



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

HUMEDAD DEL SUELO EN EL CRECIMIENTO Y CONTENIDO DE
CAPSAICINA EN FRUTOS DE *Capsicum spp.*

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

ADRIANA OLIVER BOCARANDO

DIRECTOR DE TESIS

DR. SIGFRIDO DAVID MORALES FERNANDEZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Mayo de 2021



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

HUMEDAD DEL SUELO EN EL CRECIMIENTO Y CONTENIDO DE
CAPSAICINA EN FRUTOS DE *Capsicum spp.*

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

ADRIANA OLIVER BOCARANDO

DIRECTOR DE TESIS

DR. SIGFRIDO DAVID MORALES FERNANDEZ

ASESORES

DRA. DELIA MORENO VELÁZQUEZ

M. C. FABIEL VAZQUEZ CRUZ

M. C. CESAR DAVID TORRES FERNANDEZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Mayo de 2021

La presente tesis titulada: **Humedad del suelo en el crecimiento y contenido de capsaicina en frutos de capsicum spp** y realizada por **Adriana Oliver Bocarando** ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el Título de:

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁHULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

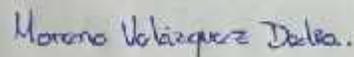
Consejo Particular integrado por:

Firma

Director: Dr. Sigfrido David
Morales Fernández



Asesor: Dra. Delia Moreno Velázquez



Asesor: M. C. Fabiel Vázquez Cruz



Asesor: M. C. Cesar David Torres
Fernández



San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Mayo de 2021.

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado:
**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

Este trabajo lo dedico con todo mi amor y cariño a mi abuelita Sra. Carolina Nicolás Isidro quien siempre me apoyo incondicionalmente con todo su cariño y amor, brindándome consejos para siempre tratar de salir adelante sin importar las circunstancias y aunque por ahora no estamos juntas sé que donde quiera que esté se sentirá orgullosa de saber lo logrado hasta hoy.

A mis padres Sr. Jesús Oliver y Sra. Anabel Bocarando Montalvo por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera, para mi futuro y por creer en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado brindándome su comprensión, paciencia, cariño y amor.

A mis hermanas Lesly Carolina y Ana Iris por estar a mi lado durante este tiempo y por darme la orientación para no rendirme. A Dios, por permitirme vivir esta experiencia y acompañarme en cada paso que doy, por iluminar mi mente y darme fortaleza.

A mi director de tesis Dr. Sigfrido David Morales Fernández por su apoyo incondicional en la realización de esta tesis y orientarme durante este proceso brindándome todos esos conocimientos que contribuyeron a este trabajo.

A mis asesores de tesis por orientarme y ayudarme a llevar a cabo este trabajo y por el tiempo dedicado mediante el cual me transmitieron sus conocimientos para culminar este proyecto.

A todos los maestros que contribuyeron a mi formación profesional con su orientación, conocimientos, amistad y consejos a lo largo de la carrera.

A mis compañeros y amigos presentes y pasados, con los que conviví durante mi formación universitaria.

Al personal administrativo y de apoyo, por la amistad formada durante mi estancia en la universidad.

AGRADECIMIENTOS

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por haberme permitido formar parte de su institución y utilizar sus instalaciones en la realización de esta tesis.

A la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias por brindarme los espacios correctos y necesarios para lograr mis objetivos de educación superior.

Al Dr. Sigfrido por su apoyo incondicional para la realización de esta investigación, por el tiempo, comprensión, paciencia, confianza y amistad. Gracias.

A la Dra. Delia por su contribución profesional para la realización y revisión de este trabajo.

Al M.C. Fabiel Vázquez Cruz por su apoyo brindado durante la presente investigación y revisión del trabajo.

Al M.C. Cesar David Torres Fernández por ayudarme la realización y revisión de esta trabajo.

A los M.C Iván Ramírez Ramírez y Dr. Víctor A. González Hernández por permitirme utilizar el laboratorio de extracción para la realización de mis determinaciones de capsaicina.

Al personal docente, por el conocimiento recibido, sus consejos y por la amistad obtenida que perdurara siempre.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. HIPOTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Antecedentes e importancia del chile	5
4.2. Taxonomía del genero <i>Capsicum</i>	6
4.3. <i>Capsicum chine</i>	7
4.3.1. Clasificación taxonómica	7
4.3.2. Descripción botánica	8
4.3.3. Condiciones de desarrollo del chile habanero	8
4.4. <i>Capsicum annuum</i> var. <i>Aviculare</i>	9
4.4.1. Condiciones de crecimiento del cultivo de chiltepín	9
4.5. <i>Capsicum annuum</i> L. Mirasol	10
4.5.1. Importancia del cultivo	10
4.6. Crecimiento del cultivo	11
4.7. Crecimiento en grados día de desarrollo (GDD)	11
4.8. Requerimientos ambientales	12
4.8.1. Temperatura	12
4.8.2. Radiación	13
4.8.3. Humedad relativa del suelo	13
4.8.4. Sustrato	13
4.9. Plagas y Enfermedades presentes en el cultivo de chile	13
4.9.1. Plagas	13
4.9.2. Enfermedades	14
4.10. Humedad del suelo y contenido de capsaicinoides	15
4.10.1. Humedad de las plantas y cómo afecta su crecimiento	15

4.10.2. Los capsaicinoides.....	16
4.10.3. Relación entre humedad y contenido de capsaicinoides.....	17
V. MATERIALES Y METODOS.....	20
5.1. Ubicación del experimento.....	20
5.2. Material vegetal.....	20
5.4. Manejo del cultivo.....	23
5.5. Variables a evaluar.....	23
5.5.1. Número de días y grados día (GD) a iniciación floral.....	23
5.5.2. Número de días y grados día (GD) a amarre de fruto.....	24
5.5.3. Número de días y grados día (GD) a madurez fisiológica.....	24
5.5.4. Número de días y grados día (GD) a madurez comercial.....	24
5.5.5. Altura de la primera flor (APF, cm).....	24
5.5.6. Peso de frutos por planta al tercer corte (PFP, g).....	24
5.5.7. Longitud del fruto (LF, cm).....	24
5.5.8. Grosor del fruto (GF, cm).....	24
5.5.9. Numero de frutos al tercer corte (NF).....	25
5.5.10. Peso promedio del fruto (PPF, g).....	25
5.6. Materia seca.....	25
5.7. Contenido de capsaicina.....	25
5.7.1. Extracción.....	25
5.7.2. Análisis estadístico de los datos.....	27
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	28
6.1. Temperatura máxima, mínima y media registrada en invernadero.....	28
6.2 cuadrados medios de las variables: crecimiento, rendimiento, biomasa y contenido de capsaicina.....	29
6.3. Comparación de medias de los factores principales.....	30
6.3.1. Genotipos.....	30
6.3.2. Contenido de humedad.....	31
6.4. Comparación de medias de los efectos de interacción genotipo por contenido de humedad.....	33
6.4.1. Fenología.....	33
6.4.2. Rendimiento y biomasa.....	34
6.5. Concentración de capsaicina en frutos de <i>capsicum</i>	35
VII. CONCLUSIONES.....	38

