



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

**RESPUESTA AGRONÓMICA DE *Capsicum annuum* L. A DIFERENTES  
NIVELES HÍDRICOS EN SUSTRATO Y BIOESTIMULANTE FOLIAR**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA**

**PRESENTA**

**ROSA IZEL CASANOVA CALZADA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. SIGFRIDO DAVID MORALES FERNÁNDEZ**

**San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2024.**



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

**RESPUESTA AGRONÓMICA DE *Capsicum annuum* L. A DIFERENTES NIVELES HÍDRICOS EN SUSTRATO Y BIOESTIMULANTE FOLIAR**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA**

**PRESENTA**

**ROSA IZEL CASANOVA CALZADA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. SIGFRIDO DAVID MORALES FERNÁNDEZ**

**ASESORES**

**DR. JUAN MANUEL BARRIOS DÍAZ  
DRA. DELIA MORENO VELÁZQUEZ  
M.C. FABIEL VÁZQUEZ CRUZ**

**San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2024.**

La presente tesis titulada: Respuesta agronómica de *Capsicum annuum* L. a diferentes niveles hídricos en sustrato y bioestimulante foliar, y realizada por Rosa Izel Casanova Calzada, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo Particular integrado por:

Firma

Director: Dr. Sigfrido David Morales Fernández



Asesor: Dr. Juan Manuel Barrios Díaz



Asesor: Dra. Delia Moreno Velázquez

Moreno Velázquez Delia

Asesor: M. C. Fabiel Vázquez Cruz

Fabiel Vázquez Cruz

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2024.

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: **BUAP-CA-313 Manejo integral de cultivos agrícolas** y de la Línea de Investigación: **Cambios fisiológicos, fisicoquímicos y bioquímicos en el manejo de cultivos y productos hortofrutícolas**. Dicho trabajo, fue financiado con recursos propios.

## DEDICATORIA

*Con mucho cariño:*

*A mis padres Cecilia Calzada Vázquez y Andrés Casanova de Jesús quienes me han enseñado el significado de la perseverancia, esfuerzo y dedicación. Gracias por siempre estar a mi lado, por apoyarme en cada paso y por darme las herramientas necesarias para cumplir mis objetivos. Gracias mamá por ser mi mayor apoyo, todos mis logros son gracias a ti. Te quiero mucho mami.*

*A mis hermanas Anahí y Lizbeth, por apoyarme siempre. Gracias por estar presentes en todo momento, por alentarme a seguir haciendo lo que me gusta, por cuidarme desde que era bebé y por nunca dejarme sola. Ustedes siempre han sido mi ejemplo a seguir.*

*A mi abuelita Doro, quien le ha dado más alegría a mi vida. Gracias por tus enseñanzas, por tu amor, por todos esos abrazos que has dado y por mostrarme el verdadero significado de la familia.*

*A mi novio Victor Hugo Urrieta Huerta, gracias por tu amor, por tu compañía y por apoyarme incondicionalmente en todo momento. Tu eres mi motivación para aspirar un futuro mejor, eres el claro ejemplo de la perseverancia, recordándome que todo esfuerzo tiene su recompensa. Te quiero mucho ♡*

*A mi amiga Dani Romero, mi compañera de aventuras y aprendizajes, quien estuvo presente en cada paso de este largo recorrido. Gracias por todas esas pláticas, risas y consejos, por tu alegría, por inspirarme a creer en mí, por todo tu apoyo, por nunca dejarme sola y por celebrar mis logros como si fueran tuyos. Muchas gracias.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias por brindarme la oportunidad de estudiar en sus aulas y otorgarme los conocimientos necesarios para formarme profesionalmente en el campo de la Agronomía.

Al Dr. Sigfrido David Morales Fernández, por todo su tiempo, compromiso y dedicación a este trabajo de investigación. Gracias por su paciencia, confianza y por compartir conmigo sus conocimientos en cada etapa de este proyecto. Su apoyo ha sido esencial para mi crecimiento académico y profesional.

Al Dr. Juan Manuel Barrios Díaz, por su apoyo constante en la orientación de esta tesis. Gracias por contagiarme su entusiasmo de seguir aprendiendo y por compartir su conocimiento, resolviendo cada una de mis dudas. Gracias por su tiempo y disposición para hacer este logro posible.

A la Dra. Delia Moreno Velázquez, por su amistad y valiosa contribución en la realización y revisión de esta tesis. Gracias por su apoyo, por compartir su experiencia y por brindarme su orientación en todo momento.

Al M.C. Fabiel Vázquez Cruz, por su tiempo, por sus consejos y por sus importantes aportaciones, las cuales enriquecieron esta investigación. Gracias.

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	3
2.1 Objetivo general .....	3
2.2 Objetivos particulares .....	3
<b>III. HIPÓTESIS</b> .....	4
<b>IV. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
4.1 Origen del género <i>Capsicum</i> .....	5
4.2 Taxonomía .....	5
4.3 Importancia del cultivo de Chile .....	5
4.4 Chile jalapeño .....	7
4.5 Chile serrano .....	7
4.6 Vitamina C .....	7
4.7 Descripción botánica .....	8
4.7.1 Sistema radical .....	8
4.7.2 Tallo .....	8
4.7.3 Hojas .....	9
4.7.4 Flor .....	9
4.7.5 Fruto .....	9
4.7.6 Semilla .....	9
4.8 Fenología del cultivo .....	10
4.8.1 Inducción floral.....	10
4.8.2 Amarre de frutos .....	10
4.8.3 Madurez fisiológica .....	10
4.9 Requerimientos edafoclimáticos .....	11

4.9.1 Sustrato .....	11
4.9.1.1 Tierra de monte .....	11
4.9.1.2 Peat moss o turba .....	12
4.9.1.3 Perlita .....	12
4.9.2 Temperatura .....	12
4.9.3 Grados días de desarrollo (GDD) .....	13
4.9.4 Humedad relativa .....	13
4.10 Manejo agronómico .....	14
4.10.1 Siembra .....	14
4.10.2 Fertilización .....	14
4.10.3 Poda .....	14
4.10.4 Cosecha .....	15
4.10.5 Plagas y enfermedades .....	15
4.10.6 Riego .....	16
4.11 Requerimiento hídrico .....	16
4.12 Capacidad de campo .....	17
4.13 Agua disponible .....	17
4.14 Punto de marchitez permanente .....	17
4.15 Estrés hídrico .....	17
4.16 Eficiencia en el uso del agua .....	18
4.17 Bioestimulantes en la agricultura .....	19
4.18 Hidrolizados de proteínas y aminoácidos .....	19
4.18.1 Glicina betaína .....	20
4.18 Estudios relacionados con bioestimulantes .....	21
<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	22
5.1 Ubicación del experimento .....	22
5.2 Material vegetal .....	22
5.3 Manejo agronómico .....	23
5.3.1 Siembra .....	23
5.3.2 Trasplante .....	23

5.3.3 Fertilización .....	23
5.3.4 Podas .....	23
5.3.5 Riego .....	23
5.4 Bioestimulante .....	26
5.5 Diseño experimental .....	26
5.6 Variables evaluadas .....	27
5.6.1 Número de días y grados día (GD) a floración .....	28
5.6.2 Número de días y grados día (GD) a amarre de fruto .....	28
5.6.3 Número de días y grados día (GD) a madurez fisiológica .....	28
5.6.4 Número de frutos .....	28
5.6.5 Diámetro del fruto (mm) .....	28
5.6.6 Longitud del fruto (mm) .....	29
5.6.7 Peso de frutos por planta (g) .....	29
5.6.8 Peso promedio del fruto (g) .....	29
5.6.9 Altura de planta (cm) .....	29
5.6.10 Materia seca (g) .....	29
5.6.11 Contenido de vitamina C .....	29
5.7 Análisis estadístico .....	30
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
6.1 Temperatura .....	31
6.2 Fenología, rendimiento, biomasa y vitamina C .....	32
6.2.1 Genotipos .....	32
6.2.2 Humedad .....	33
6.2.3 Bioestimulante .....	33
6.3 Efecto del genotipo y la humedad en el sustrato sobre la fenología, rendimiento, biomasa y vitamina C .....	35
6.4 Efecto del genotipo y bioestimulante sobre la fenología, rendimiento, biomasa y vitamina C .....	37
6.5 Efecto de la humedad en el sustrato y el bioestimulante sobre la fenología, rendimiento, biomasa y vitamina C .....	40

6.6 Efecto del genotipo, humedad en el sustrato y el bioestimulante sobre la fenología, rendimiento, biomasa y vitamina C .....	42
6.6.1 Eficiencia en el uso del agua .....	45
<b>VII. CONCLUSIONES</b> .....	47
<b>VIII. LITERATURA CITADA</b> .....	48

## ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
<b>Cuadro 1.</b> Principales estados productores de chile verde, SIAP (2022) .....	6
<b>Cuadro 2.</b> Parámetros de caracterización del sustrato .....	24
<b>Cuadro 3.</b> Tratamientos utilizados en el experimento .....	27
<b>Cuadro 4.</b> Fenología, rendimiento, biomasa y vitamina C en <i>Capsicum annuum</i> L. para los factores genotipo, humedad y bioestimulante .....	34
<b>Cuadro 5.</b> Interacción genotipo por humedad sobre la fenología en el cultivo de chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.) .....	36
<b>Cuadro 6.</b> Interacción genotipo por humedad sobre el rendimiento y sus componentes, biomasa y contenido de vitamina C en el cultivo de chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.) .....	37
<b>Cuadro 7.</b> Interacción genotipo por bioestimulante sobre la fenología en el cultivo de chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.) .....	38
<b>Cuadro 8.</b> Interacción genotipo por bioestimulante sobre el rendimiento y sus componentes, biomasa, y contenido de vitamina C en el cultivo de chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.) .....	39
<b>Cuadro 9.</b> Interacción humedad por bioestimulante sobre la fenología en el cultivo de chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.) .....	40
<b>Cuadro 10.</b> Interacción humedad por bioestimulante sobre el rendimiento sus Componentes, biomasa y contenido de vitamina C en el cultivo de Chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.) .....	41
<b>Cuadro 11.</b> Interacción genotipo por humedad por bioestimulante sobre la fenología en el cultivo de chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.) .....	43
<b>Cuadro 12.</b> Interacción genotipo por humedad por bioestimulante sobre el rendimiento y sus componentes, biomasa y contenido de vitamina C en el cultivo de chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.) .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación del sitio experimental, Google Earth (2023) .....	22
<b>Figura 2.</b> Temperatura máxima, mínima y media del aire registrada durante el ciclo de crecimiento de chile Tampiqueño (T) y Jalapeño (J) .....	31

## RESUMEN

La agricultura es una actividad que, según estimaciones, utiliza alrededor del 70 % del agua dulce disponible en el planeta. Con el aumento de la población y demanda de alimentos, en los próximos años se prevé un incremento considerable en el consumo del agua, situación que resalta la necesidad de adoptar prácticas más eficientes para su uso y manejo. El cultivo de chile al ser una de las especies agrícolas de mayor importancia en México, requiere de la búsqueda de nuevas alternativas de producción que reduzcan los efectos negativos del déficit hídrico. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos niveles de humedad en el sustrato y tres dosis de bioestimulante en el crecimiento, rendimiento y contenido de vitamina C en chile Jalapeño y Tampiqueño en condiciones de invernadero. Se utilizó un diseño completamente al azar en arreglo factorial 2 x 2 x 3 con cinco repeticiones. Las variables respuesta evaluadas fueron número de días y grados día a floración, amarre del fruto y madurez fisiológica, así como diámetro y longitud del fruto, número y peso de frutos por planta, peso promedio del fruto, altura de planta, materia seca y contenido de vitamina C. Los resultados indicaron que la aplicación foliar del bioestimulante no afectó la fenología del cultivo y mitigó los efectos negativos del déficit hídrico cuando las plantas estuvieron sometidas al 55 % de humedad aprovechable. Los tratamientos de ciclo corto, Jalapeño con 100 % de humedad y 1.6 y 6.6 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante tuvieron el mayor peso de frutos por planta (413 g), siendo el diámetro y peso promedio del fruto los componentes que más contribuyeron con el rendimiento. El tratamiento de Tampiqueño bajo déficit hídrico (55 %) y 1.6 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante registró el mayor contenido de vitamina C (0.78 mg·g<sup>-1</sup>).

**Palabras clave:** *Capsicum annuum* L., niveles hídricos, bioestimulante, vitamina C, rendimiento.

## ABSTRACT

Agriculture is an activity that, according to estimates, uses about 70 % of the freshwater available on the planet. With the increase in population and demand for food, a considerable increase in water consumption is expected in the coming years, a situation that highlights the need to adopt more efficient practices for its use and management. The cultivation of chili, being one of the most important agricultural species in Mexico, requires the search for new production alternatives to reduce the negative effects of water deficit. The objective of this research was to evaluate the effect of two moisture levels in the substrate and three doses of biostimulant on the growth, yield and vitamin C content of Jalapeño and Tampiqueño peppers under greenhouse conditions. A completely randomized design was used in a 2 x 2 x 3 factorial arrangement with five replications. The response variables evaluated were number of days and degree days to flowering, fruit set and physiological maturity, as well as fruit diameter and length, number and weight of fruit per plant, average fruit weight, plant height, dry matter and vitamin C content. The results indicated that the foliar application of the biostimulant did not affect crop phenology and mitigated the negative effects of water deficit when the plants were subjected to 55 % of usable moisture. The short cycle treatments, Jalapeño with 100 % moisture and 1.6 and 6.6 g·L<sup>-1</sup> of biostimulant had the highest fruit weight per plant (413 g), with fruit diameter and average fruit weight being the components that contributed most to yield. The Tampiqueño treatment under water deficit (55 %) and 1.6 g·L<sup>-1</sup> of biostimulant had the highest vitamin C content (0.78 mg·g<sup>-1</sup>).

**Key words:** *Capsicum annuum* L., water levels, biostimulant, vitamin C, yield.

## I. INTRODUCCIÓN

El género *Capsicum* es originario del continente americano (Rueda *et al.*, 2016). Incluye más de 30 especies de las cuales *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. pubescens* han sido domesticados y cultivados para su consumo en fresco, seco o procesado (Ramchiary y Kole, 2019).

El chile además de ser considerado como un componente básico en la alimentación de la población mexicana (Rico-Guerrero *et al.*, 2004), destaca por su alto contenido de compuestos fitoquímicos, entre ellos, la vitamina C (Nuez *et al.*, 2003). La cual es un antioxidante esencial en la formación y mantenimiento del material intercelular (Grosso *et al.*, 2013). Dado que los humanos no pueden producir esta vitamina (Kondo *et al.*, 2012), es necesario adquirirla a través de alimentos, encontrándose principalmente en vegetales y frutas frescas (Marsanasco *et al.*, 2011).

Debido a la diversidad de climas, microclimas y suelos presentes en el territorio mexicano (Aguirre y Muñoz, 2015), México alberga la mayor diversidad de especies cultivadas y silvestres, destacando *Capsicum annuum* L., como la de mayor relevancia económica (Latournerie *et al.*, 2010).

Esta especie se cultiva principalmente a cielo abierto en condiciones de temporal y una pequeña parte en invernadero (Aguilar *et al.*, 2010). Sin embargo, la producción intensiva en invernadero se realiza con el objetivo de buscar nuevas alternativas para incrementar la productividad buscando hacer un uso más eficiente del agua (Cadahia, 2005).

El agua al ser uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, su carencia constituye una de las principales fuentes de estrés (Moreno, 2009). En este contexto el estrés hídrico se manifiesta como una respuesta fisiológica cuando hay una disminución de agua disponible en el suelo, causando un desbalance entre la transpiración y la absorción de agua (Hammani *et al.*, 2013).

Se ha comprobado que en *Capsicum* el estrés hídrico afecta principalmente la altura de planta, área foliar y rendimiento (Quintal *et al.*, 2012), además de disminuir el número de flores y la calidad de los frutos (Quesada, 2015).

