casali VWD (2007) Growth and quality of Brazilian accessions of *Capsicum chinense* fruits. *Sci. Hortic.* 112(3):266-270.
- Locascio JS (2005) Fertigation in Micro-irrigated Horticultural Crops: Vegetables. Optimizing the Utilization of Water and Nutrients. International Symposium on fertigation. Beijing/China. 183 p.
- Luna-García LR, Robledo-Torres V, Ramírez-Godina F, Mendoza-Villarreal R, Pérez-Rodríguez MÁ, Gordillo-Melgoza FA (2021) Comportamiento agronómico y nutracéutico de poblaciones F2 desarrolladas de cruces interraciales de Chile. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1), 23-36.
- Marschner H (1986) Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Londres. pp. 7-73, 285-299.
- Marschner H (1995) Mineral nutrition of Higher Plants Academic Press. Second Edition. 196 p.
- May P, Anastácio M, Castañón-Nájera G, Tun-Suárez JM, Mendoza-Elos M, Mijangos-Cortés JO, Latournerie-Moreno L (2010) Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de Chile dulce (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):353-360.
- Medina CI, Lobo M, Farley GA (2006) Variabilidad fenotípica en poblaciones de ají y pimentón de la colección colombiana del género *Capsicum*. *Rev. Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria.* 7(2):25-39.
- Metalizar (2015) Tecnología e Innovación a tu alcance. <http://www.hortalizas.com/cultivos/tutorado-en-tomates-y-pimientos/>.
- Mills HA, Jones B (1996) Plant Analysis Handbook II. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, GA, USA.
- Miranda FR, Gondim RS, Costa CA (2006) Evapotranspiration and crop coefficients for Tabasco pepper (*Capsicum frutescens* L.). *Agric. Water Manage.* 82: 237-246.

- Missouri Botanical Garden (sf) *Capsicum annuum*. *Tropicos.org*. Consultado el 26 de diciembre de 2022.
- Mulder EG (1958) Chemical abstracts. 53: 2518 i.
- Negassa W, Leinweber P (2009) How does the Hedley sequential phosphorus fractionation reflect impacts of land use and management on soil phosphorus: A review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172: 305-325.
- Nuez F, Ramiro G, Costa J (1996) *El cultivo de pimientos, chiles y ajíes*. Madrid: Mundi-prensa. ISBN: 84-7114-609-6.
- Päivitetty (2015) *C. annuum* en Inferno Chili. <https://www.infernochili.net/?page=c-annuum>. Consultado el 25 de diciembre de 2022.
- Palacios S, García MA (2009) Caracterización morfológica de 93 accesiones de *Capsicum* spp del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombiana Sede Palmira. *Acta Agron.* 57(4):247-252.
- Panorama (2018) Guía de majeo del chile. *Revista de Agricultura*. [https://panorama-agro.com/?page\\_id=2321](https://panorama-agro.com/?page_id=2321). Consultado el 25 de diciembre de 2022.
- Pardey RC, García DMA, Vallejo CFA (2009) Evaluación agronómica de accesiones de *Capsicum* del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. *Acta Agron.* 58(1):23-28.
- Rasche JW, Cabral CC, Muller EA, *et al.* (2016) Fertilización fosfatada y encalado y su efecto sobre el desarrollo, productividad y ataque del barrenador en caña de azúcar. *Centro Agrícola*, 43 (1): 36 - 43.
- Ribes-Moya A, Pereira L, Guijarro-Real C, Raigon MD, Fita AM, Rodríguez-Burruezo A (2014) Mineral content in *Capsicum* pepper landraces: effect of the genotype and the ripening stage. *Bull UASVM Hort.* 72(2): 2519-260.