VIII. LITERATURA CITADA 39

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Colectas de chile utilizadas en la investigación.	22
Cuadro 2. Diseños de tratamientos a utilizar.	23
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variabes fenologicas, rendimiento, materia seca y capsaicina del cultivo de chile (<i>Capsicum spp.</i>). Teziutlan, Puebla. Primavera 2021.	30
Cuadro 4. Fenología, rendimiento y materia seca en el factor genotipos de chile. Teziutlán, Puebla. Primavera 2020.	32
Cuadro 5. Fenología, rendimiento y materia seca en el factor contenido de humedad en chile. Teziutlán, Puebla. Primavera 2020.	34
Cuadro 6. Efecto de la interacción genotipo x humedad en el cultivo de chile (<i>Capsicum spp.</i>) Sobre las etapas fenológicas. Teziutlán, Puebla. Primavera 2021.	35
Cuadro 7. Efecto de la interacción genotipo x humedad en el cultivo de chile (<i>Capsicum spp.</i>) En rendimiento y contenido de materia seca. Teziutlán, Puebla. Primavera 2021.	37
Cuadro 8. Contenido de capsaicina en frutos de chile (<i>Capsicum spp.</i>) en los factores genotipos y niveles de humedad. Teziutlán, Puebla. Primavera 2021.	39
Cuadro 9. Efecto de la interacción genotipo por niveles de humedad sobre el contenido de capsaicina en frutos de chile (<i>Capsicum spp.</i>). Teziutlán, Puebla. Primavera 2021.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Ubicación del sitio experimental.....	21
Figura 2. Comportamiento de las temperaturas del aire en condiciones de invernadero. Las flechas indican la ocurrencia de las etapas fenológicas a partir del 15 de Julio del 2020 al 17 de febrero del 2021.....	29

RESUMEN

El chile (*Capsicum spp.*) fue uno de los primeros cultivos domesticados en Mesoamérica, México es el país con la mayor diversidad genética de *Capsicum*. La planta sintetiza y acumula capsaicinoides, un grupo de alcaloides responsables del picor, ubicados principalmente en el tejido de la placenta adyacente a las semillas, los niveles de éstos depende de muchos factores, entre ellos, las deficiencias hídricas.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de tres niveles de humedad en el suelo sobre el crecimiento y contenido de capsaicina en frutos de tres genotipos de chile. Se estableció bajo el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en condiciones de invernadero.

Se evaluó el número de días y grados día a iniciación floral, amarre de fruto, madurez fisiológica y madurez comercial, altura de la primera flor, peso de frutos al tercer corte, longitud y grosor del fruto, número de frutos al tercer corte, peso promedio del fruto, materia seca y contenido de capsaicina por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Las plantas desarrolladas con el 50 % de humedad redujeron en 34 % el ciclo biológico y 68 % el rendimiento de fruto. Habanero con 50 % de humedad registró el ciclo de cultivo más corto, sin embargo, el peso de fruto por planta fue mayor (110 g) comparado con Mirasol y Chiltepín en las mismas condiciones de humedad. En general, Habanero fue el genotipo que presentó el mayor contenido de capsaicina independientemente del estado de humedad en el sustrato (1.44-1.81 mg.g⁻¹).

Palabras clave: *Capsicum spp.*, fenología, rendimiento, capsaicina, humedad.

ABSTRACT

Chili (*Capsicum spp.*) was one of the first domesticated crops in Mesoamerica, Mexico is the country with the greatest genetic diversity of *Capsicum*. The plant synthesizes and accumulates capsaicinoids, a group of itching-responsible alkaloids, located mainly in the placenta tissue adjacent to the seeds, levels of these depends on many factors, including water deficiencies. The objective of this work was to determine the effect of three moisture levels on the soil on the growth and content of capsaicin in fruits of three chili genotypes. It was established under randomized block design random complete blocks with three repetitions under greenhouse conditions.

The number of days and degrees day to floral initiation, fruit mooring, physiological maturity and commercial maturity, height of the first flower, weight of fruits at the third cut, length and thickness of the fruit, number of fruits at the third cut, average fruit weight, dry matter and capsaicin content by high performance liquid chromatography (HPLC) are evaluated. Plants developed with 50% humidity reduced the biological cycle by 34% and fruit yield by 68%. Habanero with 50% humidity recorded the shortest growing cycle, however, the fruit weight per plant was higher (110 g) compared to Mirasol and Chiltepín under the same moisture conditions. In general, Habanero was the genotype that had the highest content of capsaicin regardless of the moisture state in the substrate (1.44-1.81 mg. g⁻¹).

Keywords: *Capsicum spp.*, phenology, performance, capsaicin, humidity.

I. INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum* spp.) fue de los principales cultivos domesticados en Mesoamérica y en la actualidad es considerado como uno de los ingredientes principales en la comida mexicana. México es el país del mundo donde existe una mayor diversidad de especies de *Capsicum*; esto se debe a la variedad de climas y suelos, sin embargo pero no más importante, se reconoce que también influye la manera en cómo se manejan las practicas del cultivo y la selección de las semillas nativas. (Latournerie et al., 2002).

Los frutos de *capsicum* son importantes en la alimentación humana siendo consumidas en diferentes presentaciones. La planta sintetiza y acumula capsaicinoides, un grupo de alcaloides responsables del picor y ubicados principalmente en el tejido de la placenta adyacente a las semillas (Ben-Chaim et al., 2006). Se plantea que los responsables del 90 % del picor de los frutos son la capsaicina y la dihidrocapsaicina. La presencia o ausencia de capsaicinoides, o su concentración, pueden variar dentro de la misma especie con contenidos muy diferentes (Estrada et al., 1999). Su concentración varía dependiendo de la variedad, el estado fisiológico y el ambiente donde éste mismo se desarrolle. (Zewdie y Bosland, 2000).

El cultivo de chile y la duración de cada una de las etapas esta determinado por la variedad, ambiente y de la interacción variedad - ambiente. En la especie *Capsicum annuum* su ciclo biológico tiene una duración de 4 a 5 meses; en otras especies de tipo silvestre, el periodo de establecimiento a la madurez comercial puede ser mayor a los 8 meses (Pérez- Grajales y Castro-Brindis 2008).

Las alteraciones producidas por la poca disponibilidad de agua en los metabolitos secundarios son complejas, porque afectan tanto a la adquisición de carbono y nutrientes, como al

transporte de solutos. Consecuente a esta condición la acumulación de metabolitos puede aumentar o disminuir en función de la duración o severidad de este estrés. Se han encontrado algunos reportes en los que se ha registrado el efecto del estrés hídrico en la producción de capsaicinoides en diferentes cultivares de *Capsicum annum*, principalmente (Estrada et al., 1999; Sung et al., 2005).