Ante tal panorama, es necesario buscar alternativas que minimicen los efectos negativos del estrés hídrico, una solución prometedora frente a estos problemas es el uso de bioestimulantes, los cuales son sustancias o microorganismos que estimulan los procesos naturales de las plantas haciéndolas más tolerantes a cualquier tipo de estrés abiótico (European Biostimulants Industry Council, 2012).

Estudios previos han demostrado que el uso de bioestimulantes en la agricultura han tenido resultados satisfactorios. Meriño *et al.* (2013), señalan que el bioestimulante Biobrás-Plus a base de brasinoesteroides aplicado al cultivo de pimiento en condiciones de sequía, demostró una alta actividad antiestrés, mostrando los mejores resultados en plantas sometidas a estrés hídrico y tratadas con este bioestimulante.

Estos estudios adquieren gran relevancia debido a que la agricultura es responsable del 70 % del consumo anual de agua dulce a nivel global (Villalobos *et al.*, 2017). No obstante, existen pocos estudios relacionados con el uso de bioestimulantes bajo estrés hídrico en el cultivo de chile. Es por ello que el objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento, rendimiento y contenido de vitamina C en el cultivo de chile jalapeño y serrano variedad tampiqueño en condiciones de invernadero sometido a dos contenidos de humedad hídrica y tres dosis de bioestimulante.

## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes contenidos de humedad y dosis de bioestimulante en el crecimiento, rendimiento y contenido de vitamina C en chile jalapeño y serrano variedad tampiqueño.

### 2.2 Objetivos específicos

- Determinar en días y grados día las etapas de floración, amarre de fruto y madurez fisiológica.
- Determinar el peso y número de frutos por planta, peso promedio de fruto, longitud y diámetro del fruto, y contenido de materia seca en la planta.
- Determinar el contenido de vitamina C de frutos en estado de madurez fisiológica.

### **III. HIPÓTESIS**

El uso de niveles hídricos bajos en el sustrato (55 %) combinado con una alta dosis de bioestimulante ( $6.6 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) favorecerá el crecimiento, rendimiento y contenido de vitamina C del fruto en el cultivo de chile jalapeño y serrano variedad tampiqueño.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Origen del género *Capsicum*

Rueda *et al.* (2016) consideran que la mayoría de las especies de chile son originarias de América. Evidencia arqueológica ha demostrado que México fue el primer centro de domesticación, años después fueron introducidas a Europa adaptándose en los países del sur del mediterráneo, predominando las variedades no picantes y desde entonces se ha dispersado a numerosos países de Europa, Asia y África, convirtiéndose en un cultivo de uso mundial.

Todos los chiles son del género *Capsicum*, pertenecen a la familia de las Solanáceas, de las 33 especies reconocidas de *Capsicum*, únicamente cinco han sido domesticadas: *C. annuum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L., y *C. pubescens* Ruiz Pav. (Kraft *et al.*, 2014).

Destacando *Capsicum annuum* L. como la más conocida y de mayor importancia económica, México alberga la mayor diversidad de formas cultivadas y silvestres, presentes en todo el país (Latournerie *et al.*, 2010).

### 4.2 Taxonomía

La clasificación taxonómica reconocida por GRIN (2014), se describe a continuación: Reino: *Plantae*, Subreino: *Tracheonionta – vascular plants*, División: *Magnoliophyta – angiospermes*, Clase: *Magnoliopsida – dicotyledons*, Subclase: *Asteridae*, Orden: *Solanales*, Familia: *Solanaceae*, Género: *Capsicum* L., Especie: *Annuum*.

### 4.3 Importancia del cultivo de chile

El chile es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, no sólo por su valor nutricional sino también por ser una fuente de colorantes naturales y compuestos secundarios que se utilizan en la producción de alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos (Aguirre y Muñoz, 2015).

De acuerdo con la FAO (2021), los principales productores a nivel mundial son China (16749718.83 t), Turquía (3091295 t), Indonesia (2747018.03 t), México (2584143.6 t) y Nigeria (759133.99 t).

Según Aguirre y Muñoz (2015), el chile es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel nacional. México destaca con la mayor diversidad genética de *Capsicum* debido en gran parte a la diversidad de climas y suelos presentes en el territorio mexicano. Las variedades que más se cultivan son jalapeño, serrano, poblano, pimiento morrón y habanero.

El SIAP (2022) indica que, en México el chile verde es una hortaliza que ocupa el segundo lugar en producción sólo detrás del tomate. El consumo per cápita es de 14.3 kg. A su vez en 2021 se sembraron 149 mil 694 hectáreas (6.4 %) y se cosecharon 3 millones 87 mil toneladas (7.1 %) menores respecto al año anterior. Sin embargo, la tasa media anual de crecimiento de producción en los últimos 10 años es positiva (2.9 %). El cuadro 1 muestra los principales estados productores de chile verde en el territorio mexicano.

**Cuadro 1. Principales estados productores de chile verde.**

<b>Entidad</b>	<b>Producción (t)</b>
Sinaloa	659,684
Chihuahua	578,522
Zacatecas	426,086
San Luis Potosí	341,216
Sonora	219,877
Jalisco	151,845
Michoacán	130,152
Guanajuato	129,655
Baja California Sur	75,857
Tamaulipas	64,514
Resto	309,334
Total nacional	3,086,742

**Fuente:** SIAP (2022).

#### **4.4 Chile jalapeño**

El chile jalapeño recibe su nombre porque su principal centro de producción se ubicaba en Xalapa, una ciudad mexicana en el estado de Veracruz. Esta variedad, también conocida como cuaresmeños, jarochos o guachinangos, es una de las más cultivadas y consumidas en América dentro de las variedades picantes de *Capsicum annuum* (Nuez *et al.*, 2003; SADER, 2022).

Los frutos son de pericarpio grueso, de forma cónica y alargada de punta redondeada, alcanzando hasta 7 cm de largo y aproximadamente 3 cm de ancho en la base. Son de color verde oscuro cuando están inmaduros y rojos al madurar, muy picantes con 4.000 a 6.000 Unidades Scoville (Saavedra, 2019).

#### **4.5 Chile serrano**

El chile serrano se cultiva principalmente en las regiones norte de los estados de Puebla, Hidalgo y Estado de México. Debido a su amplia aceptación, es el segundo tipo de chile más importante en México, solo superado por el chile jalapeño. Las variedades más frecuentes de chile serrano incluyen Tampiqueña 74 y Paraíso, además de los híbridos Coloso, Centauro y Tuxtlas (Rueda *et al.*, 2016).

Los frutos generalmente son alargados, pudiendo medir desde 2 a 10 cm de largo y 1 cm de ancho aproximadamente. Son muy picantes de color verde oscuro en madurez fisiológica y amarillo, naranjas o rojos en madurez comercial (Nuez *et al.*, 2003).

#### **4.6 Vitamina C**

El ácido ascórbico, comúnmente conocido como vitamina C, es un antioxidante esencial en la formación y mantenimiento del material intercelular (Grosso *et al.*, 2013). Contribuye a disminuir los efectos dañinos de los radicales libres y ayuda a mejorar la absorción de hierro no hemínico (Shaik-Dasthagirisaheb *et al.*, 2013). La carencia de esta vitamina, en los seres humanos, puede causar hemorragias, así como una deficiente capacidad de cicatrización y lento proceso de curación de las heridas (Chawla y Kvarnberg, 2014).

De acuerdo con Kondo *et al.* (2012), los seres humanos no son capaces de producir ácido ascórbico, por lo que es necesario adquirirlo a través de los alimentos. Esta vitamina se

encuentra principalmente en vegetales y frutas frescas, y debido a que es soluble en agua su acumulación en el cuerpo es limitada por lo que es importante garantizar su ingesta diaria (Marsanasco *et al.*, 2011).

Diversos estudios bioquímicos, clínicos y epidemiológicos, recomiendan en adultos una ingesta diaria de 100 mg con el fin de alcanzar una saturación celular y reducir el riesgo de enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares y cáncer en personas sanas (Hironaka *et al.*, 2011).

Una fuente rica en vitamina C es el chile, el cual puede contener hasta seis veces más vitamina C que una naranja, estos frutos desde la etapa verde hasta la roja contienen suficiente vitamina C para cumplir o superar la dosis diaria recomendada para adultos (Bosland y Votava, 2000).

En particular, el chile verde destaca por su alto contenido en vitamina C, el cual varía entre 70 y 300 mg por cada 100 g de peso fresco. Cabe resaltar que el contenido de vitamina C puede verse afectado por varios factores agronómicos entre los que destacan: cultivo realizado al aire libre o en invernadero, marco de plantación, riego y estado de madurez del fruto (Nuez *et al.*, 2003).

## **4.7 Descripción botánica**

### **4.7.1 Sistema radical**

La raíz es voluminosa, formada por una raíz principal pivotante con numerosas raíces adventicias que se extienden horizontalmente a una longitud de 30 a 50 cm y de 30 a 60 cm de profundidad. Por lo general, la raíz constituye cerca del 10 % del peso total de la planta (Bosland y Votava, 2000; Guevara *et al.*, 2018).

### **4.7.2 Tallo**

Los tallos presentan un crecimiento tipo simpodial, son ramificados y glabrescentes, formados por nudos, entrenudos y hojas, terminan en una flor y se dividen en dos tallos

secundarios, los cuales se ramifican nuevamente de forma dicotómica. Su estructura es circular, con una base semileñosa y partes superiores angulosas (Del Pino, 2015).

#### **4.7.3 Hojas**

Las hojas son aovadas, pecioladas, pubescentes, solitarias o por pares, miden entre 4 a 12 cm de largo y entre 1.5 a 4 cm de ancho de márgenes enteros, base estrechada y ápice algo acuminado (Guevara *et al.*, 2018).

#### **4.7.4 Flor**

Bosland y Votava (2000), indican que la flor típica de *Capsicum* es hermafrodita e hipógina, florece de mayo a agosto y fructifica desde julio hasta noviembre.

Las flores pueden aparecer solitarias o en pequeños grupos que nacen de la axila de las hojas y el tallo. El cáliz es entero de forma acampanada, con 5 a 7 costillas principales redondeadas y unas cuantas costillas secundarias. La corola es blanca de aproximadamente 1 cm con bordes finamente denticulados, tiene de 5 a 7 pétalos unidos en su base y anteras purpúreas (Guevara *et al.*, 2018).

#### **4.7.5 Fruto**

El fruto es una baya semicartilaginosa, de estructura hueca llena de aire y con forma de cápsula. La baya está compuesta por un pericarpio grueso (formado a su vez por el epicarpio, mesocarpio y endocarpio) y un tejido placentario al que están unidas las semillas (Del Pino, 2015).

#### **4.7.6 Semilla**

Las semillas se encuentran insertas en la placenta, son redondeadas, ligeramente reniformes, abundantes, glabras y de color amarillo pálido a anaranjado. En las variedades dulces se

encuentran en el centro del fruto, mientras que en las picantes pueden llegar hasta el ápice a través de los septos y costillas (Del Pino, 2015).

## **4.8 Fenología del cultivo**

### **4.8.1 Inducción floral**

Del Pino (2015), señala que la inducción floral marca la transición del desarrollo vegetativo al reproductivo, la temperatura el factor más importante, especialmente la nocturna. Dependiendo del cultivar, una vez que la planta tiene de 8 a 12 hojas, aparece la primera flor, lo cual marca el inicio de la bifurcación del tallo principal. En el Chile, las flores abren al amanecer y los estigmas permanecen receptivos durante 3 días a temperaturas de entre 28 a 18 °C, mientras que el polen conserva su viabilidad durante 3 días.

### **4.8.2 Amarre de frutos**

El amarre o cuajado de frutos es el proceso en el cual la flor es polinizada y fecundada, marcando el inicio del desarrollo del fruto. En *Capsicum* se produce una gran cantidad de flores, pero solo una pequeña proporción, entre 8 a 25 % logra cuajar. Cuando no se produce el cuajado, la flor se cae, fenómeno conocido como “abscisión floral” o “caída de la flor” lo cual también es causado por fotoperíodos cortos, exceso de fertilizantes nitrogenados y humedad excesiva del suelo. La temperatura óptima diurna para el cuajado es de 20 °C (Del Pino, 2015).

### **4.8.3 Madurez fisiológica**

La maduración de los frutos ocurre entre los 120-180 días después del trasplante, dependiendo de las condiciones climáticas. La temperatura diurna óptima para el crecimiento del fruto es de 21 °C, por otro lado, las deformidades en los frutos pueden resultar de temperaturas desfavorables (altas o bajas) durante la formación del ovario, comúnmente las bajas temperaturas (12 a 15 °C durante la noche) provocan malformación de frutos (Del Pino, 2015).

El tiempo requerido desde el amarre hasta la madurez fisiológica del fruto varía según la variedad y de las condiciones de temperatura, tomando entre 3 y 10 semanas (Jaimez *et al.*, 2010).

## **4.9 Requerimientos edafoclimáticos**

### **4.9.1 Sustrato**

El término sustrato se refiere a todo material sólido, ya sea natural o sintético, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor en forma pura o mezclada proporciona soporte al sistema radicular y dependiendo de su composición puede intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta (Urrestarazu, 2004).

En México, los sustratos principalmente utilizados incluyen tierra de monte, turba (peat moss), productos derivados de madera, compost de materia orgánica, cascarilla de arroz y materiales inertes como tezontle, perlita, agrolita, arena o vermiculita (Ojodeagua *et al.*, 2008).

Por otro lado, Bosland y Votava (2000), describen que el suelo óptimo para el cultivo de chile es un suelo franco arenoso profundo, con buen drenaje, de textura media que retenga humedad, con materia orgánica y un pH de 7.0 a 8.5. En base a ello, estudios posteriores de Arellano-Rodríguez *et al.* (2018), al hacer una evaluación de cuatro sustratos en la producción de plántula de chile, concluyeron que el sustrato Berger BM2, el cual es mezcla de musgo de turba de grano fino, perlita y vermiculita, produjo los resultados en términos de vigor y emergencia.

#### **4.9.1.1 Tierra de monte**

La tierra de monte es un sustrato rico en nutrientes y hongos micorrícicos, los cuales favorecen al desarrollo de las plantas (Galindo-García *et al.*, 2012).

Este sustrato está compuesto por restos orgánicos de hojas y ramas de diversos tamaños. Tiene un pH ligeramente ácido de 6.5, contiene aproximadamente 60 % de materia orgánica, conductividad eléctrica de 250-500 mS cm<sup>-1</sup> y una baja densidad aparente de 0.3 g cc<sup>-1</sup>. Su capacidad de intercambio catiónico (CIC) suele estar entre 40-100 meq·100 g, con una porosidad cercana al 90 %, con buena aireación y retención de agua fácilmente asimilable. Sin

embrago, dependiendo de su origen sus características pueden variar significativamente (Leonardo, 2013).

#### **4.9.1.2 Peat moss o turba**

El peat moss es uno de los materiales más comunes utilizado como sustrato, su componente principal es el musgo del género *Sphagnum*, el cual se origina a partir de la descomposición gradual de vegetación en ambientes acuáticos, pantanosos o de ciénega (Flores *et al.*, 2008).

Este material posee un alto contenido de humus, pH moderadamente ácido de 3.8 a 4.5, alta capacidad de retención de humedad (diez veces su peso en seco) y aireación. Sin embargo, no todas las turbas son iguales, la turba rubia aunque es ácida, suele ser mejor que la negra, pues tiene mayor aireación y menor contenido en sales solubles (Howard, 2001; López y López, 2012).

#### **4.9.1.3 Perlita**

Es un material silíceo de origen volcánico, cuyas partículas blancas varían entre 1.5 y 6 mm, con un pH casi neutro de 6.0 a 8.0 y su CIC es prácticamente nula (1.5-2.5 meq·100 g). Presenta una alta porosidad y puede absorber hasta cinco veces su peso en agua, siendo muy eficaz para mejorar la aireación de las mezclas de sustratos (Howard, 2001; Soto, 2013).