- Rice RW (2007) The physiological role of mineral in the plant. In: Mineral nutrition and plant disease, L.E. Datnoff, W.H. Elmer, and D.M. Huber, Eds., 9-29. St. Paul, Minnesota: The American Phytopathological Society.
- Sabillón GN, Merkley GP (2004) Fertigation guidelines for furrow irrigation. Spanish Journal of Agricultural Research. 2, 576–587.
- Salazar-Jara FI, Juárez-López P, Bugarín-Montoya R, Alejo-Santiago, G, García-Paredes JD, Cruz-Crespo E (2016) Extracción de macronutrientes en chile (*Capsicum annuum* L.) tipo húngaro. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 7(8), 2055-2061.
- Salisbury F, Ross C (1994) Fisiología Vegetal. Cuarta edición. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. México, D.F. pp. 3-177.
- Sánchez-Sánchez H, González-Hernández VA, Cruz-Pérez AB, Pérez-Grajales M, Gutiérrez-Espinosa MA, Gardeja-Bejar AA, Gómez-Lim MA (2010) Herencia de capsaicinoides en chile manzano (*C. pubescens* R. y P.). Agrocienca. 44(6):655-665.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2015) Breve pero picante historia del chile. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/breve-pero-picante-historia-del-chile#:~:text=Algunos%20bot%C3%A1nicos%20opinan%20que%20el,existe%20en%20estas%20dos%20regiones>. Consultado el 22 de diciembre de 2022.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2019) Cinco cosas que hay que saber del pimiento morrón. Gobierno de México. febrero de 2022 en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cinco-cosas-que-hay-que-saber-del-pimiento-morron>. Consultado el día 08 de febrero de 2022.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México, principal exportador mundial de pimientos frescos: Agricultura. Gobierno de México. 2022. Disponible en:

<https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-principal-exportador-mundial-de-pimientos-frescos-agricultura?idiom=es>.

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Social (2020) El chile es parte de nuestra riqueza mexicana. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-chile-es-parte-de-nuestra-riqueza-mexicana#:~:text=El%20chile%20en%20M%C3%A9xico%20es,la%20alimentaci%C3%B3n%20y%20la%20agricultura>. Consultado el día 21 de diciembre de 2022.

Servicio de Información Agrícola y Pesquera (2020) Cierre de la producción agrícola. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado el día 13 de febrero de 2022.

Servicio de Información Agrícola y Pesquera (2021) Cierre de la producción agrícola. Anuario estadístico de la producción Agrícola.

Servicio de Información Agrícola y Pesquera (2022a) Cierre de la producción agrícola. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta 9 de agosto de 2022.

Servicio de Información Agrícola y Pesquera (2022b) Cierre de la producción agrícola. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta 21 de diciembre de 2022.

Simonne, EH, Eakes DJ, Harris CE (1998) Effects of irrigation and nitrogen rates on foliar mineral composition of bell pepper. J. Plant Nutr. 21: 2545-2555.

Toledo-Aguilar R, López-Sánchez H, Antonio-López P, Guerrero-Rodríguez JD, Santacruz-Varela A, Huerta-de la Peña A (2011) Características vegetativas,

reproductivas y de rendimiento de frutos de variedades nativas de Chile "poblano". *Revista Chapingo. Serie horticultura* , 17 (3), 139-150.

Traxco (2016) El cultivo de Chile. <https://www.traxco.es/blog/produccion-agricola/cultivo-de-chile>. Consultado el 22 de diciembre de 2022.

Urrestarazu Miguel (2004) *Tratado de cultivo sin suelo* (3ra edición). Madrid: Mundi-Prensa. ISBN: 84-8476-139-8.

White AK, Metcalf WW (2007) Microbial metabolism of reduced phosphorus compounds. *Annu Rev Microbiol.* 61: 379-400.

White PJ, Davenport RJ (2002) The voltage-independent cation channel in the plasma membrane of wheat roots is permeable to divalent cations and is involved in cytosolic Ca<sup>2+</sup> homeostasis. *Plant Physiol.* 130, 1386-1395.

Yiasoumi WL, Rogers EL (2005) Farm water quality and its treatment. *Agfact AC.2*, 9 edition. NSW Department of Primary Industries.