Los valores de picor en el fruto de *capsicum* son ocasionados por dos factores, los genéticos de la planta y los que interactúan con el medio ambiente. Algunas investigaciones han registrado respuestas significativas en relación al resultado de estrés hídrico y nutrición con respecto a la acumulación de capsaicinoides, (Estrada et al., 1999). En contraste a esto Borges et al. (2010), registraron que al aumentar la aplicación de N, P y K en chile jalapeño (*C. annum* L.) la producción de capsaicina disminuyó. En México las investigaciones en el cultivo chile se han enfocado principalmente en genotipos de importancia económica para los productores, dejando a un lado las especies nativas que también son cultivadas pero en menor cantidad y en la mayoría de los casos para el consumo familiar de la población, lo que ha ocasionado la pérdida de los recursos fitogenéticos importantes en los procesos de mejora genética.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de los niveles de humedad en el suelo sobre el crecimiento y contenido de *capsaicina* en frutos de chile.

2.2. Objetivos específicos

- Estimar la fenología, rendimiento y sus componentes en tres genotipos de chile.
- Estimar la concentración de capsaicina en frutos con madurez comercial.

III. HIPOTESIS

El uso de diferentes niveles hídricos en el suelo repercutirá en el crecimiento de las plantas y acumulacion de *capsaicina* en frutos de chile.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Antecedentes e importancia del chile

Las variables del género *Capsicum* son procedentes del Centro y Sudamérica. El mayor número de las especies silvestres de *Capsicum* se presentan en Brasil y disminuyen conforme se alejan de esta región de la siguiente manera: 14 en Brasil, 8 en Bolivia y Argentina, 7 en Perú y Ecuador, 6 en Colombia y 4 en México. No se sabe con certeza cuales son las características primitivas en *Capsicum*, por lo que no se puede saber que especie es la ancestral. Sin embargo, puede pensarse que su centro de origen fue en la parte oeste del Amazonas, en la región que comprende Bolivia y norte de Argentina y las regiones centro y sur de Brasil (Hernández-Verdugo et al., 1999).

De acuerdo con los especialistas, México es uno de los principales centro de origen y domesticación. Se ha podido confirmar que este cultivo está presente desde el año 7000 al 2555 a. C. en algunos estados de Puebla, y Tamaulipas. México es el único país del mundo con una extensa diversidad de *Capsicum* gracias a la variedad de climas y suelos, pero también a las labores tradicionales de cultivo que realizan los productores utilizando las semillas de frutos seleccionados de las plantas nativas (Aguirre-Hernández y Muñoz-Ocotero, 2015).

En México se utiliza la palabra "chile", del náhuatl chilli o xilli, para dar mención a frutos de *Capsicum*. Aunque en Sudamérica lo llamaban "ají", y ese nombre ha sido adoptado en varios países del mundo en la actualidad como en España. Debido a que este cultivo era intercambiado como especia para su comercialización en España y países de primer mundo. Por lo que el género *Capsicum* tuvo una rápida aceptación y distribución en la población del viejo Continente, en comparación a otros cultivos provenientes de América que demoraron años en ser

conocidas por los europeos (Djamgoz y Isbilen, 2006; Mori et al., 2006).

En el valle de México el cultivo de chile se sembraba en chinampas, una novedosa manera de cultivar especies en nuestro país y que tuvo influencia en la manera de cultivar en el mundo (Djamgoz y Isbilen, 2006; Mori et al., 2006).

El fruto de la mayoría de los genotipos silvestres crece hacia arriba y tiene un llamativo color, lo que atrae a las aves, que al comer el fruto contribuyen a su dispersión, pues no digieren todas las semillas y al evacuar durante el vuelo propician que la planta crezca en otras zonas. En cambio, el fruto de las especies domesticadas tiende a colgar, lo que provoca que sea de mayor tamaño y además evita que las aves lo coman; esto lo reserva para el consumo humano y permite que pueda propagarse sólo con la intervención del ser humano. El cultivo de las distintas variedades de chile se adapta a diversos climas y tipos de suelo, en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 2 500 m (Djamgoz y Isbilen, 2006; Mori et al., 2006).

Su consumo varía dependiendo del uso que se le otorga, en fresco se utiliza como verdura y complemento de platillos mexicanos; el seco principalmente se destina a la industria alimentaria. Los capsaicinoides ocupan un papel muy importante, ya que además de ser los responsables de causar el picor también se utilizan en el ramo farmacéutico (Salazar-Olivo y Silva-Ortega, 2004), de armas, tabaco, cosméticos, pintura y como ingrediente activo en diversos productos por lo que se ha promovido su estudio fitoquímico (Djamgoz e Isbilen, 2006; Mori et al., 2006).

4.2. Taxonomía del género *Capsicum*

El género *Capsicum*, pertenece a familia *Solanaceae*, subfamilia *Solanoideae*, con los generos *Acnistus*, *Athenea*, *Brachistus*, *Vassovia*, *Withania* y *Witheringia* (Olmstead et al.,

1999; Hunziker, 2001; Knapp, 2002; Knapp et al., 2004;). Además pertenece a la tribu *Capsiceae*, junto con el género *Lycianthes* (Olmstead et al., 2008). El género *Capsicum* incluye 26 especies silvestres y 5 especies domesticadas reconocidas actualmente (Barboza y Bianchetti, 2005; Nee et al., 2006; Moscone et al., 2006).

4.3. *Capsicum chine*

El *Capsicum chinense* es una variedad con niveles de picor que dependen de las condiciones ambientales en las que se desarrolla tales como el sustrato donde se encuentran condiciones hídricas y nutrimentales. Se ha comprobado que este cultivo producido en condiciones desfavorables provocan alteraciones en la concentración de capsaicinoides (Tun, 2001).

4.3.1. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica del chile habanero es la siguiente (IZCO, 2004):

Reino *Plantae*-Plantas

Subreino *Tracheobionta*- plantas vasculares

Superdivisión *Spermatophyta*-plantas con semillas

División *Magnoliophyta*-plantas con flores

Clase *Magnolopsida*-dicotiledóneas

Subclase *Asteridae*

Superorden *Sympetala*

Orden *Solanales*

Familia *Solanaceae*

Género *Capsicum* L.

Especie *C. chinense*

4.3.2. Descripción botánica

La especie *chinense* es una planta de altura variante, aunque en los sembradíos comerciales puede fluctuar entre 75 y 120 cm. Las semillas son lisas, ovaladas y pequeñas (2.5 a 3.5 mm), tienen testa de color café claro o café oscuro y los días de emergencia oscila entre 8 y 15 días. El sabor picante es provocado por la acumulación de capsaicina, que se encuentra en la placenta del fruto (Tun, 2001).

Su tallo es ancho, vertical, robusto y tiende a formar tres tallos en la primera ramificación, la que ocurre entre la décima y duodécima hoja, para después continuar bifurcándose con un crecimiento semi-indeterminado. Después de la primera trifurcación las tres ramas alcanzan el mismo crecimiento con un tallo principal. Las hojas son simples, lisas, alternas y de forma lanceolada, de tamaño variable lo mismo que su color, el cual puede presentar diferentes tonos de verde dependiendo de la variedad. Con un suministro correcto de nutrición se pueden obtener hojas con más de 15 cm de longitud (Tun, 2001).