#### **4.9.2 Temperatura**

Álvarez y Pino (2018) señalan que el chile es un cultivo muy sensible a las heladas, las semillas necesitan temperaturas de entre 15 a 30 °C para germinar, con una temperatura óptima del suelo de 18 a 30 °C. En cuanto al desarrollo de la planta se ve favorecido con temperaturas diurnas de 25 a 27 °C y nocturnas de 18 a 20 °C, mientras que temperaturas inferiores a 15 °C pueden perjudicar su crecimiento, siendo su temperatura base de crecimiento de 10 °C (Del Pino, 2015).

El fruto no cuaja con temperaturas debajo de 16 °C o superiores a 32 °C, inclusive puede haber aborto floral con temperaturas nocturnas de 24 °C, por lo que el mejor cuajado del fruto ocurre cuando las temperaturas diurnas y nocturnas están entre 16 y 21 °C (Álvarez y Pino, 2018).

#### **4.9.3 Grados días de desarrollo (GDD)**

De acuerdo con Qadir *et al.* (2007), los grados día de desarrollo GDD (por sus siglas en inglés: Growing Degree Days), o unidades térmicas (HU por Heat Units), son los índices más utilizados para estimar el desarrollo de las plantas. Estos se definen como la cantidad de grados día necesarios para completar un determinado proceso de desarrollo o una fase fenológica específica (Trudgill *et al.*, 2005). Cada planta, híbrido, variedad o cultivar tiene un requerimiento específico de temperatura que se debe alcanzar antes de que ciertos estados fenológicos ocurran (Sikder, 2009).

Es por ello que Parra-Coronado *et al.* (2015) consideran que un requisito básico para el cálculo de GDD es la determinación de la temperatura crítica o temperatura base ( $T_b$ ), que es el umbral por debajo del cual el desarrollo fenológico se detiene y procesos metabólicos de las plantas se ralentizan.

Un GDD se acumula cuando la temperatura media diaria supera en un grado la temperatura base o mínima requerida para el crecimiento durante un día completo (24 horas). Esta acumulación de GDD es esencial para asegurar un normal crecimiento en cada etapa fenológica de la especie vegetal. Si la temperatura está por debajo de la temperatura base, la planta sufre estrés y no se produce crecimiento (Vistoso y Martínez-Lagos, 2021).

#### **4.9.4 Humedad relativa**

La óptima humedad relativa óptima varía entre el 50 y 70 %, si es muy alta favorece el desarrollo de enfermedades aéreas y dificulta el procesos de fecundación. Por otro lado, la combinación de altas temperaturas y baja humedad relativa puede provocar caída de flores y frutos recién cuajados (Álvarez y Pino, 2018).

## **4.10 Manejo agronómico**

### **4.10.1 Siembra**

Macias-Rodríguez *et al.* (2013), recomiendan que para cultivar chile se sugiere usar charolas de 200 cavidades, donde se debe colocar una semilla por cavidad y cubrir con la mezcla peat moss - perlita, después se riega hasta saturación, utilizando una gota fina para evitar que se descubra la semilla. Las charolas deben estar separadas al menos 30 cm del suelo para asegurar una adecuada ventilación. A partir de los 10 a 12 días después de la emergencia, las plántulas deben ser fertilizadas (Ramírez *et al.*, 2005).

Según Valadez (2001), el momento adecuado para realizar el trasplante es cuando han transcurrido 60 días o cuando la plántula tiene de 8 a 12 hojas verdaderas u 8 a 15 cm de altura. Barrantes (2010) sugiere que en ambientes protegidos, la distancia entre plantas es de 0.25 m y 1.20 m entre hileras.

### **4.10.2 Fertilización**

De acuerdo con Morales-Fernández *et al.* (2020), la fertilización recomendada para el cultivo de *Capsicum* es 200-75-100-20-10 de N, P, K, Ca y Mg. Comenzando con la primer aplicación 20 días después del trasplante.

### **4.10.3 Poda**

Cedillo *et al.* (2021) sugieren que deben eliminarse las flores que crecen en la primer bifurcación, con el fin de evitar la aparición de frutos en etapa vegetativa. Asimismo también deben eliminarse aquellos tallos y hojas para que la parte baja de la planta se ventile, cortando de 4 a 5 hojas de la base del tallo hacia arriba.

Para prevenir la propagación de enfermedades fúngicas o bacterianas, se desinfectan las tijeras entre cada poda sumergiéndolas en una solución de cloro comercial al 5 %. Es importante dejar únicamente los brotes nuevos y saludables, y realizar el corte a 2 cm por encima del entrenudo de la planta (Macias-Rodríguez *et al.*, 2013).

#### 4.10.4 Cosecha

La cosecha comienza entre los 80 a los 90 días después del trasplante, siendo las cosechas más tempranas aquellas sembradas en primavera-verano, mientras que las tardías corresponden a las siembras de otoño-invierno. Los frutos deben tener un color verde oscuro y el pedúnculo debe desprenderse fácilmente del tallo de las plantas (Cedillo *et al.*, 2021).

#### 4.10.5 Plagas y enfermedades

Garza (2002) considera que las principales plagas que ocasionan daños económicos en el cultivo de chile son las siguientes:

- Mosquita blanca (*Bemisia tabaci* y *Bemisia argentifolii*)
- Pulgón verde (*Myzus persicae*)
- Picudo del chile (*Anthonomus eugenii*)
- Ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus*)
- Araña roja (*Tetranychus urticae*)
- Gusano del fruto (*Heliothis zea* y *Heliothis virescens*)
- Trips (*Frankliniella occidentalis*)

Según Barrantes (2010) y Chew *et al.* (2008), las principales enfermedades que afectan el cultivo de chile se enlistan a continuación:

- Marchitez por *Phytophthora* (*Phytophthora capsici* Leonian)
- Marchitez por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum*)
- Marchitez bacteriana (*Pseudomonas solanacearum*)
- Pudrición por erwinia (*Erwinia carotovora*)
- Antracnosis (*Colletotrichum phomoides*)
- Cenicilla (*Leveillula taurica* u *Oidiopsis taurica*)
- Virus mosaico del pepino (CMV)
- Virus Y de la papa (PVY)
- Virus mosaico del tabaco (TMV)
- Encrespamiento foliar o “curly top virus”

#### 4.10.6 Riego

Bosland y Votava (2000) mencionan que el cultivo de chile es sensible al estrés hídrico durante la floración y el amarre del fruto, lo que puede provocar la caída de las flores cuando el riego es deficiente. No obstante, el riego excesivo también puede ser perjudicial, es preferible realizar riegos ligeros y frecuentes en lugar de riegos abundantes poco frecuentes, debido a que las raíces del cultivo son poco profundas. Generalmente las plantas sometidas a estrés hídrico producen frutos más picantes.

Los requerimientos de riego para el cultivo de chile varían según la temporada (fría o cálida), los factores ambientales, el tipo de suelo y el sistema de riego utilizado (Saavedra, 2019). Por su parte, Quintal *et al.* (2012) encontraron que en el cultivo de chile habanero al regar con una lámina de 60 % de humedad aprovechable incremento 84 % el rendimiento de los frutos.

#### 4.11 Requerimiento hídrico

Allen *et al.* (2006) señalan que las necesidades de agua de los cultivos están influenciadas principalmente por la especie, variedad, etapa fenológica, fecha de siembra y condiciones ambientales a lo largo del ciclo fenológico. Sin embargo, Domingo y Fernández (2006) mencionan que la capacidad de retención de agua en el suelo es uno de los factores que estiman la disponibilidad de agua para las plantas.

Una de las alternativas para estimar la cantidad de agua disponible para los cultivos es mediante la curva de retención de agua (Hartge y Horn, 2009). Las curvas de retención de humedad (CRH) en el suelo representan la relación entre el contenido de agua y su potencial matricial, además reflejan la capacidad del suelo para retener agua en función de la succión, la cual depende de la porosidad del suelo (López *et al.*, 2013).

Estas curvas son necesarias para describir la disponibilidad del agua presente en el suelo y proporcionar información necesaria para calcular la lámina de riego y la cantidad de agua disponible para las plantas (Yáñez *et al.*, 2015).

#### **4.12 Capacidad de campo**

La capacidad de campo se define como la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener después de que el exceso de agua superficial haya sido drenado, es decir, es la cantidad de agua que puede retener el suelo en contra de la gravedad (Nobel, 2009).

Asimismo, Pascual (2008) menciona que la capacidad de campo es el máximo contenido de agua que un suelo puede almacenar bajo condiciones de libre drenaje, alcanzándose entre 24 y 72 horas después de finalizar el riego, dependiendo del tipo de suelo.

#### **4.13 Agua disponible**

La fracción de agua útil o disponible para las plantas es la diferencia entre el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) (Casas, 2012). Esta agua, que se encuentra en la zona radicular, está disponible para que la planta la utilice en sus múltiples funciones (Losada, 2005).

#### **4.14 Punto de marchitez permanente**

De acuerdo con Kirkham (2005) el punto de marchitez permanente (PMP) corresponde al nivel de humedad del suelo en el cual se restringe completamente la absorción de agua por las plantas. En este estado, las plantas se marchitan de forma irreversible y no pueden recuperarse incluso después de haber sido sometidas a un ambiente saturado de humedad (Pascual, 2008).

#### **4.15 Estrés hídrico**

El estrés hídrico es una respuesta fisiológica de las plantas ante la disminución de agua disponible en el suelo, lo que ocasiona un desbalance entre la transpiración y la absorción de agua (Hammani *et al.*, 2013; Girón *et al.*, 2015). Este fenómeno se manifiesta cuando la transpiración excede la cantidad de agua absorbida por las raíces, esto debido a la escasa disponibilidad de agua presente en el suelo (Munns y Tester, 2008).

Este tipo de estrés también puede ocurrir en presencia de temperaturas extremadamente altas o bajas en el suelo, altos niveles de salinidad, baja presión atmosférica o una combinación de todos estos factores (Drechsler *et al.*, 2019).

Maatallah *et al.* (2010) y Di Vaio *et al.* (2013) mencionan tres niveles de estrés que una planta puede experimentar:

1. Estrés mínimo: Provoca pérdida de turgencia, disminución de la síntesis de pared celular y limitaciones en la producción de proteínas.
2. Estrés moderado: Se manifiesta en un aumento del ácido abscísico (ABA) y cierre parcial o total de los estomas.
3. Estrés máximo: La planta produce cavitación de los elementos del xilema, caída de hojas, acumulación de solutos orgánicos, y finalmente el punto de marchitez de la planta.

Entre los principales efectos identificados en *Capsicum* spp. debido al estrés hídrico, se encontró que afectan principalmente la altura de planta, el área foliar, rendimiento, número de flores y calidad de los frutos (Quintal *et al.*, 2012; Quesada, 2015).

#### 4.16 Eficiencia en el uso del agua

El uso eficiente del agua en la agricultura es uno de los factores fundamentales para poder asegurar la producción alimentaria, obteniendo iguales o mayores rendimientos con los recursos disponibles reduciendo el consumo de agua (Salazar-Moreno *et al.*, 2014).

De acuerdo con Fernández y Camacho (2005), la eficiencia en el uso del agua (EUA) o productividad del agua (PA) es la relación existente entre la biomasa de un cultivo (cosecha) por unidad de agua utilizada por este en un determinado momento.

$$\text{Ef Agua} = \frac{\text{Producción (Kg)}}{\text{Agua utilizada (m}^3\text{)}}$$

#### **4.17 Bioestimulantes en la agricultura**

Según la European Biostimulants Industry Council (2012), los bioestimulantes son sustancias o microorganismos que al ser aplicados a las plantas o la rizosfera estimulan los procesos naturales para mejorar o beneficiar la absorción y eficiencia de nutrientes, aumentar la tolerancia al estrés abiótico y mejorar la calidad de los cultivos.

La Bioestimulant Coalition (2013) menciona que los bioestimulantes provienen de fuentes naturales o biológicas, los cuales promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas a lo largo del ciclo de vida del cultivo, cuando se aplican en pequeñas cantidades, desde la germinación de la semilla hasta la madurez de la planta. Entre sus beneficios se incluyen:

- Mejora de la eficiencia metabólica de la planta, lo que induce aumentos en el rendimiento y mejora la calidad del cultivo.
- Incremento de la tolerancia y capacidad de recuperación de las plantas frente a estreses abióticos.
- Facilitan la asimilación, traslocación y uso de nutrientes, ya sea en la absorción o en la reducción de pérdidas de nutrientes al medio ambiente.
- Mejora de calidad de los productos, como el contenido de azúcar, color y características de la semilla.
- Actúan como enmiendas al suelo, mejorando diversas propiedades fisicoquímicas.
- Fomentan el desarrollo de microorganismos benéficos en el suelo.

#### **4.18 Hidrolizados de proteínas y aminoácidos**

Los productos a base de proteínas se pueden clasificar en dos categorías principales: hidrolizados de proteínas, que son mezclas de péptidos y aminoácidos derivados de fuentes animales o vegetales, y los aminoácidos individuales, tales como glutamato, glutamina, prolina y glicina betaína (Cavani *et al.*, 2006).

Según Corte *et al.* (2014) los hidrolizados de proteínas se obtienen a partir de material de desecho animal o vegetal. La capacidad de reciclar estos desechos no solo resulta beneficiosa para el medio ambiente, sino también promueve el crecimiento de las plantas, considerándose productos seguros para su uso en agricultura convencional y orgánica.

Existe evidencia significativa de que los hidrolizados de proteínas y ciertos aminoácidos específicos, como la prolina, la betaína y sus derivados, pueden inducir respuestas de defensa en las plantas y mejorar su tolerancia a diversos estreses abióticos, como salinidad, sequía, temperaturas extremas y condiciones oxidativas (Ashraf y Foolad, 2007; Chen y Murata, 2008).

#### **4.18.1 Glicina betaína**

La glicina betaína (GB) es una amina cuaternaria derivada de la glicina (N, N, N-trimetilglicina), debido a su naturaleza zwitteriónica, es una molécula dipolar, eléctricamente neutra, altamente soluble en agua y de baja viscosidad (Yancey, 2005). Se encuentra en diversas especies de plantas, animales y algunos microorganismos (Chen y Murata, 2008).

El término betaína se originó a partir de *Beta Vulgaris*, planta de la que se extrajo por primera vez (Scheibler, 1869). La GB es un tipo de soluto orgánico compatible en las plantas, acumulándose en el citosol y los cloroplastos sin resultar tóxico incluso en concentraciones elevadas (Yang *et al.*, 2005).

Normalmente, las plantas acumulan GB en concentraciones muy bajas, pero al exponerse a condiciones de estrés abiótico tales como sequía, frío, temperaturas extremas y salinidad, aumentan sus concentraciones considerablemente (Ashraf y Foolad 2007; Hoque *et al.*, 2008).

Para aquellas plantas que presentan baja acumulación de GB, se opta por su aplicación exógena, que al aplicarse en las hojas, los tejidos foliares la absorben fácilmente y la transportan a otros órganos de la planta, contribuyendo a mejorar la tolerancia al estrés (Makela *et al.*, 1998).

Recientemente, la GB ha sido reconocida por tener un efecto osmoprotector, ya que ayuda a las células a ajustar su potencial osmótico interno para equilibrar el externo, evitando la pérdida de turgencia (Fariduddin *et al.*, 2012). La GB permite a la planta acumular solutos en el citosol y cloroplastos, lo que compensa el potencial osmótico externo. Además, la GB protege los procesos fisiológicos esenciales, como la fotosíntesis y la síntesis de proteínas, aumentando la conductancia estomática y manteniendo la actividad de la Rubisco (INTAGRI, 2017).

Diversos estudios han demostrado que la aplicación exógena de GB tiene un impacto positivo en el crecimiento y rendimiento de los cultivos sometidos a estrés por sequía. Según Hussain *et*

*al.* (2009) la aplicación de GB mejoró el crecimiento del girasol al incrementar el potencial hídrico, el potencial osmótico, la presión de turgencia, la eficiencia del uso del agua y el rendimiento de aquenios bajo condiciones de sequía.

#### **4.19 Estudios relacionados con bioestimulantes**

Hernández-Figueroa *et al.* (2022) evaluaron la efectividad de cinco bioestimulantes en el cultivo de frijol ejotero sometido a estrés hídrico, los resultados mostraron que la combinación de nanopartículas de óxido de zinc y quitosano, aplicada con un riego del 75 % a CC, fue el tratamiento más efectivo. Esta combinación favoreció la mayor acumulación de biomasa, producción de frutos y eficiencia en el uso de agua.