Las flores son de color blanco, su tamaño varía entre 1.5 y 2.5 cm de diámetro de la corola y se pueden desarrollar racimos de hasta siete flores. Los frutos son capsulares, huecos y tienen tres y cuatro lóbulos. Las semillas se acumulan en placentas blancuzcas y secas, que no están envueltas por mucosa y las membranas de los lóculos generalmente no se prolongan hasta el centro. El color en la etapa de madurez fisiológica puede ser amarillo, rojo, naranja o café, dependiendo de la variedad (Tun, 2001).

4.3.3. Condiciones de desarrollo del chile habanero

La temperatura y la precipitación son dos de los factores climáticos que determinan el desarrollo de cada cultivo. La

temperatura media anual calculada para el cultivo de chile habanero es de 24 a 28 °C, se ha comprobado que temperaturas menores de 15 °C y mayores de 35 °C alteran el crecimiento del cultivo así como cada fase fenológica del mismo. El chile habanero se cultiva en lugares con una precipitación media en los meses de junio a octubre de 750 a 1000 mm y lluvias repartidas durante este periodo; precipitaciones menores de 30 mm mensuales repercuten en gran medida la producción, ya que disminuyen la aparición de hojas, el número de flores y el peso de los frutos. Las condiciones óptimas de precipitación son de 750 a 1000 mm de lluvia (Ramírez *et al.*, 2005).

4.4. *Capsicum annuum var. Aviculare*

Es conocido en diversas regiones del país como chiltepín, chile piquín o chile de monte, entre otros. El chiltepín es una planta silvestre, perenne, cuyo fruto es una baya redonda u oblonga de 3 a 6 mm de diámetro que crece en posición eréctil. En estado inmaduro, el fruto es de color verde oscuro, debido a la alta concentración de clorofila; sin embargo, al madurar se torna de color rojo, causado por una alta cantidad de pigmentos rojos conocidos como *licopersinas*. Las plantas de chiltepín alcanzan su madurez reproductiva entre los seis y diez meses de edad. La floración comienza durante los meses de mayo y dura hasta agosto y la fructificación es de junio a octubre. El color rojo del fruto atrae a diversas aves, que al comerlos se encargan de dispersar las semillas (Bañuelos *et al.*, 2008).

4.4.1. Condiciones de crecimiento del cultivo de chiltepín

Esta especie está asociada a diferentes tipos de vegetación en ambientes áridos y semiáridos. Dependiendo del área geográfica, a temperaturas promedio entre los 15 y 40 °C, un fotoperiodo de 10:14 horas luz-oscuridad y una humedad relativa entre 70 y 100% (Lizarde *et al.*, 2011; Tejas *et al.*, 2011).

En áreas templadas, esta especie puede crecer como una planta herbácea anual, mientras que en áreas tropicales o en invernadero climatizado puede comportarse como un arbusto perenne. Morfológicamente sus frutos son bayas redondas u oblongas de 3 a 6 mm de diámetro que usualmente horizontalmente. Los frutos inmaduros son verdes, cuando maduran son rojos y picantes debido al contenido de pigmentos y alcaloides como los carotenos, xantofilas y capsaicinoides respectivamente (Richins *et al.*, 2010).

El color rojo de los frutos, así como el contenido de capsaicinoides y lípidos, atrae específicamente a ciertos pajaros que al consumirlos dispersan sus semillas. Esta específica relación con sus dispersores contribuye a la amplitud biogeográfica de las poblaciones en el continente americano, distribuyéndose al norte del Trópico de Cáncer extensamente (Lizarde *et al.*, 2011).

4.5. *Capsicum annuum* L. Mirasol

El genotipo *Capsicum annuum* L. es un importante cultivo hortícola en México. A nivel mundial México ocupa el segundo lugar en producción y el tercero en área cultivada, con 1,853,610 t y 140,693 ha, respectivamente. En el 2012, la producción de chile en el país para secado fue alrededor de 56,000 t en una área cultivada de 40,623 ha cuyo valor de la producción fue de 185.3 millones de dólares (SIAP, 2013).

4.5.1. Importancia del cultivo

El estado de Zacatecas es el productor de chile para secado más importante de México, aunque este cultivo se ve perjudicado por varias enfermedades causadas por hongos, bacterias, nematodos y virus (Velásquez-Valle *et al.*, 2013). Sumado a esto, desde hace aproximadamente 4 años en este cultivo se registro una nueva sintomatología que ha ocasionado numerables pérdidas económicas en la producción de Mirasol presentes en el estado de Zacatecas.

Este nuevo grupo de síntomas han recibido el nombre de amarillamiento del chile, el cual se ha atribuido a infecciones causadas por fitoplasmas (Velásquez-Valle *et al.*, 2011).

4.6. Crecimiento del cultivo

La fenología de los cultivos comprende el estudio de los fenómenos biológicos vinculados a ciertos ritmos periódicos o fases y la relación con el clima de la localidad donde ocurre. En su ciclo biológico, las plantas experimentan cambios visibles o no y que están en estrecha relación con el genotipo, el ambiente (temperatura, luz, y fotoperiodo), disponibilidad de humedad y condiciones biológicas (virus, patógenos). El resultado del complejo de interacciones, ocasiona amplias respuestas de las diferentes especies vegetales (Mundarain *et al.*, 2005).

Entre las etapas de crecimiento que pueden ser identificadas en el cultivo de chile, destacan desde las más generales que son la etapa vegetativa y reproductiva, hasta la más sencilla, como la siembra del cultivo en el sustrato hasta la iniciación de las etapas fenológicas del cultivo (Soto-Ortiz y Silvertooth, 2008).

El desarrollo de las plantas de chile y en particular la durabilidad de sus fases fenológicas depende de la variedad y su interacción. En la especie *Capsicum annuum* su ciclo biológico tiene una duración de 4 a 5 meses; en otras especies de tipo silvestre, el periodo de establecimiento a la madurez comercial puede ser mayor a los 8 meses (Pérez- Grajales y Castro-Brindis 2008).

4.7. Crecimiento en grados día de desarrollo (GDD)

La temperatura es el indicio principal para la siembra, desarrollo y producción duración las diferentes etapas fenológicas del cultivo, las cuales también limitan su productividad (Tewari Singh, 1993) y es contemplado como el

factor mas importante en la tasa de crecimiento en las plantas (Machado et al., 2006).

La identificación de la durabilidad de cada una de las etapas fenologicas y su interacción con los factores ambientales, es importante para un crecimiento y desarrollo óptimo del cultivo y asi obtener altos rendimientos de los cultivares, ya que determinan la absorción de nutrientes y el llenado de frutos que inciden directamente sobre la productividad del cultivo (Prabhakar et al., 2007).

Los grados-día de desarrollo (GDD por Growing Degree Days), o las unidades térmicas (HU por Heat Units), son las unidades generalmente empleadas para calcular el desarrollo de las plantas (Qadir et al., 2007). Estos índices se han utilizado en varios sistemas de producción de hortalizas para estimar la madurez fisiológica, la fecha de cosecha y el momento de siembra de las próximas cosechas (Clay et al., 2006; Qadir et al., 2007). Aunque la acumulación GDD para las diferentes etapas de desarrollo es relativamente constante e independiente de la fecha de siembra, cada genotipo, puede poseer valores específicos para estos parámetros (Phadnawis y Saini, 1992; Qadir et al., 2006).

4.8. Requerimientos ambientales

4.8.1. Temperatura

El intervalo óptimo de temperatura para el crecimiento y desarrollo adecuado de *Capsicum* es de 18 a 25 °C en el día y 10 a 12 °C en la noche. La temperatura baso o cero vegetativo se encuentra en el rango de 5 a 10° C y cuando es mayor a 35 °C se provoca el aborto de las flores, este género se puede adaptar bien en altitudes de hasta los 2400 msnm siempre que no existe heladas. Para la germinación de las semillas se requiere de 25 a 28 °C durante los primeros ocho días (Pérez-Grajales y Castro-Brindis, 2008).

4.8.2. Radiación

La radiación óptima promedio que demandan algunas especies de *Capsicum* van desde los 550 Einstein. Con la radiación incidente del día, en el mes de mayo, cuando se presentan los máximos valores de radiación (Pérez-Grajales y Castro- Brindis, 2008).

4.8.3. Humedad relativa del suelo

Algunas especies de *Capsicum* se desarrollan bien con humedad relativa del 70 a 80%. Arriba de este valor ocasiona una deficiente aireación en el sistema de raíces y en consecuencia una mala absorción de nutrientes y agua, disminuyendo la polinización y fecundación de los óvulos y en consecuencia se tiene menor número de semillas y a su vez menor tamaño de fruto. Con humedades relativas menores a 40% existe deshidratación de los granos de polen ocasionando baja polinización y formación de semillas (Pérez-Grajales y Castro- Brindis, 2008).

4.8.4. Sustrato

Para mejorar la asimilación de agua y nutrientes de la raíz y tener un desarrollo favorable, es necesario que el suelo sea de textura franca arenosa, estructura granular, profundos y con pH de 5.5 a 6.5 (Pérez-Grajales y Castro- Brindis, 2008).

4.9. Plagas y Enfermedades presentes en el cultivo de chile

Es importante saber que al igual que otros cultivos que consumen los seres humanos, el chile posee un gran número de plagas y enfermedades entre los cuales se encuentran los siguientes:

4.9.1. Plagas

Según Avilés *et al.* (2004) se enlistan las principales plagas presentes en el género *capsicum*.

-) Mosca blanca (*Bemisia tabaci*)
-) Minador de la hoja (*Liriomyza trifolii*)
-) Picudo del Chile (*Anthonomus eugenii*)

-) Araña roja (*Tetranychus urticae*)
-) Pulgón myzus (*Myzus persicae*)
-) Chinche verde (*Nezara viridula*)
-) Trips de las flores (*Frankliniella occidentalis*)
-) Gusano soldado (*Spodoptera exigua*)
-) Gusano medidor (*Chrysodeixis chalcites*)
-) Gusano trozador (*Agrotis sp*)
-) Pulga saltona (*Epitrix cucumeris*)

4.9.2. Enfermedades

El agravio ocasionado por enfermedades en los cultivos se detecta con solo visualizar las plantas y es generado por la aparición de microorganismos dentro de ellas. Los patógenos se alimentan de la planta y producen sustancias dañinas que interrumpen su funcionamiento, llegando a ser crónica o letal. Entre los microorganismos dañinos más comunes de este cultivo, se encuentran los relacionados a la marchitez del chile, este síntoma se ha asociado a *Phytophthora capsici*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium spp.*, o bien, por la acción de 25 estos como un complejo (Avilés et al., 2004).

Las enfermedades más presentes son: (Avilés et al., 2004).

-) Marchitez del Chile o secadera (*Phytophthora capsici*)
-) Marchitez por verticillium (*Verticillium dahliae*)
-) Tizón sureño (*Sclerotium rolfsii*)
-) Antracnosis (*Colletotrichum capsici*)
-) Pudrición por Alternaria (*Alternaria spp*)
-) Mancha bacteriana (*Xanthomonas campestris pv. vesicatoria*)
-) Marchitez bacteriana (*Pseudomonas solanacearum*)
-) Virus del Mosaico del pepino (VMP)
-) Virus del mosaico del tabaco (VMT)

4.10. Humedad del suelo y contenido de capsaicinoides

Para los índices de escozor en el género *Capsicum*, es señalado que están denominados por dos valores: la genética de la planta y la manera en que interactúa con el medio ambiente. La incidencia de factores ambientales como temperatura, luz, humedad del suelo, régimen de fertilización y periodos de sequía en la producción de capsaicinoides ha sido analizada en diferentes cultivos del género *Capsicum*. La asimilación de los nutrientes es uno de los principales factores ambientales que determinan la producción de los ecosistemas vegetales (Ruiz et al., 2011).

4.10.1. Humedad de las plantas y cómo afecta su crecimiento

La acumulación de nutrientes aprovechable para los vegetales está determinado por la cantidad y manera en que el suelo la utiliza. Un factor abiótico que repercute en los cultivares y el escozor de los frutos de Chile es el estrés hídrico. El agua es elemento principal de los organismos; por ello es el medio en donde se ejecutan las funciones primordiales para la vida, y no puede ser reemplazada. Por tanto, un incremento o disminución en la aplicación del agua cambia las funciones principales de las plantas (Ruiz et al., 2011).

La definición de déficit hídrico y estrés hídrico se utiliza generalmente para distinguir diferentes situaciones. Conforme la cantidad de agua disponible para las plantas en un suelo disminuye "déficit hídrico", se afecta el contenido hídrico de las plantas. Estas reducciones en el contenido de agua en los tejidos vegetales causan alteraciones en los procesos metabólicos, provocando efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas "estrés hídrico" (Ruiz et al., 2011).

El incremento de los efectos negativos y los procesos metabólicos involucrados, dependen de la especie, el crecimiento, de la intensidad y duración del estrés hídrico. Existen registros

en las cuales se demuestran que las condiciones ambientales y el estrés hídrico pueden producir un incremento en la acumulación de capsaicinoides en diferentes genotipos de *Capsicum*, aunque se encontraron algunas diferencias en la acumulación de capsaicinoides en cultivos de invernadero, estudios de laboratorio y plantaciones normales, lo cual menciona el efecto de las condiciones ambientales en el contenido de capsaicina (Ruiz et al., 2011).