Por su parte Da Silva *et al.* (2020) reportaron que en soja, el uso de sustancias bioestimulantes demostró ser eficaz para mejorar la capacidad de las plantas para soportar periodos de déficit hídrico. En particular, los bioestimulantes a base de extractos de algas y ácidos fúlvicos, promovieron incrementos en la productividad de 20.50 y 22.05 %, respectivamente.

En el caso de *Capsicum*, estudios realizados por Meriño *et al.* (2013) demostraron que la aplicación de brasinoesteroides (Biobrás-Plus), en el cultivo de pimiento bajo condiciones de sequía, resultó tener una fuerte actividad antiestrés por parte del bioestimulante. Los mejores resultados se obtuvieron al aplicar el producto en plantas sometidas a estrés hídrico. Las variables evaluadas fueron: número de frutos por planta, diámetro polar y ecuatorial, masa promedio, grosor promedio del mesocarpio y rendimiento del cultivo, los cuales resultaron ser mejores en comparación con los demás tratamientos en donde se aplicó riego durante todo el ciclo vegetativo.

Por otro lado, Cabrera-Medina *et al.* (2011) evaluaron tres bioestimulantes (Enerplant, Vitazyme y Bayfolan) en el cultivo de pimiento híbrido Atlas bajo condiciones protegidas. Los resultados indicaron que Enerplant, aplicado a una dosis de  $1.3 \text{ ml}\cdot\text{ha}^{-1}$ , fue el más eficaz mostrando un incremento en la producción de  $2.58 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ .

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Ubicación del experimento

El experimento se realizó en condiciones de invernadero en los meses de marzo a septiembre del año 2024 dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (Figura 1), ubicada en la localidad de San Juan Acateno en el Municipio de Teziutlán, Puebla ( $19^{\circ}52'33.3''$  LN y  $97^{\circ}21'38.1''$  LO), a una altura de 1676 msnm (INEGI, 2010).



**Figura 1. Ubicación del sitio experimental**

**Fuente:** Google Earth (2023).

### 5.2 Material vegetal

Se utilizaron semillas de chile Jalapeño y Serrano variedad Tampiqueño, las cuales se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando como sustrato la mezcla de turba, perlita y tierra de monte en relación 1:1:1 (v/v/v), en condiciones de invernadero.

### **5.3 Manejo agronómico**

#### **5.3.1 Siembra**

Se colocó una semilla en el centro de la cavidad, previamente llenado con la mezcla de sustratos (turba, perlita y tierra de monte) a una profundidad de aproximadamente 1 cm, posteriormente se cubrió con la misma y se humedeció el sustrato a capacidad de campo.

#### **5.3.2 Trasplante**

Las plántulas fueron trasplantadas cuando tenían cuatro hojas verdaderas u 8 cm de altura a bolsas negras de polietileno calibre 600 (40 x 40 cm) llenadas con la misma relación de la mezcla de sustratos utilizada en la siembra, con capacidad de 15 L. Las bolsas se colocaron a una separación de 0.50 m entre hileras y 0.25 m entre plantas.

#### **5.3.3 Fertilización**

El programa de fertilización se realizó de acuerdo a la propuesta de Morales-Fernández *et al.* (2020) que consistió en la aplicación de 10 g en cada bolsa de la fórmula 200-75-100-20-10 de N, P, K, Ca y Mg. Se realizaron cuatro aplicaciones a intervalos de 15 días, la primera fue a los 15 días después del trasplante.

#### **5.3.4 Podas**

Se realizaron 2 tipos de podas:

1. Se eliminaron las primeras flores que crecen en la bifurcación.
2. Se eliminaron las hojas desarrolladas por debajo de la primera bifurcación.

#### **5.3.5 Riego**

La cantidad de agua aplicada en los tratamientos se determinó con base a los resultados del análisis de caracterización física de la mezcla de sustratos utilizada y de acuerdo al contenido de humedad inicial en las macetas.

Para determinar el contenido de humedad inicial se tomó una muestra de sustrato, la cual se metió a la estufa de secado marca Riossa modelo HS-41 a 105 °C hasta llegar a peso constante, siguiendo la metodología descrita por la norma del CEDEX (1958): NLT-102/91. El porcentaje de humedad se calculó con la siguiente formula:

$$\% \omega = \frac{\text{psh} - \text{pss}}{\text{pss}} \times 100$$

Donde:

%  $\omega$  = Porcentaje de humedad de la muestra

psh = Peso del suelo húmedo (g)

pss = Peso del suelo seco (g)

Con los parámetros del sustrato mostrados en el cuadro 2 de Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP), Densidad aparente (Da), Densidad del agua (Dw) y el volumen de sustrato que contenía cada maceta ( $V_s = 15,000$  mL), se determinó el volumen de agua correspondiente a la Humedad Aprovechable ( $V_{HA}$ ) y al restarle el volumen de agua contenido inicialmente en la maceta ( $V_i$ ) se obtuvo el volumen de agua requerido ( $V_r$ ) para alcanzar el nivel de humedad establecido para cada tratamiento.

**Cuadro 2: Parámetros de caracterización del sustrato.**

Da (g·cm <sup>-3</sup> )	CC (% Hg)	PMP (% Hg)	Aireación (%)	Ret. Humedad (%)	pH 1:2	CEe (dS·m <sup>-1</sup> )	Clasificación textural
0.28	75	62	32	42	7	0.73	Limo

Formulas utilizadas para calcular el volumen de agua requerido:

$$V_r = V_{HA} - V_i$$

$$V_{HA} = \frac{(CC-PMP) \times D_a \times V_s}{100 \times D_w}$$

$$V_i = \frac{\omega_i \times D_a \times V_s}{100 \times D_w}$$

Donde:

$V_r$  = Volumen de agua requerido (mL)

$V_{HA}$  = Volumen de agua correspondiente a la humedad aprovechable (mL)

$V_i$  = Volumen de agua correspondiente a la humedad inicial (mL)

CC = Contenido de humedad a capacidad de campo (%)

PMP = Contenido de humedad al punto de marchitez permanente (%)

$\omega_i$  = Contenido de humedad inicial del sustrato (%)

$D_a$  = Densidad aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )

$D_w$  = Densidad del agua ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )

$V_s$  = Volumen del sustrato en la maceta (mL)

En tres tratamientos de ambos cultivos, se consideraron 540 mL de agua para alcanzar una humedad aprovechable de 90 a 100 % y para los otros tres se consideraron 300 mL para permanecer entre 50 y 55 % de humedad aprovechable. El pH y la CE del agua fueron de 6.4 y de  $0.11 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ , respectivamente.

Para determinar el momento de riego se utilizó el método del lisímetro de pesada, el cual de acuerdo con Howell *et al.* (1991), proporciona datos sobre la variación promedio del contenido de agua que se encuentra en el suelo, estos se obtienen por la diferencia entre el peso del lisímetro antes y después de un periodo determinado de tiempo (horas o días).

Con base a lo descrito por González *et al.* (2017), cada unidad experimental (maceta) fue considerada un lisímetro, fueron pesados dos días a la semana para monitorear la pérdida de peso, la cual fue correspondiente a la pérdida de agua por evapotranspiración; cuando las macetas se encontraban por abajo del peso considerado como peso crítico, se reponía el agua faltante.

Asimismo fue colocado un tensiómetro marca IRROMETER modelo LT de 15 cm de profundidad en una maceta al 100 % de humedad para monitorear la pérdida de agua por peso. El riego fue aplicado de manera manual durante todo el ciclo del cultivo y la eficiencia en el uso del agua fue calculada con la fórmula propuesta por Fernández y Camacho (2005).

$$Ef\ Agua = \frac{\text{Producción (Kg)}}{\text{Agua utilizada (m}^3\text{)}}$$

#### **5.4 Bioestimulante**

El producto utilizado fue Betagli Max (Glicina Betaína), se aplicaron de manera foliar 5 aplicaciones a intervalos de 20 días. La primer aplicación se realizó 20 días después del trasplante.

#### **5.5 Diseño experimental**

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar en arreglo factorial 2 x 2 x 3 con 12 tratamientos y 5 repeticiones. Los tratamientos resultaron de la combinación de los factores genotipos con los niveles Serrano variedad Tampiqueño y Jalapeño, porcentajes de humedad con los niveles 90 - 100 y de 50 a 55 % y dosis de bioestimulante con 1.6 g·L<sup>-1</sup>, 3.3 g·L<sup>-1</sup> y 6.6 g·L<sup>-1</sup> (Cuadro 3).

Los testigos fueron los tratamientos 1 y 7, considerando la dosis más baja de bioestimulante (recomendada por el fabricante) con el 100 % de humedad, es decir sin estrés hídrico. La unidad experimental consistió en una bolsa con una planta utilizando 60 unidades experimentales en total.

**Cuadro 3. Tratamientos utilizados en el experimento.**

Tratamientos	Factores		
	Genotipos	Porcentaje de humedad (%)	Dosis de bioestimulante g·L <sup>-1</sup>
1	Tampiqueño	90 – 100	1.6
2	Tampiqueño	90 – 100	3.3
3	Tampiqueño	90 – 100	6.6
4	Tampiqueño	50 – 55	1.6
5	Tampiqueño	50 – 55	3.3
6	Tampiqueño	50 – 55	6.6
7	Jalapeño	90 – 100	1.6
8	Jalapeño	90 – 100	3.3
9	Jalapeño	90 – 100	6.6
10	Jalapeño	50 – 55	1.6
11	Jalapeño	50 – 55	3.3
12	Jalapeño	50 – 55	6.6

### 5.6 Variables evaluadas

Para el cálculo de grados-día de desarrollo (GDD) se utilizó el método de integración numérica programado en la hoja de cálculo de Excel y de acuerdo a la propuesta de Barrios *et al.* (2022). Se determinaron los GDD acumulados para cada etapa fenológica del cultivo, a partir del trasplante y hasta la madurez fisiológica del fruto.

Los datos de temperatura (°C) fueron registrados automáticamente cada hora por un registrador de datos de temperatura marca HOBO, modelo MX2301A ubicado en la parte media del experimento dentro del invernadero, para el cálculo de GDD se consideró una temperatura base de 10 °C y una temperatura máxima de 27 °C.

Fórmula del método de integración numérica es la siguiente:

$$GDD = GDD_T - (GDD_{TB} + GDD_{Tb})$$

Donde:

$GDD_T$  = Grados-día de desarrollo ( $^{\circ}\text{C}$  día)

$GDD_T$  = Grados-día totales ( $^{\circ}\text{C}$  día)

$GDD_{TB}$  = Grados-día sobre la temperatura umbral máxima (TB,  $^{\circ}\text{C}$  día)

$GDD_{Tb}$  = Grados-día por debajo de la temperatura umbral mínima (Tb,  $^{\circ}\text{C}$  día)

### **5.6.1 Número de días y grados día (GD) a floración**

Se registró una vez que aparecieron las primeras flores en el tallo principal (10 %).

### **5.6.2 Número de días y grados día (GD) a amarre de fruto**

Se determinó en el momento en que se observó el secado y desprendimiento de la corola de la flor, permaneciendo el gineceo en desarrollo.

### **5.6.3 Número de días y grados día (GD) a madurez fisiológica**

Se registró cuando se presentó la máxima acumulación de materia seca en el primer fruto, visualmente se identificó por el máximo crecimiento en longitud y grosor.

### **5.6.4 Número de frutos**

Se determinó al sumar el número de frutos de los tres primeros cortes de cada unidad experimental.

### **5.6.5 Diámetro del fruto (mm)**

Se midió con un vernier digital marca Insize, modelo 1108-150, la parte media del fruto entre la parte basal y apical. Se realizó en 30 frutos por tratamiento.

#### **5.6.6 Longitud del fruto (mm)**

Se midió con un vernier digital marca Insize, modelo 1108-150 desde la parte basal hasta la apical del fruto. Esto se realizó en 30 frutos por tratamiento.

#### **5.6.7 Peso de frutos por planta (g)**

Con una balanza digital marca Fuzion modelo FU200-BL se pasaron los frutos de cada planta de los tres primeros cortes una vez que se encontraron en madurez fisiológica.

#### **5.6.8 Peso promedio del fruto (g)**

Se obtuvo al dividir el peso de frutos por planta entre el número de frutos por planta.

#### **5.6.9 Altura de planta (cm)**

Se determinó al final de la cosecha (tercer corte de frutos), midiendo con un flexómetro marca Pretul, modelo PRO-5MEB-R, desde la base del tallo hasta la última hoja totalmente expandida.

#### **5.6.10 Materia seca (g)**

Se obtuvo al final del ciclo del cultivo (tercer corte de frutos), seleccionando dos repeticiones por tratamiento, las plantas completas se cortaron en pequeños trozos para meterlas en bolsas de papel previamente perforadas y se introdujeron a la estufa de secado marca Riossa, modelo HCF-127 a 70 °C durante 72 horas hasta alcanzar un peso constante (Azofeifa y Moreira, 2008).

#### **5.6.11 Contenido de vitamina C**

Se determinó el contenido de ácido ascórbico (vitamina C) mediante el procedimiento descrito por la A.O.A.C. (1990) el cual consiste en agregar 100 ml de agua desionizada a 5 g de muestra de chile, manteniéndolo en agitación a 130 rpm por 15 minutos.

Posteriormente se filtró con papel filtro y se tomaron 20 ml a los cuales se les agregó 25 ml de ácido acético glacial al 20 %, nuevamente se agitó la mezcla por 5 minutos y se tituló con 2,6- dicloroindofenol, hasta que presente un color rosa tenue. El reactivo utilizado para la determinación de vitamina C fue de la marca Sigma-Aldrich.

Los resultados se reportaron como mg de ácido ascórbico, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{mg de ácido ascórbico} = \frac{\text{volumen de titulación de la muestra}}{\text{volumen de titulación estándar}}$$

### **5.7 Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados estadísticamente por medio de un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias por el método de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), mediante el programa computacional SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Temperatura

En el ciclo de cultivo de las variedades de chile Tampiqueño y Jalapeño, las temperaturas del aire alcanzaron los 44 y 10 °C como máxima y mínima, respectivamente (Figura 2). La temperatura promedio fluctuó en el rango de los 18 a 27 °C, valores que coinciden con lo mencionado por Barrantes (2010), quien establece que las temperaturas óptimas durante el desarrollo vegetativo y la fructificación oscilan entre los 17 y 30 °C. Asimismo, Montaña y Belisario (2012) indican que la temperatura ideal para el crecimiento se sitúa entre 20 y 25 °C, rango similar a lo registrado en la presente investigación.

Algunos estudios indican que la presencia de temperaturas superiores a 30 °C afecta la floración y el amarre de fruto, mientras que inferiores a 10 °C detienen el crecimiento de la planta (Mansour-Gueddes *et al.*, 2010; Del Pino, 2015), condiciones que no se presentaron durante el desarrollo de las plantas, ya que en las etapas fenológicas antes mencionadas, la temperatura fluctuó entre los 20 y 25 °C.