4.10.2. Los capsaicinoides

Los capsaicinoides son compuestos fenólicos, amidas derivadas de ácidos grasos, que tienen entre nueve y once átomos de carbono (Nancy-Ruiz et al., 2011) son los encargados del escozor en los frutos del género *Capsicum*. El 90 % de este picor está determinado por dos capsaicinoides: la capsaicina y la dihidrocapsaicina. Las principales diferencias entre los dos tipos de capsaicinoides son: la longitud de la cadena alifática, la presencia o ausencia de doble enlace, el punto de ramificación y su picor relativo (Estrada et al., 2000, 2002; Díaz et al., 2004; Cázares et al., 2005).

Los capsaicinoides se sintetizan y se acumulan en la placenta de los frutos, ya que es el tejido donde más se concentran, seguido por el pericarpio y en último lugar las semillas; además de proporcionar el sabor picante, son utilizadas por la industria farmacéutica, de armas, cosmética, en pinturas, entre otras, como ingrediente activo de diversos productos. Estudios recientes indican que los frutos son ricos en carotenoides contribuyendo así a su capacidad antioxidante (Rodríguez-Maturino et al., 2012).

Los capsaicinoides contienen cualidades analgésicas, anti-inflamatorias, antioxidantes e incluso anticancerígenas al inhibir el crecimiento dependiente de andrógenos en células

cancerígenas de seno, colon, adenocarcinoma gástrico y de próstata (Djamgoz e Isbilen, 2006; Mori et al., 2006).

El potencial de los chiles como fuentes de capsaicinoides en la industria y los productos generalmente tienen características más uniformes en cuanto a tamaño, color, entre otras, lo que resulta muy atractivo para el mercado. Por ello, los agricultores terminan cambiando sus cultivos de variedades criollas por las variedades mejoradas. Sin embargo, hay que considerar que la disminución o el desplazamiento de los cultivos de plantas criollas por las mejoradas implican poner en riesgo la existencia del germoplasma mexicano de la especie, de una o muchas variedades cuando ya no se cultivan, por lo que es muy importante generar un vasto conocimiento sobre la diversidad genética tanto de las variedades silvestres como de las que se cultivan de manera tradicional y de las que se generan a partir del mejoramiento genético, para el manejo y aprovechamiento adecuado del cultivo de chile (Aguirre-Hernández y Muñoz-Ocoter, 2015).

4.10.3. Relación entre humedad y contenido de capsaicinoides

Los niveles de picor en los frutos de chile están determinados por varios factores: los genéticos de la planta, los que interactúan con el medio ambiente, estado de madurez, posición del fruto en la planta, lugar de recolección, periodo y temperatura de almacenamiento, entre otros. Estudios realizados han demostrado diferentes respuestas del efecto del estrés hídrico y la nutrición mineral sobre el contenido de capsaicinoides. Reportes recientes indican que la fertilización nitrogenada incrementa el contenido de estos, aunque la interacción con el ambiente es importante para determinar el nivel de pungencia (Sambhi et al., 1977; Reddy et al., 2014).

Como se mencionó antes, la principal peculiaridad de los capsaicinoides es su picor. Esta propiedad es una consecuencia

de la habilidad de los mamíferos para percibir la capsaicina y otros compuestos relacionados, nombrados en conjunto vainilloides (Cázares et al., 2005).

El agua es el componente predominante de los organismos y por tal razón, es el ambiente en donde se realizan las funciones más importantes para la vida y no puede ser sustituida por ninguna otra sustancia. Por lo tanto, un aumento o disminución en el suministro normal de ésta provocaría una alteración en las funciones vitales de las plantas (Estrada et al., 2000).

La magnitud del efecto negativo y los procesos metabólicos involucrados dependen de la especie, momento del ciclo ontogénico (la sensibilidad puede variar a lo largo del ciclo ontogénico) y de la intensidad y duración del estrés hídrico (Puebla y Del Viso, 2005). En algunas investigaciones realizadas se ha encontrado que las condiciones en las que se cultiva este género y la falta de suministro de agua y nutrientes aumenta la concentración de capsaicinoides, en diferentes variedades de *Capsicum* (Estrada et al., 1999; Sung et al., 2005).

Estrada et al. (2000), encontraron diferencias significativas en el total de capsaicinoides dentro de cultivos en invernaderos, estudios de laboratorio y plantaciones normales, puntualizando el efecto de las condiciones ambientales sobre el contenido de capsaicina.

Sung et al. (2005) evaluaron el efecto del déficit hídrico sobre los contenidos de capsaicina en tres cultivares de *Capsicum annum* L. varo *annuum*. Estos autores determinaron que el déficit hídrico produce un efecto sobre el metabolismo secundario, incrementando la concentración de capsaicina. Además, observaron que el incremento depende de la capacidad y/o habilidad de los cultivares a tolerar y responder al déficit hídrico.

La concentración de los metabolitos secundarios en las plantas depende de la edad de la planta, del estado nutricional y de los factores abióticos. Se han encontrado alteraciones en la producción de metabolitos secundarios en las plantas estresadas, produciendo un aumento en la síntesis y acumulación de estos metabolitos (Estrada et al., 2000).

Estrada et al. (1999), al evaluar el estrés hídrico por medio de un aumento (exceso hídrico) o disminución del contenido de agua en el suelo (déficit hídrico), durante el desarrollo de los frutos de *Capsicum annuum* L. var. *annuum*, observaron que las plantas que estuvieron expuestas a estas condiciones presentaron una mayor concentración de capsaicinoides en comparación con el testigo (a capacidad de campo), siendo la cantidad de capsaicinoides mayor en frutos de plantas sometidas a déficit hídrico. Estudios en Chile habanero han demostrado que esta especie se ve afectada al ser sometida a condiciones de estrés y que esto a su vez influye de manera fundamental en sus características tanto de picor como de desarrollo del fruto y de las plántulas en las condiciones antes mencionadas.

Contrario a esto, Borges et al. (2010) al evaluar capsaicinoides en Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición observó que los niveles nutrimentales y de humedad aprovechable no tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de capsaicina y dihidrocapsaicina en los frutos de Chile habanero, cuando se esperaba que los alcaloides se concentraran al disminuir la nutrición y humedad en el suelo.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1. Ubicación del experimento

La presente investigación se desarrolló bajo condiciones de invernadero durante los meses de Junio de 2020 a Marzo de 2021 en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (Figura 1), localizada en san Juan Acateno, Teziutlán, Puebla ($19^{\circ} 52' 32''$ LN y $97^{\circ} 22' 02''$ LO), a 1676 msnm, con una precipitación promedio anual de 1100 a 1500 mm y una temperatura promedio de 14 a 20°C (INEGI, 2005).



Figura 1. Localización del sitio experimental.

5.2. Material vegetal

Se utilizaron semillas de chile Habanero, Chiltepín y Mirasol, colectadas de los municipios de Zacapoaxtla, Teziutlán y Hueyapan (Cuadro 1).

Cuadro 1. Colectas de chile utilizadas en la investigación.

Nombre común	Longitud ^y (cm)	Peso ^z (g)	Procedencia
Chile Habanero	3.8	93.1	Zacapoaxtla
Chile Mirasol	4.9	14.4	Hueyapan
Chiltepín	0.98	5.2	Teziutlán

^{y,z} Valores promedio de 10 frutos; la longitud de los frutos se realizó de la parte basal a la parte apical.

5.3 Diseño experimental

El experimento se fijó bajo el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los nueve tratamientos (Cuadro 2), resultaron de la combinación de los factores genotipos (habanero, mirasol y chiltepín) y volumen de agua aplicado 100, 75 y 50% que corresponde a 3.00, 2.25 y 1.50 L·planta⁻¹.

Para determinar el volumen de agua a aplicar a las plantas, se hicieron pruebas de variación de humedad del sustrato. Este proceso se realizó con base en la metodología utilizada por Segura *et al.* (2008), para ello, se utilizaron cuatro bolsas de polietileno bicolor (blanco y negro) calibre 600 (40 x 40 cm), que contuvieron 3.700 kg de la mezcla de sustratos Peat Moss (turba), perlita y tierra de monte en relación 1:1:1 (v/v/v), se obtuvo el peso de cada muestra con una báscula digital para calcular el peso seco total (PST= sustrato + bolsa); posteriormente se agregó a cada bolsa 1,000 mL de agua con una probeta hasta saturación y se dejó así por 48 horas. Transcurridas las 48 horas, se perforaron las bolsas por la base para drenar el exceso de agua, hasta que la frecuencia de goteo fue de una gota cada 10 segundos (Preciado *et al.* 2002). En ese

momento, se obtuvo el peso húmedo inicial de cada maceta (PHI), que al restarle el PST, indicó el peso contenido de humedad inicial (HI). El peso en seco del sustrato se determinó al sustraer la humedad que contuvo la bolsa mediante una estufa de secado (Blue M®, modelo POM-326F) a 105 °C hasta peso constante (RECNAT-2001). Con los pesos en húmedo y en seco, se determinó el porcentaje de humedad mediante la siguiente fórmula:

$$\% \omega = \frac{p h - p}{p} \times 100$$

Donde:

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

psh= Peso del suelo húmedo (g)

pss= Peso de suelo seco (g)

Una vez determinados los porcentajes de humedad del sustrato, se definieron los tratamientos del factor contenido de humedad. El tratamiento testigo consideró 3 litros agua fue el equivalente al 100 % de humedad, los otros dos tratamientos estuvieron constituidos por 2.25 y 1.5 litros que representaron el 75 y 50 % de humedad en el sustrato.

Cuadro 2. Diseños de tratamientos a utilizar.

Tratamientos	Genotipos	Niveles de humedad (%)
1	Habanero	100%
2	Habanero	75%
3	Habanero	50%
4	Mirasol	100%
5	Mirasol	75%
6	Mirasol	50%
7	Chiltepín	100%
8	Chiltepín	75%
9	Chiltepín	50%

5.4. Manejo del cultivo

Las semillas de los tres genotipos fueron sacadas de los frutos de chile y secadas en sombra por quince días, después se sembraron en charolas germinadoras de poliestireno de 200 cavidades con la mezcla de sustratos Peat Moss (turba), perlita y tierra de monte en relación 1:1:1 (v/v/v), una semilla por cavidad en condiciones de invernadero.

Una vez que los diferentes materiales de chile alcanzaron entre 8 a 12 hojas fueron trasplantadas en bolsas de polietileno bicolor (blanco y negro) calibre 600 (40 x 40 cm), las cuales contuvieron la misma relación de la mezcla de sustratos que en las charolas germinadoras.

Las bolsas se colocaron a una separación de 1 m entre bloques y 0.50 m entre planta, respectivamente; en cada bolsa se aplicó una dosis única de 10 g de la fórmula de fertilización 200-75-100-20-10 de N, P, K, Ca y Mg. Los diferentes niveles de riego se aplicaron de manera manual desde la siembra en las charolas germinadoras hasta la madurez fisiológica de todos los tratamientos.

5.5. Variables a evaluar

Se determinó el número de días y grados día (GD) acumulados hasta el inicio de cada etapa fenológica del cultivo con el método residual clásico, que consiste en sumar la diferencia de la temperatura media diaria y la temperatura base de 10 °C (Borrego, 2001) a partir del trasplante de los diferentes materiales en las bolsas. A lo largo del ciclo del cultivo y hasta el primer corte.

5.5.1. Número de días y grados día (GD) a iniciación floral

Se definió cuando se observó la aparición del primer botón floral en las diferentes variedades.

5.5.2. Número de días y grados día (GD) a amarre de fruto

Se registró en el momento en que se observó el marchitamiento, secado y desprendimiento de la corola de la flor, permaneciendo sólo el gineceo en desarrollo después de la fecundación.

5.5.3. Número de días y grados día (GD) a madurez fisiológica

Este periodo se determinó cuando ocurrió la máxima acumulación de materia seca de frutos y fue identificada por el cambio al color verde, el máximo crecimiento en longitud y grosor.

5.5.4. Número de días y grados día (GD) a madurez comercial

Esta fase se registró cuando se visualizó que los frutos mostraron una alteración en la coloración al verde pero sin haber perdido la turgencia.

5.5.5. Altura de la primera flor (APF, cm)

La altura de la primera flor se consideró a partir de la base del tallo y hasta la diferenciación del primer botón floral.

5.5.6. Peso de frutos por planta al tercer corte (PFP, g)

El peso de frutos por planta se determinó sumando el peso de los frutos diferenciados en los primeros tres cortes de cada unidad experimental durante la madurez comercial.

5.5.7. Longitud del fruto (LF, cm)

En la madurez comercial se determinó la longitud del fruto, la cual se considerará desde la parte basal hasta la parte apical del fruto mediante un vernier milimétrico estándar marca Truper.

5.5.8. Grosor del fruto (GF, cm)

El grosor del fruto se midió en la parte media de éste, entre la parte basal y apical, por medio de un vernier milimétrico estándar marca Truper.

5.5.9. Numero de frutos al tercer corte (NF)

Se determinó al sumar el número de los tres primeros cortes de cada tratamiento.

5.5.10. Peso promedio del fruto (PPF, g)

El peso promedio de fruto se obtuvo al dividir el peso de frutos por planta entre el número de frutos cosechados.

5.6. Materia seca

Cada una de las partes 1 de la planta (hojas, tallos y raíz) se colocaron dentro de bolsas de papel de 25x40 de cada unidad experimental, se llevaron a una estufa de secado a 60 °C, donde permanecieron 72 horas hasta tener un peso constante.

Se registró el peso de la materia seca aérea y de la materia seca de raíz en gramos con una balanza digital, con el cual se determinó la materia seca total.

5.7. Contenido de capsaicina

El contenido de capsaicina en los nueve tratamientos de chile, se calculó en el laboratorio de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Edo. De México.

5.7.1. Extracción

Una vez cosechados los frutos, estos fueron lavados con agua corriente y jabón, y enjuagados con agua destilada.