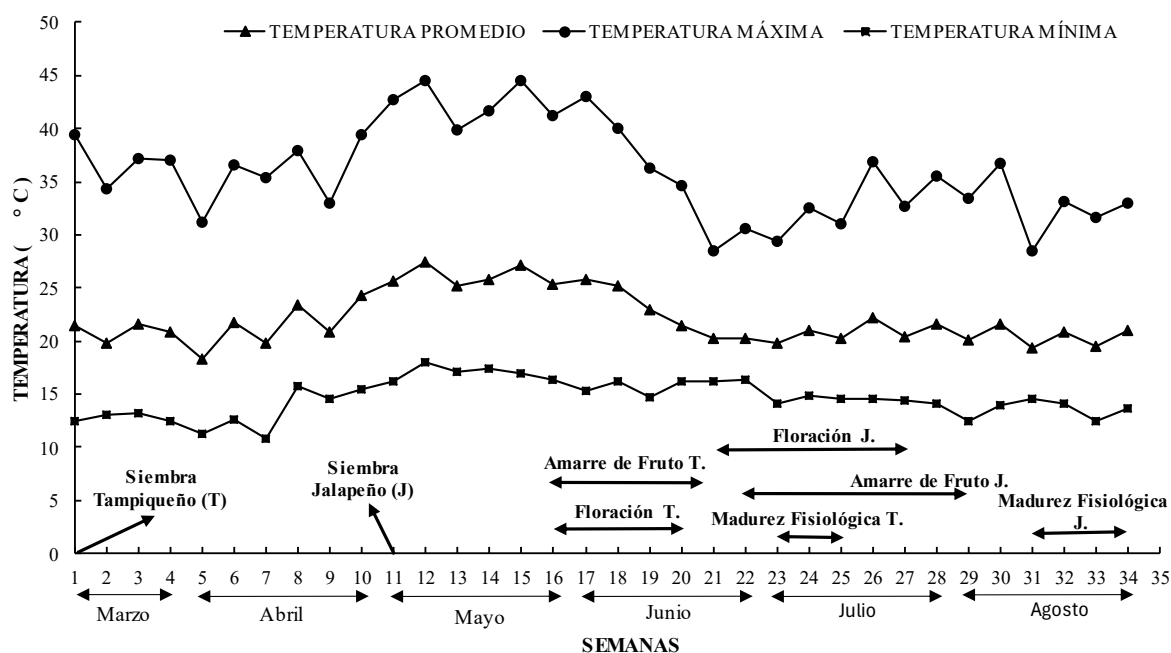


Figura 2. Temperatura máxima, mínima y media del aire registrada durante el ciclo de crecimiento del cultivo de chile Tampiqueño (T) y Jalapeño (J).

## 6.2 Fenología, rendimiento, biomasa y vitamina C

### 6.2.1 Genotipos

El análisis del factor genotipos indicó que Jalapeño fue el material más precoz ( $P \leq 0.05$ ) en comparación con tampiqueño, ya que requirió seis días (DMF) y 78 grados día (GDMF) menos a la madurez fisiológica del fruto (Cuadro 4), condición debida a un rápido inicio en la etapa de floración (DFL y GDFL) en el chile Jalapeño, lo que muestra la respuesta diferencial que pueden exhibir los genotipos aún evaluados en las mismas condiciones de crecimiento (Moreno-Pérez *et al.*, 2011).

El peso de frutos por planta (PFP) varió de acuerdo con el genotipo, ya que Jalapeño registró 37 % mayor rendimiento que Tampiqueño, condición debida a un mayor diámetro (DFR) y peso promedio (PPF) del fruto, lo que concuerda con Moreno-Pérez *et al.* (2011) al indicar que dichos caracteres condicionan el rendimiento de chile. El número de frutos por planta (NFP) fue 20 % superior en Tampiqueño respecto a Jalapeño, resultados similares a los reportados por Luna *et al.* (2021). Un comportamiento semejante se observó en la variable longitud del fruto (LFR), ya que Tampiqueño tuvo 17 % mayor LFR que Jalapeño, valores que se encuentran dentro del rango reportado por Nuez *et al.* (2003).

El contenido de materia seca (MSC) resultado del crecimiento de la planta (ALP), fue mayor en Jalapeño, superando en 55 g a Tampiqueño. Al respecto, Pérez-Castañeda *et al.* (2015) indican que la mayor acumulación de biomasa en Jalapeño puede ser atribuida a una mayor área foliar y diámetro de tallo, caracteres implícitos en los procesos de mejora de las variedades.

El contenido de vitamina C (CVC) fue 53 % mayor en Tampiqueño que en Jalapeño, con un diferencial de  $0.31 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  entre variedades, valor que se ubica dentro del rango reportado por Vera-Guzmán *et al.* (2011) en diferentes especies de *Capsicum*, aunque el CVC puede ser afectado además del genotipo y del manejo agronómico, por el estado de madurez de los frutos, ya que según Cruz-Pérez *et al.* (2007), algunas especies de chile alcanzan el nivel más alto de vitamina C días antes de la madurez de los frutos.

### 6.2.2 Humedad

El factor contenido de humedad en el sustrato no mostró diferencias significativas entre los niveles 100 y 55 % sobre la fenología del cultivo de *Capsicum* (Cuadro 4), ya que en promedio la madurez fisiológica se alcanzó a las 1117 unidades calor (GD). Resultados que pueden ser debidos a la mezcla de sustratos utilizados en el crecimiento y desarrollo de las plantas, en particular, la turba y la perlita, ya que según Howard (2001), estos sustratos tienen la capacidad de absorber y retener humedad de 5 a 10 veces su peso, lo que produjo en las plantas de chile sometidas al 55 % de humedad a que no mostraran variaciones en la duración del ciclo de crecimiento.

El contenido de humedad en el sustrato afectó de manera significativa el PFP, ya que con el 100 % de Humedad Aprovechable (HA) se tuvo 14 % mayor rendimiento con respecto al 55 % de HA, comportamiento debido a un mayor NFP, carácter que según Mardaninejad *et al.* (2017) en condiciones de déficit hídrico es de los que más se afectan, lo que repercute en el rendimiento como ocurrió en el presente trabajo con el tratamiento del 55 %.

El contenido de vitamina C fue 15 % mayor en frutos de las plantas sometidas al 55 % de humedad en el sustrato que en aquellas del 100 %. Algunas investigaciones indican que el cultivo de chile es la especia de mayor susceptibilidad a las deficiencias hídricas, debido a una alta transpiración, alta conductancia estomática y un sistema radicular poco profundo (Ahmed *et al.*, 2014). Sin embargo, se ha observado que en algunas especies de *Capsicum*, los bajos niveles de humedad pueden favorecer el incremento de vitamina C (Marín *et al.*, 2009), situación que pudo observarse en las plantas expuestas al 55 % de HA.

### 6.2.3 Bioestimulante

El factor bioestimulante no presentó efectos significativos entre concentraciones, ya que independientemente de las dosis aplicadas durante el ciclo de crecimiento de las plantas, la madurez fisiológica se alcanzó a los 102 días o 1117 GD (Cuadro 4), lo que pudo ser debido a la acción del bioestimulante (Glicina Betaína), ya que a pesar de la variación en la dosis, las plantas de chile estuvieron sometidas a este agente durante todo el ciclo, y uno de sus efectos es actuar como antiestresante al mitigar los contrastes en humedad, temperatura y salinidad del

ambiente de producción, debido al incremento de su potencial hídrico, potencial osmótico, presión de turgencia y mejora en la eficiencia del uso de agua (Hussain *et al.*, 2009), y que en la presente investigación se reflejó en una similitud en los DMF y GDMF.

**Cuadro 4. Fenología, rendimiento, biomasa y vitamina C en *Capsicum annuum* L. para los factores genotipo, humedad y bioestimulante.**

VARIABLES	FACTORES									
	GENOTIPOS			HUMEDAD (%)			BIOESTIMULANTE (g L <sup>-1</sup> )			
	TAM	JAL	DMSH	100-90	55-50	DMSH	1.6	3.3	6.6	DMSH
DFL	73.0a <sup>z</sup>	60.5b	3.2	66.6a	68.2a	3.2	67.2a	66.5a	68.5a	4.8
DAF	77.0a	64.6b	3.5	70.7a	72.3a	3.5	70.8a	70.4a	73.3a	5.1
DMF	105.2a	98.8b	2.2	102.4a	102.3a	2.2	102.8a	102.2a	102.0a	3.2
GDFL	805.1a	695.3b	34.4	746.3a	766.3a	34.2	754.6a	747.5a	766.8a	50.4
GDAF	851.9a	736.6b	37.2	790.8a	810.5a	37.0	792.9a	790.5a	818.6a	54.5
GDMF	1151.4a	1075.0b	21.7	1117.8a	1117.1a	21.6	1122.3a	1116.2a	1113.8a	31.9
LFR (mm)	69.3a	57.3b	3.6	63.7a	62.9a	3.6	64.3a	64.3a	61.3a	5.4
DFR (mm)	12.4b	20.8a	1.0	16.9a	16.4a	1.0	16.8a	16.9a	16.1a	1.5
PPF (g)	237.9b	377.2a	52.9	320.7a	276.8a	52.4	306.0a	277.8a	311.6a	77.4
NFP	47.2a	37.5b	6.5	46.9a	39.2b	6.5	44.7a	37.9a	46.5a	9.5
PPF (g)	5.1b	10.0a	0.8	7.4a	7.0a	0.8	7.2a	7.5a	7.0a	1.2
APL (cm)	99.2a	88.8b	6.7	95.1a	92.9a	6.7	92.4a	97.3a	92.2a	10.0
CVC (mg·g <sup>-1</sup> )	0.59a	0.28b	1.2	0.40b	0.47a	1.2	0.45a	0.47a	0.38b	1.8
MSC (g)	82.1b	137.1a	18.8	111.4a	107.8a	18.8	117.9a	100.2a	110.7a	28.2

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

DFL: días a floración; GDFL: grados día a floración; DAF: días a amarre de fruto; GDAF: grados día a amarre de fruto; DMF: días a madurez fisiológica; GDMF: grados día a madurez fisiológica; LFR: longitud de fruto; DFR: diámetro de fruto; PFP: peso de frutos por planta; NFP: número de fruto por planta; PPF: peso promedio de fruto; APL: altura de planta; CVC: contenido de vitamina C; MSC: materia seca.

Un comportamiento similar se observó en las variables de rendimiento y sus componentes (PPF, PPF, DFR, LFR, NFP), al igual que en la APL y contenido de MSC, ya que estos caracteres no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En particular, el PFP tuvo una variación de 34 g entre las tres concentraciones y un rendimiento promedio de 298 g por planta.

Al respecto, algunos estudios resaltan la importancia del uso de bioestimulantes en la agricultura moderna, ya que éstos pueden mitigar los efectos de las temperaturas, niveles hídricos y contenido de sales en el suelo no óptimas para la producción de chile, sin embargo, Golian *et al.* (2024) indican que el grado de respuesta de las plantas a la aplicación de bioestimulantes depende de la especie y la variedad cultivada.

El mayor CVC se presentó en las concentraciones de 1.6 y 3.3 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante, ya que, en promedio tuvieron 17 % mayor contenido de vitamina C que la de 6.6 g·L<sup>-1</sup>, lo que indica que la aplicación del bioestimulante favoreció la acumulación de vitamina C, probablemente como respuesta a una condición de estrés que pudo ser temporal o de larga duración durante el desarrollo de las plantas (Golian *et al.*, 2024), y que produjo las variaciones observadas en el presente trabajo.

### **6.3 Efecto del genotipo y la humedad en el sustrato sobre la fenología, rendimiento, biomasa y vitamina C**

El análisis de los dos genotipos de chile en los dos niveles de humedad en el sustrato indicó que Tampiqueño con 100 y 55 % de humedad presentaron el ciclo biológico más tardío con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 5), ya que requirieron 7 días y 76 GD más para alcanzar la madurez fisiológica que Jalapeño en los dos niveles de humedad, lo que se debió a un mayor tiempo en el inicio de las etapas de floración y amarre del fruto, resultados que concuerdan con lo reportado por Montes *et al.* (2004), al indicar que la variación en la duración del ciclo de cultivo en los diferentes genotipos, proviene de su capacidad de acumulación de GD en las diferentes etapas fenológicas. No obstante, una mayor precocidad en los materiales como Jalapeño en la presente investigación, puede resultar ventajoso, ya que permite obtener cosechas más tempranas (Luna-García *et al.*, 2018).

**Cuadro 5. Interacción genotipo por humedad sobre la fenología en el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.).**

FACTORES		DFL	GDFL	DAF	GDAF	DMF	GDMF
GENOTIPOS	HUMEDAD (%)						
TAMPIQUEÑO	100-90	71.1a <sup>z</sup>	783.5a	75.3a	832.2a	104.5a	1144.8a
TAMPIQUEÑO	55-50	74.8a	826.7a	78.7a	871.6a	105.8a	1157.9a
JALAPEÑO	100-90	61.0b	699.8b	65.0b	739.1b	99.7b	1084.0b
JALAPEÑO	55-50	60.0b	690.8b	64.3b	734.1b	97.9b	1066.1b
DMSH		6.1	64.5	6.6	69.7	4.1	40.8

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

DFL: días a floración; GDFL: grados día a floración; DAF: días a amarre de fruto; GDAF: grados día a amarre de fruto; DMF: días a madurez fisiológica; GDMF: grados día a madurez fisiológica.

El chile Jalapeño con 100 % de humedad en el sustrato, fue el que presentó el mayor PFP (Cuadro 6), superando en 30 % a Tampiqueño en las mismas condiciones de humedad y en 47 % al mismo genotipo con 55 % de HA, rendimiento atribuido a un mayor DFR y PPF, caracteres que de acuerdo con Morales-Fernández *et al.* (2020) son los que definen el rendimiento. Sin embargo, también se observó que dentro de genotipos, Tampiqueño mostró mayor variación en el rendimiento al cambiar de una condición de humedad a otro, situación que resalta el efecto del déficit hídrico en la reducción de rendimiento (Ismail, 2010).

Un resultado similar se obtuvo con el contenido de MSC, ya que Jalapeño independientemente de los niveles de humedad, superó en 40 % en producción de biomasa a Tampiqueño, resultados que muestran el carácter genético de los genotipos en la acumulación de la materia seca (Luna-García *et al.*, 2018).

El mayor contenido de vitamina C se presentó en el genotipo Tampiqueño sin importar la condición de humedad, en promedio, superaron en 54 % a Jalapeño. Asimismo, no se observó variación significativa en el CVC dentro de genotipos al cambiar de un nivel de humedad a otro, situación que muestra la habilidad de algunos genotipos de *Capsicum* en la acumulación de vitamina C aún en condiciones de crecimiento desfavorables (Vera-Guzmán *et al.*, 2011).

**Cuadro 6. Interacción genotipo por humedad sobre el rendimiento y sus componentes, biomasa y contenido de vitamina C en el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.).**

FACTORES		LFR (mm)	DFR (mm)	PPF (g)	NFP
GENOTIPOS	HUMEDAD (%)				
TAMPIQUEÑO	100-90	70.8a <sup>z</sup>	12.7b	271.8bc	54.2a
TAMPIQUEÑO	55-50	67.9a	12.1b	203.9c	40.3b
JALAPEÑO	100-90	56.6b	21.0a	387.4a	37.0b
JALAPEÑO	55-50	57.9b	20.6a	367.9ab	37.9b
DMSH		6.9	1.9	99.3	12.3
		PPF (g)	APL (cm)	CVC (mg·g <sup>-1</sup> )	MSC (g)
		5.2b	102.2a	0.56a	84.8b
		5.0b	96.1ab	0.62a	79.5b
		10.5a	88.0b	0.24b	138.1a
		9.6a	89.6ab	0.31b	136.0a
		1.6	12.9	2.3	36.3

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

LFR: longitud de fruto; DFR: diámetro de fruto; PFP: peso de frutos por planta; NFP: número de fruto por planta; PPF: peso promedio de fruto; APL: altura de planta; CVC: contenido de vitamina C; MSC: materia seca.

#### 6.4 Efecto del genotipo y bioestimulante sobre la fenología, rendimiento, biomasa y vitamina C

El análisis de los dos genotipos de chile en las tres concentraciones de bioestimulante indicó que Tampiqueño con la dosis de 3.3 g·L<sup>-1</sup> tuvo el ciclo de cultivo más tardío en comparación con Jalapeño a la misma dosis del bioestimulante (Cuadro 7), dicho tratamiento requirió 9 días y 154 GD para alcanzar la madurez fisiológica del fruto, condición atribuida a un mayor tiempo requerido para el inicio de la floración y el amarre del fruto, lo que repercutió en una mayor duración del ciclo biológico de las plantas. En el presente trabajo, se observó que con la misma dosis del bioestimulante (3.3 g·L<sup>-1</sup>), los contrastes en la duración del ciclo fueron amplios, situación que puede ser debida a la respuesta genética de los materiales utilizados (Majkowska-Gadomska *et al.*, 2021), como lo mostró Tampiqueño al haber sido el más tardío.

**Cuadro 7. Interacción genotipo por bioestimulante sobre la fenología en el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.).**

FACTORES		DFL	GDFL	DAF	GDAF	DMF	GDMF
GENOTIPOS	BIOESTIMULANTE (g·L <sup>-1</sup> )						
TAMPIQUEÑO	1.6	72.9a <sup>z</sup>	804.0a	76.2ab	842.5a	104.5a	1144.3ab
TAMPIQUEÑO	3.3	73.1a	806.6a	77.0a	852.4a	106.1a	1160.3a
TAMPIQUEÑO	6.6	73.0a	804.8a	77.9a	860.9a	105.0a	1149.6ab
JALAPEÑO	1.6	60.2b	692.8b	64.1c	731.0b	100.8ab	1094.8bc
JALAPEÑO	3.3	58.2b	673.6b	62.2c	713.2b	97.3b	1061.1c
JALAPEÑO	6.6	63.0b	719.5ab	67.6bc	765.7ab	98.2b	1068.2c
DMSH		8.4	88.2	9	95.3	5.7	55.7

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

DFL: días a floración; GDFL: grados día a floración; DAF: días a amarre de fruto; GDAF: grados día a amarre de fruto; DMF: días a madurez fisiológica; GDMF: grados día a madurez fisiológica.

El genotipo Jalapeño con 1.6 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante, fue el tratamiento que registró el mejor PFP ( $P \leq 0.05$ ), y supero en 37 % a Tampiqueño en la misma concentración del bioestimulante (Cuadro 8). Los componentes que más contribuyeron con el PFP fueron DFR, NFP y PPF, lo que concuerda con Morales-Fernández *et al.* (2020) al indicar que el número y peso promedio del fruto en *Capsicum*, son dos de los caracteres más importantes en la producción de chile. El número de frutos por planta se favoreció con el incremento en la dosis del bioestimulante, dado que el tratamiento de Tampiqueño con 6.6 g·L<sup>-1</sup> tuvo 25 % mayor NFP que Jalapeño con 3.3 g·L<sup>-1</sup>.

El contenido de MSC no presentó variación en el genotipo Jalapeño al cambiar de una concentración de bioestimulante a otra a diferencia de lo ocurrido en Tampiqueño, lo que refleja la capacidad de respuesta entre las variedades a la aplicación del compuesto. Algunos estudios indican que la respuesta en *Capsicum* al bioestimulante depende de la etapa de desarrollo en que se aplique y sobre todo del genotipo (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2022), lo que claramente fue notorio en Jalapeño con la dosis de 1.6 g·L<sup>-1</sup> al superar en 53 % en MSC a Tampiqueño con 3.3 g·L<sup>-1</sup>.

El mayor contenido de vitamina C se presentó en el tratamiento de Tampiqueño con 1.6 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante, en promedio, superó en 56 % a Jalapeño. En general, no se observó dentro de genotipos una variación significativa en el CVC al cambiar de una concentración a otra, resultados que resaltan la importancia del genotipo, más que la del bioestimulante. Al respecto, Golian *et al.* (2024) indican que el contenido de vitamina C presente en *Capsicum*, no depende de la concentración del bioestimulante, sino más bien de la respuesta de los genotipos, como ocurrió en esta investigación, en la que la concentración más baja favoreció la mayor concentración de vitamina C.

**Cuadro 8. Interacción genotipo por bioestimulante sobre el rendimiento y sus componentes, biomasa y contenido de vitamina C en el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.)**

FACTORES		LFR	DFR	PPF	NFP
GENOTIPOS	BIOESTIMULANTE (g·L <sup>-1</sup> )	(mm)	(mm)	(g)	
TAMPIQUEÑO	1.6	70.2a <sup>z</sup>	12.7b	245.7bc	49.4ab
TAMPIQUEÑO	3.3	68.0a	12.3b	204.6c	40.4ab
TAMPIQUEÑO	6.6	69.8a	12.4b	263.3abc	52.0a
JALAPEÑO	1.6	58.3b	21.0a	392.1a	38.0ab
JALAPEÑO	3.3	60.6ab	21.5a	369.3ab	34.8b
JALAPEÑO	6.6	52.8b	19.9a	372.0ab	39.7ab
DMSH		9.5	2.6	135.8	16.8
		PPF	APL	CVC	MSC
		(g)	(cm)	(mg·g <sup>-1</sup> )	(g)
		5.1b	98.1a	0.64a	86.2bc
		5.0b	100.2a	0.64a	69.2c
		5.1b	99.2a	0.49b	91.1bc
		10.2 <sup>a</sup>	86.7a	0.27c	149.6a
		10.6 <sup>a</sup>	94.5a	0.30c	131.3ab
		9.3 <sup>a</sup>	85.2a	0.27c	130.3ab
		2.2	17.9	3.2	50.3

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

LFR: longitud de fruto; DFR: diámetro de fruto; PFP: peso de frutos por planta; NFP: número de fruto por planta; PPF: peso promedio de fruto; APL: altura de planta; CVC: contenido de vitamina C; MSC: materia seca.

### 6.5 Efecto de la humedad en el sustrato y el bioestimulante sobre la fenología, rendimiento, biomasa y vitamina C

El estudio de los dos niveles de humedad en el sustrato y las tres concentraciones de bioestimulante aplicadas al cultivo de chile, no mostraron diferencias significativas en la duración del ciclo entre los seis tratamientos (Cuadro 9). En promedio, los DMF y GDMF se alcanzaron a los 102 días y 1117 GD, respectivamente, lo que puede ser atribuido al efecto del bioestimulante, independientemente de la concentración, ya que según Golian *et al.* (2024), uno de los efectos de estos compuestos químicos es incrementar la tolerancia al estrés por factores abióticos, entre ellos, los ocasionados por deficiencias hídricas (Hussain *et al.*, 2009) como lo fue con el tratamiento de 55 % de humedad.

**Cuadro 9. Interacción humedad por bioestimulante sobre la fenología en el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.).**

FACTORES		DFL	GDFL	DAF	GDAF	DMF	GDMF
HUMEDAD (%)	BIOESTIMULANTE (g·L <sup>-1</sup> )						
100-90	1.6	68.2a <sup>2</sup>	761.0a	72.1a	803.6a	103.5a	1128.5a
	3.3	66.1a	744.1a	70.7a	794.5a	102.4a	1118.3a
	6.6	65.5a	733.8a	69.3a	774.3a	101.2a	1106.5a
55-50	1.6	66.3a	748.2a	69.5a	782.2a	102.2a	1116.1a
	3.3	66.8a	750.8a	70.1a	786.5a	102.0a	1114.1a
	6.6	71.5a	799.8a	77.3a	862.8a	102.7a	1121.2a
DMSH		8.3	87.6	8.9	94.8	5.6	55.4

<sup>2</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

DFL: días a floración; GDFL: grados día a floración; DAF: días a amarre de fruto; GDAF: grados día a amarre de fruto; DMF: días a madurez fisiológica; GDMF: grados día a madurez fisiológica.

El PFP y sus componentes (LFR, DFR, NFP y PPF), además de la APL y MSC, tuvieron un comportamiento similar a la fenología, ya que no mostraron efectos significativos entre los dos niveles de humedad con las tres concentraciones de bioestimulante (Cuadro 10). En promedio, el rendimiento fue de 303 g por planta, valor que se encuentra dentro del rango reportado por

Morales-Fernández *et al.* (2020) en diferentes especies de *Capsicum*. El nivel de 55 % de humedad en el sustrato, registró el mismo rendimiento respecto al de 100 % de HA, lo que pudo ser atribuido al efecto del bioestimulante, ya que éstos compuestos al mejorar la tolerancia al estrés abiótico en las plantas (Golian *et al.*, 2024) y mejorar la eficiencia en el uso de agua (Hussain *et al.*, 2009), el PFP pudo no haber sido afectado.

El contenido de vitamina C fue 31 % mayor en el nivel de 55 % de humedad con 1.6 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante respecto al de 100 % de HA con la misma concentración, estos resultados indican que la condición de deficiencias hídricas (Marín *et al.*, 2009) y la aplicación de bioestimulante a la planta (Golian *et al.*, 2024), favoreció la formación de vitamina C en el fruto.

**Cuadro 10. Interacción humedad por bioestimulante sobre el rendimiento y sus componentes, biomasa y contenido de vitamina C en el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.)**

FACTORES		LFR (mm)	DFR (mm)	PFP (g)	NFP
HUMEDAD (%)	BIOESTIMULANTE (g·L <sup>-1</sup> )				
100-90	1.6	65.1a <sup>z</sup>	17.1a	331.1a	51.1a
	3.3	63.9a	17.0a	284.8a	38.7a
	6.6	62.1a	16.5a	374.4a	51.4a
55-50	1.6	63.4a	16.6a	283.6a	39.0a
	3.3	64.7a	16.7a	270.9a	37.1a
	6.6	60.6a	15.8a	275.8a	41.6a
DMSH		9.5	2.6	134.6	16.6
		PPF (g)	APL (cm)	CVC (mg·g <sup>-1</sup> )	MSC (g)
		7.0a	90.3a	0.37bc	118.1a
		8.0a	98.5a	0.49ab	106.4a
		7.2a	96.5a	0.35c	109.8a
		7.4a	94.5a	0.54a	117.8a
		7.0a	96.2a	0.45abc	94.1a
		6.7a	88.0a	0.40bc	111.5a
		2.1	17.9	3.2	50.3

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

LFR: longitud de fruto; DFR: diámetro de fruto; PFP: peso de frutos por planta; NFP: número de fruto por planta; PPF: peso promedio de fruto; APL: altura de planta; CVC: contenido de vitamina C; MSC: materia seca.

## **6.6 Efecto del genotipo, humedad en el sustrato y el bioestimulante sobre la fenología, rendimiento, biomasa, vitamina C y eficiencia en el uso del agua**

El análisis de los dos genotipos con los dos niveles de humedad y tres dosis de bioestimulante mostró variación significativa entre tratamientos en la duración del ciclo biológico (Cuadro 11). Los tratamientos de Tampiqueño con 100 % de humedad y 3.3 g·L<sup>-1</sup> de Glicina Betaína (GB) y Tampiqueño con 55 % de HA y 6.6 g·L<sup>-1</sup> de GB tuvieron el ciclo más tardío, ya que requirieron en promedio 11 días y 119 GD más que Jalapeño con 100 % HA y 3.3 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante para alcanzar la madurez fisiológica del fruto, debido a un mayor número de DFL, GDFL, DAF y GDFAF, lo que muestra las diferencias fenológicas que exhiben los genotipos producto de su carga genética (Moreno-Pérez *et al.*, 2011) y del ambiente de producción (Morales-Fernández *et al.*, 2020).

Es evidente que a pesar de las diferencias en los niveles hídricos de 100 y 55 % de HA en Tampiqueño, la madurez fisiológica del fruto fue similar en ambos tratamientos, lo que pudo ser debido a la acción del bioestimulante, ya que según Fariduddin *et al.* (2012), las aplicaciones de Glicina Betaína reducen los efectos negativos del déficit hídrico durante el ciclo de cultivo, debido a un ajuste osmótico en la planta, lo que le permite mantener la turgencia, proteger las actividades fotosintéticas y aumentar la conductancia estomática (Ali *et al.*, 2020).

El mayor PFP lo obtuvieron los tratamientos Jalapeño con 100 % HA y 1.6 g·L<sup>-1</sup> de GB y Jalapeño con 100 % HA y 6.6 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante, superando en 58 % a Tampiqueño con 55 % de HA y 3.3 % de bioestimulante (Cuadro 12). Los componentes que mayor contribución tuvieron con los tratamientos de mayor rendimiento fueron DFR y PPF, resultados que concuerdan con lo reportado por Morales-Fernández *et al.* (2020).

La variación en el rendimiento en los tratamientos de mayor PFP (Jalapeño con 100 % de HA y 1.6 g·L<sup>-1</sup> de GB y Jalapeño con 100 % HA y 6.6 g·L<sup>-1</sup> de GB) fue la concentración del bioestimulante, al respecto, Li *et al.* (2022), mencionan que la dosis adecuada de Glicina Betaína puede variar incluso dentro de la misma especie, etapa de crecimiento o condiciones ambientales, sin embargo, en condiciones de estrés, las concentraciones altas de bioestimulante han mostrado mayor efectividad.

**Cuadro 11. Interacción genotipo por humedad por bioestimulante sobre la fenología en el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.).**

FACTORES					
GENOTIPOS	HUMEDAD (%)	BIOESTIMULANTE (g·L <sup>-1</sup> )	DFL	GDFL	DAF
TAMPIQUEÑO	100-90	1.6	70.2abcd <sup>z</sup>	772.4abcde	74.4abc
JALAPEÑO	100-90	1.6	65.7abcde	746.7abcde	69.2abcd
TAMPIQUEÑO	55-50	1.6	75.6a	835.6ab	78.0ab
JALAPEÑO	55-50	1.6	54.7e	639.0e	59.0d
TAMPIQUEÑO	100-90	3.3	73.4ab	810.6abc	78.2ab
JALAPEÑO	100-90	3.3	57.0de	661.0de	61.5cd
TAMPIQUEÑO	55-50	3.3	72.8abc	802.6abcd	75.8abc
JALAPEÑO	55-50	3.3	59.5cde	686.2cde	63.0cd
TAMPIQUEÑO	100-90	6.6	69.8abcd	767.6abcde	73.4abcd
JALAPEÑO	100-90	6.6	60.2bcde	691.7bcde	64.2bcd
TAMPIQUEÑO	55-50	6.6	76.2a	842.0a	82.4a
JALAPEÑO	55-50	6.6	65.7abcde	747.2abcde	71.0abcd
DMSH			13.7	144.5	14.8
			<b>GDAF</b>	<b>DMF</b>	<b>GDMF</b>
			821.0abcd	103.6ab	1135.4abcd
			782.0abcd	103.5ab	1120.0abcd
			864.0ab	105.4ab	1153.2ab
			680.0d	98.2ab	1069.7bcd
			866.4ab	107.2a	1171.0a
			704.7cd	96.5b	1052.5d
			838.4abc	105.0ab	1149.6abc
			721.7bcd	98.2ab	1069.7bcd
			809.2abcd	102.8ab	1128.2abcd
			730.7bcd	99.2ab	1079.5bcd
			912.6a	107.2a	1171.0a
			800.7abcd	97.2b	1059.0cd
			156.2	9.3	91.3

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

DFL: días a floración; GDFL: grados día a floración; DAF: días a amarre de fruto; GDAF: grados día a amarre de fruto; DMF: días a madurez fisiológica; GDMF: grados día a madurez fisiológica.

El contenido de vitamina C fluctuó de 0.20 a 0.78 mg·g<sup>-1</sup> (Cuadro 12), valores que se encuentran en el rango reportado por Vera-Guzmán *et al.* (2011), que fue de 0.019 a 1.83 mg·g<sup>-1</sup> en diferentes especies de *Capsicum*, y superiores a lo reportado por Mis-Valdez *et al.* (2022) con valores de 0.042 a 0.102 mg·g<sup>-1</sup> en *Capsicum annuum*.

**Cuadro 12. Interacción genotipo por humedad por bioestimulante sobre el rendimiento y sus componentes, biomasa, contenido de vitamina C y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.).**

FACTORES			LFR (mm)	DFR (mm)	PPF (g)	NFP	
GENOTIPOS	HUMEDAD (%)	BIOESTIMULANTE (g·L <sup>-1</sup> )					
TAMPIQUEÑO	100-90	1.6	71.6a <sup>z</sup>	13.3b	272.4ab	57.0ab	
JALAPEÑO	100-90	1.6	58.6abc	20.9a	428.9a	41.3ab	
TAMPIQUEÑO	55-50	1.6	68.7ab	12.1b	218.9ab	41.8ab	
JALAPEÑO	55-50	1.6	58.1abc	21.1a	364.5ab	35.5ab	
TAMPIQUEÑO	100-90	3.3	69.1a	12.4b	236.3ab	45.6ab	
JALAPEÑO	100-90	3.3	58.6abc	21.7a	345.3ab	30.2b	
TAMPIQUEÑO	55-50	3.3	66.9abc	12.1b	172.9b	35.2ab	
JALAPEÑO	55-50	3.3	62.5abc	21.3a	393.3ab	39.5ab	
TAMPIQUEÑO	100-90	6.6	71.6a	12.5b	306.7ab	60.0a	
JALAPEÑO	100-90	6.6	52.5c	20.4a	398.3a	40.7ab	
TAMPIQUEÑO	55-50	6.6	68.0abc	12.2b	219.9ab	44.0ab	
JALAPEÑO	55-50	6.6	53.2bc	19.5a	345.7ab	38.7ab	
DMSH			15.8	4.4	223.0	27.6	
			PPF (g)	APL (cm)	CVC (mg·g <sup>-1</sup> )	MSC (g)	EUA (kg·m <sup>3</sup> )
			5.1c	99.2a	0.51bc	89.0ab	9.1a
			10.2a	81.5a	0.23d	147.2ab	11.3a
			5.2c	97.0a	0.78a	83.5ab	9.0a
			10.2a	92.0a	0.30cd	152.1a	11.9a
			5.2bc	105.0a	0.68ab	73.2ab	9.3a
			11.4a	92.0a	0.30cd	139.5ab	10.6a
			4.8c	95.5a	0.61ab	65.1b	7.5a
			9.8a	97.0a	0.30cd	123.1ab	12.3a
			5.1c	102.5a	0.51bc	92.1ab	11.1a
			9.8a	90.5a	0.20d	127.5ab	11.3a
			5.1c	96.0a	0.47bc	90.0ab	8.5a
			8.8ab	80.0a	0.34cd	133.0ab	10.5a
			3.6	29.9	5.3	84.1	6.1

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

LFR: longitud de fruto; DFR: diámetro de fruto; PPF: peso de frutos por planta; NFP: número de fruto por planta; PPF: peso promedio de fruto; APL: altura de planta; CVC: contenido de vitamina C; MSC: materia seca; EUA: eficiencia en el uso del agua.

El mayor CVC en el fruto se obtuvo en Tampiqueño con 55 % de HA y 1.6 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante, tratamiento que superó en 72 % a Jalapeño con 100 % HA y 1.6 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante y Jalapeño con 100 % HA y 6.6 g·L<sup>-1</sup>, resultados que coinciden con Meriño *et*

*al.* (2013), al haber obtenido los valores más altos de vitamina C en frutos de *Capsicum annuum* sometidos a sequía y aplicaciones de bioestimulante. Otros estudios indican que el contenido de ácido ascórbico en el fruto se incrementa cuando la planta se encuentra sometida a estrés por déficit hídrico, condición que favorece la obtención de productos nutricionalmente más sanos (Zapata-García *et al.*, 2021).

El contenido de MSC fue superior en Jalapeño con 55 % de HA y 1.6 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante (Cuadro 12), tratamiento que superó en 57 % a Tampiqueño con 55 % de HA y 3.3 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante. Estos resultados muestran el grado de respuesta que los genotipos pueden desarrollar, ya que el género *Capsicum* es de los más susceptibles al déficit hídrico (Ahmed *et al.*, 2014) y a pesar del efecto del bioestimulante (GB) en la mitigación del estrés (Ahmed *et al.*, 2021), la habilidad para responder a la sequía (Ahmed *et al.*, 2014) depende en gran medida de la respuesta genética de los materiales (Morales-Fernández *et al.*, 2020), como ocurrió en la presente investigación, en la que Jalapeño en las mismas condiciones de humedad que Tampiqueño y concentración más baja de GB, fue el que acumuló la mayor cantidad de biomasa.

### **6.6.1 Eficiencia en el uso del agua**

La eficacia en el uso de agua (EUA), es la cantidad de biomasa o rendimiento del órgano de interés económico producido por unidad de agua aplicada (Ismail, 2010). En la presente investigación, el análisis de los dos genotipos con los dos niveles de humedad y tres dosis de bioestimulante sobre la EUA no mostró diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 12). En promedio, Tampiqueño con 55 % de HA presentó una EUA de 8.3 kg·m<sup>-3</sup>, en tanto que Jalapeño en la misma condición de humedad registró 11.5 kg·m<sup>-3</sup>, resultados que superan a lo reportado por Inzunza *et al.* (2007) para Chile Jalapeño en condiciones de cielo abierto y acolchado con una EUA de 4.2 a 6.8 kg·m<sup>-3</sup>, Ismail (2010) en la misma especie de Chile en condiciones de invernadero con una EUA de 0.4 a 1.8 kg·m<sup>-3</sup> y a Pérez *et al.* (2022) en Jalapeño producido en condiciones de invernadero con una EUA de 5.5 kg·m<sup>-3</sup>. Lo que pudo ser debido a la condición genética de los materiales (Morales-Fernández *et al.*, 2020), capacidad de retención de humedad de la turba y la perlita utilizada como sustrato (Howard, 2001) y al efecto

del bioestimulante al mejorar la tolerancia de la planta a los niveles de estrés hídrico, resultado en una mejor eficiencia en el uso del agua (Hussain *et al.*, 2009).

Algunos estudios indican que una reducción moderada en el contenido de humedad del suelo podría ser beneficiosa para las plantas, al desarrollar una mejora en la eficiencia en el uso del agua (González y Hernández, 2000), como ocurrió con Jalapeño al 55 % de HA al haber mostrado una mayor eficiencia en el uso del agua y reduciendo su rendimiento en sólo 5.8 % en comparación con el de 100 % de HA, resultados que concuerdan con lo reportado por Ismail (2010), al mejorar el uso del agua en 30 % pero también notado una reducción en el rendimiento.

## VII. CONCLUSIONES

Una mayor duración en el ciclo biológico del cultivo no repercute en un mayor rendimiento, ya que Jalapeño con 100 % de humedad aprovechable y con 1.6 y 6.6 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante, de ciclo corto, registraron el mayor peso de frutos por planta.

Las variaciones en los niveles hídricos del sustrato son mitigadas por la acción del bioestimulante, ya que el tratamiento de 55 % de humedad aprovechable y 6.6 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante, presenta un rendimiento similar al de 100 % de humedad, siendo diámetro y peso promedio del fruto los componentes que más contribuyen con el peso de frutos por planta.

El mayor contenido de vitamina C se presenta en Tampiqueño con 55 % de humedad aprovechable y 1.6 g·L<sup>-1</sup> de bioestimulante.

### VIII. LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemist). 1990. Official Methods of Analysis. Arlington, Virginia, USA. 684 p.
- Aguilar V.; Corona T.; López P.; Latournerie L.; Ramírez M.; Villalón H. y Aguilar J. 2010. Los chiles de México y su distribución. Ed. SINAREFI, CP, INIFAP, IT-CONKAL, UANL y UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 108 p.
- Aguirre E. y Muñoz V. 2015. El chile como alimento. *Ciencia* 66 (3): 16-23.
- Ahmed A.; Yu H.; Yang X.; Jiang, W. 2014. Deficit Irrigation Affects Growth, Yield, Vitamin C Content, and Irrigation Water Use Efficiency of Hot Pepper Grown in Soilless Culture. *HortScience* 49 (6): 722-728.
- Ahmed N.; Zhu M.; Li Q.; Wang X.; Wan J.; Zhang Y. 2021. Glycine Betaine-Mediated Root Priming Improves Water Stress Tolerance in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agriculture* 11: 1-17.
- Ali S.; Abbas Z.; Seleiman M.; Rizwan M.; Yava Í.; Alhammad B.; Kalderis D. 2020. Glycine betaine accumulation, significance, and interests for heavy metal tolerance in plants. *Plants* 9 (7): 896.
- Allen R.; Pereira L.; Raes D.; Smith M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO. Roma. 298 p.
- Álvarez F. y Pino M. 2018. Aspectos generales del manejo agronómico del pimiento en Chile: Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes. *Boletín INIA* No. 360: 41-57.
- Arellano-Rodríguez L.; García-López J.; Rodríguez-Guzmán E. y Padilla-García J. 2018. Evaluación de cuatro sustratos sobre la producción de plántula de chile jalapeño (*Capsicum annuum*). *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias* 5 (16): 18-21.
- Ashraf M.; Foolad M. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotics stress resistance. *Environ Exp Bot.* 59: 206-216.

- Azofeifa A.; Moreira M. 2008. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. Hot) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32 (1): 19-29.
- Barrantes L. 2010. Manual de recomendaciones para el cultivo de chile, piementón o ají (*Capsicum sp.*). Mélen M. (ed.); Ramírez L. (ed). Editorial INTA. Costa Rica. 27 p.
- Barrios J.; Emicete S.; Barrios B.; Pérez G. y Zaldivar P. 2022. Acumulación de grados-día de desarrollo en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) tipo batavia en invernadero. *In: VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas* pp: 1-8.
- Bioestimulant Coalition. 2013. What are biostimulants?. En línea: <http://www.bioestimulantcoalition.org/about/>. Consultado: 11/2023.
- Bosland P.; Votava E. 2000. Peppers: Vegetable and Spice Capsicums. Ed. CABI. New Mexico.
- Cabrera-Medina M.; Borrero-Reynaldo Y.; Rodríguez-Fajardo A.; Angarica-Baró E. y Rojas-Martínez E. 2011. Efecto de tres bioestimulantes en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*, L.) variedad atlas en condiciones de cultivo protegido. *Ciencia en su PC* 4: 32-42.
- Cadahia L. 2005. *Fertirrigación: Cultivos Hortícolas y Ornamentales*. México. Ed. Mundi-Prensa. 3ª edición. 681 p.
- Casas R. 2012. *El suelo de cultivo y las condiciones climáticas*. Paraninfo. España.
- Cavani L.; Halle A.; Richard C.; Ciavatta, C. 2006. Photosensitizing properties of protein hydrolysate-based fertilizers. *J Agric Food Chem* 54: 9160–9167.
- Cedillo E.; Martínez L.; Casiano H.; Hernández D.; Padilla C. y Rodríguez M. 2021. Manual de producción de chile jalapeño y poblano (*Capsicum annuum*) bajo invernadero. Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México. pp: 13-18.
- CEDEX (Centro de Estudios y Desarrollo de Carreteras) NLT-102/91: Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa. 1958. En línea: [http://carreteros.org/normativa/otros/nlt/pdfs/negras/1991/102\\_91b.pdf](http://carreteros.org/normativa/otros/nlt/pdfs/negras/1991/102_91b.pdf). Consultado: 09/2024.

- Chawla J.; Kvarnberg D. 2014. Handbook of Clinical Neurology. Amsterdam. Ed. Elsevier B.V. pp: 891-914.
- Chen T.; Murata N. 2008. Glicina betaína: un pro-protector contra el estrés abiótico en plantas. *Tendencias en ciencia vegetal* 13: 499-505.
- Chen T.; Murata N. 2010. La glicina betaína protege a las plantas frente al estrés abiótico: mecanismos y aplicaciones biotecnológicas. *Planta, célula y medio ambiente* 34 (1): 1-20.
- Chew Y.; Vega A.; Palomo M. y Jiménez F. 2008. Principales enfermedades del chile (*Capsicum annuum* L.). INIFAP. Folleto Técnico No. 15. 2-25 p.
- Corte L.; Dell'Abate M.; Magini A. 2014. Assessment of safety and efficiency of nitrogen organic fertilizers from animal based protein hydrolysates a laboratory multidisciplinary approach. *J Sci Food Agric.* 94: 235–245.
- Cruz-Pérez A.; González-Hernández V.; Soto-Hernández R.; Gutiérrez-Espinosa M.; Gardea-Béjar, A. y Pérez-Grajales M. 2007. Capsaicinoides, vitamina C y heterosis durante el desarrollo del producto de chile manzano. *Agrociencia* 41 (6): 627-635.
- Da Silva W.; Furtado N.; Batista M.; Rodrigues F.; Rezende P.; Rezende F. 2020. Eficiencia dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. *Irriga, Inovagri. Notas Técnicas.* 25: 754-763.
- Del Pino M. 2015. Guía Didáctica: Cultivo y Manejo del Pimiento (*Capsicum annuum* L.). Curso de Horticultura y Floricultura. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina. pp: 1-19.
- Di Vaio C.; Marallo N.; Marino G.; Caruso T. 2013. Effect of water stress on dry matter accumulation and partitioning in pot-grown olive trees (cv Leccino and Racioppella). *Scientia Horticulturae* 164 (2013): 155-159.
- Domingo J.; Fernández R.; Corral E. y Rapp Í. 2006. Estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo: revisión del parámetro CRA. *Sistemas y recursos forestales* 15 (1):14-23.

- Drechsler K.; Kisekka I.; Upadhyaya S. 2019. A comprehensive stress indicator for evaluating plant water status in almond trees. *Agricultural Water Management* 216: 214-223.
- European Biostimulants Industry Council. 2012. EBIC and biostimulants in brief. En línea: <http://www.biostimulants.eu/>. Consultado: 11/2023.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2021. *FAOSTAT*. Cultivos y productos de ganadería. En línea: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>. Consultado: 07/2023.
- Fariduddin Q.; Varshney P.; Yusuf M.; Ali M.; Ahmad A. 2012. Dissecting the role of glycine betaine in plants under abiotic stress. *Plant Stress* 7 (1): 8-18.
- Fernández R. y Camacho F. 2005. Eficiencia en el uso del agua. *Revista Viveros* 86-89.
- Flores R.; Livera M.; Colinas M.; Gaytán E. y Muratalla S. 2008. Producción de plántulas de ciclamen (*Cyclamen persicum* Mill.) en sustratos basados en polvo de bonote de coco. *Revista Chapingo Serie Hortícola* 14 (3): 309-318.
- Galindo-García D.; Alia-Tejacal I.; Andrade-Rodríguez M.; Colinas-León M.; Canul-Ku J. y Sainz-Aispuro M. 2012. Producción de nochebuena de sol en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (4): 751-763.
- Garza E. 2002. Manejo integrado de las plagas del chile en la Planicie Huasteca. INIFAP-CIRNE. Folleto Técnico No. 10. pp: 1-28.
- Girón I.; Corell M.; Galindo A.; Torrecilla E.; Morales D.; Dell'Amico J.; Moriana A. 2015. Changes in the physiological response between leaves and fruits during a moderate water stress in table olive trees. *Agricultural Water Management* 148: 280-286.
- Godowatte V.; De Silva C. 2014. Effect of Mulch on Soil Properties, Growth and Yield of Chili (*Capsicum annuum* L.) Exposed to Temperature Stress due to Global Warming. *Journal and Engineering and Technology* 2 (2): 15-28 .
- Golian M.; Mezeyová I.; Andrejiová A.; Hegedúsová A.; Adamec S.; Štefániková J.; Árvay J. 2024. Effects of selected biostimulants on qualitative and quantitative parameters of nine cultivars of the genus *Capsicum spp.* *Open Agriculture* 9: 1-16.

- González A. y Hernández B. 2000. Estimación de las necesidades hídricas del tomate. *Terra Latinoamericana* 18 (1): 45-50.
- González C.; Quintero Q.; Tafur H. y Flórez V. 2017. Lisímetros de pesada. *In: Consideraciones sobre producción, manejo y poscosecha de flores de corte con énfasis en rosa y clavel.* Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 167-188 p.
- Google Earth. 2023. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. En línea: <https://earth.google.com/web/search/Facultad+de+Ciencias+Agr%C3%ADcolas+y+Pecuarias,BUAP,+Universidad,+Primera,+San+Juan+Acateno,+Pue./@19.8757076,-97.3606402,1663.36165252a,789.2088678d,35y,0h,0t,0r/data=Cs0BGp4BEpcBCiQweDglZGFYmU1ZGIwNDliNjU6MHhmMzY4OD>. Consultado: 09/2023.
- GRIN (Germplasm Resources Information Network). 2014. National Plant Germplasm System: Peppers. Germplasm Resources Information Network. En línea: <https://www.ars-grin.gov/Collections#plant-germplasm>. Consultado: 07/2023.
- Grosso G.; Bei R.; Mistretta A.; Marventano S.; Calabrese G.; Masuelli L.; Gazzolo D. 2013. Effects of vitamin C on health: A review of evidence. *Front Biosci-Landmark* 18: 1017-29.
- Guevara R.; Pons J.; Torres I. y González M. 2018. Manual práctico para el cultivo del chile. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Hammani S.; Costagli G.; Rapoport H. 2013. Cell and tissue of olive endo-carp sclerification vary according to water availability. *Physiologia Plantarum* 149: 571-582.
- Hartge R.; Horn R. 2009. Die physikalische Untersuchung von Böden. Praxis Messmethoden Auswertung. Suiza, Stuttgart.
- Hernández-Figueroa K.; Sánchez-Chávez E.; Ojeda-Barrios D.; Muñoz-Máquez E. y Palacio-Márquez A. 2022. Efectividad a la aplicación de bioestimulantes en frijol ejotero bajo estrés hídrico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 28: 149-160.

- Hironaka K.; Kikuchi M.; Koaze H.; Sato T.; Kojima M.; Yamamoto K.; Tsuda S. 2011. Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation. *Food Chem* 127 (3): 114-128.
- Hoque M.; Banu M.; Nakamura Y.; Shimoishi Y.; Murata Y. 2008. Proline and glycinebetaine enhance antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems and reduce NaCl-induced damage in cultured tobacco cells. *Plant Physiol* 165: 813-824.
- Howard R. 2001. *Cultivos Hidropónicos Nuevas técnicas de producción*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Howell T.; Schneider A.; Jensen M. 1991. History of lysimeter design and use for. *In: Lisymeters for Evapotranspiration and Environmental*. Allen R.; Howell T.; Pruitt I.; Jensen M. Proceedings of International Symposium on Lysimetry, ASCE. New York.
- Hussain M.; Malik M.; Farooq M.; Khan M.; Akram M.; Saleem M. 2009. Exogenous glycine betaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195: 98-109.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Teziutlán, Puebla. En línea: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/21174.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21174.pdf). Consultado: 07/2023.
- INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura). 2017. La glicina betaína como biostimulante ante el estrés salino en los cultivos. Obtenido de Serie Nutrición Vegetal Núm. 96: En línea: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-glicina-betaína-como-bioestimulante-ante-el-estrés-salino>. Consultado: 09/2024.
- Inzunza M.; Mendoza S.; Catalán E.; Villa M.; Sánchez I. y Román A. 2007. Productividad del chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. *Rev. Fitotec.* 30 (4): 429-436.
- Ismail S. 2010. Influence of deficit irrigation on water use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annum* L.). *Arid Land Agric. Sci.* 21: 29-43.

- Jaimez R.; Añez B. y Espinosa W. 2010. Desfloración: Su efecto sobre el aborto de estructuras reproductivas y rendimiento en pimentón (*Capsicum annumm* L.). Revista Facultad Agronomía 27: 418-432.
- Kirkham M. 2005. Field capacity, wilting point, available water, and the non-limiting water range. Principles of soil and plant water relations. Ed. Elsevier. pp:101-115.
- Kondo Y.; Higashi C.; Iwama M.; Ishihara K.; Handa S.; Mugita H.; Ishigami A. 2012. Bioavailability of vitamin C from mashed potatoes and potato chips after oral administration in healthy Japanese men. Brit J Nutr 107 (6): 885-92.
- Kraft K.; Brown C.; Nabhan G.; Luedeling E.; Luna-Ruiz J.; Coppens G.; Gepts P. 2014. Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annumm*, in Mexico. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111: 6165-6170.
- Latournerie M.; Aguilar R.; López L.; Ramírez M.; Corona T.; López S. y Villalón M. 2010. Los recursos genéticos del chile (*Capsicum spp.*) en México: estudio, conservación y utilización. Resúmenes Ejecutivos Ejercicio 2010. SNICS. 157-159.
- Leonardo R. 2013. Biofertilizantes como opción de naturación de azoteas en zonas urbanas. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal. 76 p.
- Li J.; Van-Gerrewey T.; Geelen D. 2022. A meta-analysis of biostimulant yield effectiveness in field trials. Frontiers in Plant Science 13: 1-13.
- López I.; Kemp P.; Dörner J.; Descalzi C.; Balocchi O.; García S. 2013. Competitive strategies and growth of neighboring *Bromus valdivianus* Phil. and *Lolium perenne* L. plants under water restriction. Journal of Agronomy and Crops Science 199: 449-459.
- López N. y López A. 2012. Uso de un sustrato alternativo a la turba para la producción viverística de plantas hortícolas y aromáticas. Revista Recursos Rurais 8: 116-121.
- Losada A. 2005. El riego II: Fundamentos de su hidrología y de su práctica. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

- Luna L.; Robledo V.; Ramírez F.; Mendoza R.; Pérez M. y Gordillo F. 2021. Comportamiento agronómico y nutracético de poblaciones F2 desarrolladas de cruza interracial de Chile. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12 (1): 23-36.
- Luna-García L.; Robledo-Torres V.; Vásquez-Badillo M.; Ramírez-Godina F. y Mendoza-Villareal R. 2018. Hibridación entre diferentes tipos de chiles y estimación de la heterosis para rendimiento y calidad de fruto. *Información Técnica Económica Agraria (ITEA): Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA)* 114 (2): 119-134.
- Maatallah M.; Ghanem M.; Albouchi A.; Bizid E.; Lutts S. 2010. A greenhouse investigation of responses to different water stress regimes of *Laurus nobilis* trees from climatic regions. *Journal of Arid Environments* 74: 327-337.
- Macias-Rodriguez H.; Muñoz-Villalobos J.; Velásquez-Valle M.; Potisek-Talavera M. y Villacastorena, M. 2013. Chile Habanero: Descripción de su cultivo en la península de Yucatán. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 12: 37-43.
- Majkowska-Gadomska J.; Dobrowolski A.; Jadwisieńczyk K.; Kaliniewicz Z.; Francke A. 2021. Effect of biostimulants on the growth, yield and nutritional value of *Capsicum annuum* grown in an unheated plastic tunnel. *Scientific reports* 11: 1-14.
- Makela P.; Munns R.; Colmer T.; Condon, A.; Peltonen-Sainio P. 1998. Effect of foliar applications of glycine betaine on stomatal conductance, abscisic acid and soluble concentrations in leaves of salt or drought stressed tomato. *Australian Journal of Plant Physiology* 25: 655-663.
- Mansour-Gueddes S.; Tarchoun N.; Teixeira J.; Saguem S. 2010. Agronomic and Chemical Evaluation of Seven Hot Pepper (*Capsicum annuum* L.) Populations Grown in an Open Field. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology* 4 (1): 93-97.
- Mardaninejad S.; Hassan S.; Pessarakli M.; Zareabyaneh H. 2017. Physiological Responses of Pepper Plant (*Capsicum annuum* L.) to Drought Stress. *Journal of Plant Nutrition* 40 (10): 1453-1464.

- Marín A.; Rubio J.; Martínez V.; Gil M. 2009. Antioxidant compounds in green and red peppers as affected by irrigation frequency, salinity and nutrient solution composition. *J. Sci. Food Agr* 89: 1352-1359.
- Marsanasco M.; Márquez A.; Wagner J.; Alonso S.; Chiaramoni S. 2011. Liposomes as vehicles for vitamins E and C: An alternative to fortify orange juice and offer vitamin C protection after heat treatment. *Food Res Int* 44 (9): 39-46.
- Meriño Y.; Boicey T.; González G.; Boudet A.; Gómez, Y.; Zambrano O. 2013. Respuesta agronómica del cultivo del pimiento (*Capsicum annuum* L.) al déficit hídrico y la aplicación del Biobrás-Plus. *Centro Agrícola* 41 (3): 71-77.
- Mis-Valdez Y.; Hernández M.; Garruña R.; Medina K. y Andueza-Noh R. 2022. Características fenotípicas, nutricionales y nutraceuticas de frutos de chile X'Catik, dulce y su híbrido F1 (*Capsicum annuum* L.). *Polibotánica* 53: 183-185.
- Montaño N. y Belisario H. 2012. Comportamiento agronómico de siete cultivares de pimentón (*Capsicum annuum* L.). *UDO Agrícola* 12 (1): 32-44.
- Montes S.; Heredia E. y Aguirre A. 2004. Fenología del cultivo del chile (*Capsicum annuum* L.). *In: Cultivo y recursos genéticos. Primera convención mundial de chile. León y Celaya, Guanajuato, México.* 23-27 p.
- Morales-Fernández S.; Moreno-Velázquez D.; Trinidad-De Jesus S.; Ibáñez-Martínez A. y Tobar-Reyes R. 2020. Fenología y contenido de capsaicinoides en chile producidos en condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11 (3): 663-675.
- Moreno L. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. *Agronomía Colombiana*, 27 (2): 179-191.
- Moreno-Pérez E.; Mora-Aguilar R.; Sánchez-Del Castillo F. y García-Pérez V. 2011. Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Rev. Chapingo Ser. Hortic* 17 (2): 5-18.
- Munns R.; Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol* 59: 651-681.

- Nobel P. 2009. Plants and Fluxes. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology* 4: 438-505.
- Nuez F.; Gil R.; Costa J. 2003. El cultivo de pimientos, chiles y ajies. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Ojodeagua J.; Castellanos J.; Muñoz J.; Alcántar G.; Tijerina L.; Vargas P. y Enríquez S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31 (4): 367-374.
- Parra-Coronado A.; Fischer G. y Chaves-Cordoba B. 2015. Tiempo térmico para estados fenológicos reproductivos de la feijoa (*Acca sellowiana* (O.Berg) Burret). *Acta biológica colombiana* 20 (1): 163-173.
- Pascual, B. 2008. Riegos de gravedad y a presión. Ed. Alfaomega. México. 376 p.
- Pérez G.; Berdeja R.; Méndez J.; Escobar R. y Fermín H. 2022. Productividad del agua en chile jalapeño (*Capsicum annuum*) bajo invernadero en cuatro sustratos. *In: VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas*. pp: 1-11.
- Pérez-Castañeda L.; Castañon-Najera G.; Ramírez-Meraz M. y Mayek-Pérez N. 2015. Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum spp.* *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2 (4): 117-128.
- Qadir G.; Cheema M.; Hassan F.; Ashraf M.; Wahid M. 2007. Relationship of heat units accumulation and fatty acid composition in sunflower. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 44 (1): 24-29.
- Quesada G. 2015. Producción de chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de agotamiento en la humedad del sustrato. *Agronomía Costarricense* 39 (1): 25-36.
- Quintal W.; Pérez-Gutiérrez A.; Latournerie L.; Ruiz E. y Martínez A. 2012. Uso de agua, potencial hídrico y rendimientos en chile habanero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35 (2): 155-160.
- Ramchiary N.; Kole C. 2019. The Capsicum genome. Ed. Springer Nature Switzerland AG. New Delhi, India.

- Ramírez L.; Castillo A.; Aceves N. y Carrillo A. 2005. Efecto de productos con reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile habanero. *Revista Chapingo serie Horticultura* 11 (1): 93-98.
- Rico-Guerrero L.; Medina-Ramos S.; Muñoz-Sánchez C.; Guevara-Olvera L.; Guevara-González R.; Guerrero-Aguilar B.; González-Chavira M. 2004. Detección de *Phytophthora capsici* Leonian en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.) mediante PCR. *Revista mexicana de Fitopatología* 22: 1-6.
- Rueda R.; Reyes J.; Romero M. y Montes C. 2016. *Prácticas Culturales en Chile Serrano en la Sierra Norte de Puebla*. Ed. Lirio. Puebla, México.
- Ruiz-Sánchez E.; Chan-Escalante Z.; Ballina-Gómez H.; Fernández-Herrera M. y Góngora-Gamboa C. 2022. Efecto de bioestimulantes en el crecimiento, características foliares y densidad poblacional de *Bemisia tabaci* en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 25: 1-7.
- Saavedra G. 2019. Pimiento y Ají (*Capsicum annuum*). *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias* 41: 121-177.
- Salazar-Moreno R.; Rojano-Aguilar A. y López-Cruz I. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua* 5 (2): 177-183.
- Scheibler C. 1869. Ueber das betain, eine im safte der zuckerrüben (*Beta vulgaris*) vorkommende pflanzenbase. *Ber Dtsch Chem Ges* 2: 292-295 .
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2022. Al que no quiere jalapeño, no es mexicano. En línea: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/al-que-no-quiere-jalapeno-no-es-mexicano>. Consultado: 06/2023.
- Shaik-Dasthagirisaheb Y.; Varvara G.; Murmura G.; Saggin A.; Caraffa A.; Antinolf P.; Pandolf F. 2013. Role of vitamins D, E and C in immunity and inflammation. *Journal of Biological Regulators & Homeostatic Agents* 27 (2): 291-295.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. En línea: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado: 06/2023.
- Sikder S. 2009. Accumulated heat unit and phenology of wheat cultivars as influenced by late sowing heat stress condition. *J Agric Rural Dev* (7): 57-64.
- Soto M. 2013. Manual de azoteas verdes. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México. 78 p.
- Trudgill D.; Honek A.; Li D.; Van Straalen N. 2005. Thermal time: Concepts and utility. *Ann Appl Biol* 146 (1): 1-14.
- Urrestarazu M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. 3ra edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Valadez A. 2001. Producción de hortalizas. Solanaceas 9a. Ed. Limusa. México. 298 p.
- Vera-Guzmán A.; Chávez-Servia J.; Carrillo-Rodríguez J.; López M. 2011. Phytochemical evaluation of wild and cultivated pepper (*Capsicum annuum* L. and *C. pubescens* Ruiz & Pav.) from Oaxaca, Mexico. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71 (4): 578-585.
- Villalobos V.; Ávila F. y García M. 2017. El agua para la agricultura de las Américas. Colegio de Postgraduados: Fundación COLPOS, 152 p.
- Vistoso E. y Martínez-Lagos J. 2021. Temperatura: limitante clave en el crecimiento de cultivos y praderas de la Región de los Ríos. *INIA Remehue* 284: 1-4.
- Yancey P. 2005. Organic osmolytes as compatible, metabolic and counteracting cytoprotectants in high osmolarity and other stresses. *Exp Biol* 208: 2819-2830.
- Yang X.; Liang Z.; Lu C. 2005. Genetic engineering of the biosynthesis of glycinebetaine enhances photosynthesis against high temperature stress in transgenic tobacco plants. *Plant Physiol*, 138: 2299-2309.

Yáñez N.; Dec D.; Clunes J.; Dörner J. 2015. Estimación de la curva de retención de agua de un Andisol bajo un cultivo de arándano, a través de funciones de pedotransferencia. *Agro Sur* 43 (3): 63-72.

Zapata-García S.; Espinosa-Jimenez P.; Pérez-Pastor A. 2021. Water stress preconditioning in melon by using biostimulants. *In: 10th Workshop on Agri-food Research for young researchers*. Cartagena, Spain. pp: 50-53.



Oficio No. FCAyP/803/2024

**Rosa Izel Casanova Calzada**  
**Egresada de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias**  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**PRESENTE**

Con base en el dictamen emitido por el Dr. Sigfrido David Morales Fernández (**Director de Tesis**), Dr. Juan Manuel Barrios Díaz (**Asesor**), Dra. Delia Moreno Velázquez (**Asesora**) y M.C. Fabiel Vázquez Cruz (**Asesor**) en su calidad de Consejo Particular, se autoriza la elaboración digital de la tesis titulada:

**“Respuesta agronómica de *Capsicum annum L.* a diferentes niveles hídricos en sustrato y bioestimulante foliar”**

Correspondiente a la Licenciatura en Ingeniería Agrohidráulica.

Sin otro particular por el momento me despido de Usted.

**Atentamente**

“Pensar bien, para vivir mejor”

San Juan Acateno, Teziutlán, Pue., a 25 de Noviembre de 2024.

**Dr. Armando Ibáñez Martínez**

Director de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias



c.c.p. - Archivo y Minutario  
Dr. AIM/mlsm