El contenido de capsaicina de los nueve tratamientos de chile se determinó mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), en frutos completos que incluyen pericarpio, placenta y semillas, cosechados en la madurez comercial (Cruz Pérez *et al.*, 2007). Se colocaron 5 ± 0.5 g de fruta molida previamente deshidratada en tubos Eppendorf y se agregaron 10 mL de acetonitrilo grado HPLC. Los tubos se colocaron en baño María durante 5 h a 60 ° C, agitando el contenido cada hora. Se

igualaron los pesos de las muestras en los tubos para introducirlos en una centrifuga marca HERMLE, durante 5 minutos a 3430 revoluciones por minuto. Del sobrenadante, se filtró 1 ml de cada muestra con un acrodisco de 25 mm de diámetro y poro de 0.45 μm y se colocaron en viales de 2 mL. El volumen de inyección fue de 20 μL .

Se utilizó un equipo de cromatografía líquida de alta resolución, Agilent Technologies, 1260 infinity, que consta de un muestreador automático, una bomba cuaternaria, un degasificador, un detector de índice de refracción y un horno de columna. La corrida en HPLC tuvo como condiciones a una columna Hypersil ODS® (25 cm x 4.6 mm, 5 μm), gradiente de fase móvil constituido por acetonitrilo: agua en relación 45:55, flujo de 1.5 mL $\cdot\text{min}^{-1}$ y una duración de corrida de 15 min. La temperatura de la columna se mantuvo a 26 °C.

Se prepararon patrones de capsaicina (Sigma, MN) en acetonitrilo a una concentración de 1 mg $\cdot\text{mL}^{-1}$

Se transformaron las áreas de los picos de la capsaicina mediante la ecuación propuestas por el método oficial de la AOAC (1998):

$$C = \left(\frac{P}{P_s}\right) * \left(\frac{C_s}{W}\right) * \left(\frac{10}{0.89}\right) * 16100 \quad (U \quad S_c \quad , U)$$

Donde:

C = Capsaicina (US)

Pc = área del pico de la capsaicina

Ps= área del pico estándar correspondiente

Cs= concentración de la solución estándar (mg $\cdot\text{mL}^{-1}$)

Wt= peso de la muestra.

En la conversión de unidades se consideró que 1 μg de capsaicina g^{-1} de peso fresco = 15 US (Wall y Bosland, 1998).

5.7.2. Análisis estadístico de los datos

Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente y consistieron en análisis de varianza y pruebas de comparación de medias por el método de Tukey (P 0.05), mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2004).

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. Temperatura máxima, mínima y media registrada en invernadero

Las temperaturas registradas en el invernadero fue variada durante el ciclo del cultivo (Figura 2). En general, se observó una tendencia a disminuir las temperaturas a medida que avanzó el crecimiento del cultivo. Las máximas fluctuaron entre los 19 y 31 °C, mientras que las mínimas en 13 y 22 °C. La temperatura promedio fluctuó entre 22 °C, por lo que estuvo por debajo del rango óptimo registrado para el crecimiento y desarrollo de *Capsicum annum* que oscila entre 25 - 30 °C (Madhavi *et al.*, 2016) y dentro del límite inferior para el desarrollo de la especie *chinense* que es de 20 - 35 °C (Garruña-Hernández, 2014), temperaturas superiores a éstas pueden generar daños fisiológicos en las plantas.

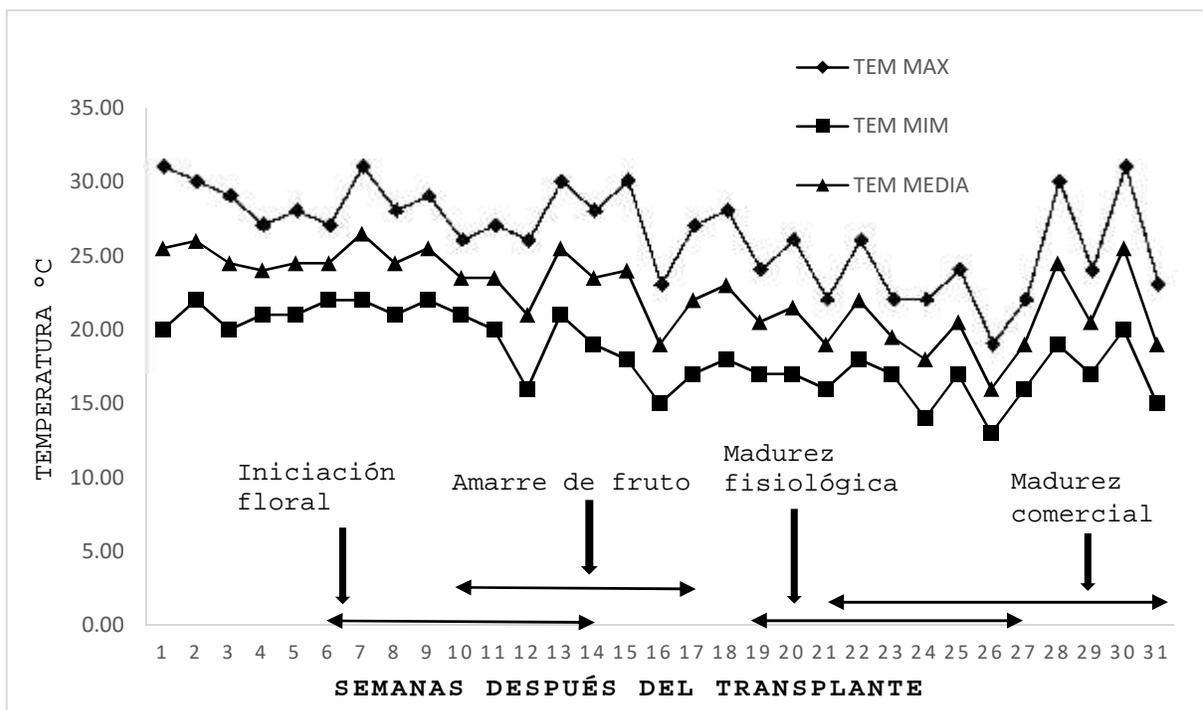


Figura 2. Comportamiento de las temperaturas del aire en condiciones de invernadero. Las flechas indican los tiempos promedio de ocurrencia de las etapas

fenológicas a partir del 15 de Julio del 2020 al 17 de febrero del 2021.

6.2 cuadrados medios de las variables: crecimiento, rendimiento, biomasa y contenido de capsaicina.

El comportamiento de la fenología, rendimiento, biomasa y contenido de capsaicina mostró efectos significativos entre genotipos, contenidos de humedad y en la interacción genotipos por contenido de humedad para todas las variables estudiadas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadrados medios para las variables fenológicas, rendimiento, materia seca y capsaicina del cultivo de *Capsicum spp.* Teziutlán, Puebla. Primavera 2021.

Variables	Fuentes de variación					
	Bloque	Genotipo	Humedad	GEN*HUM	ERROR	CV(%)
DIF	746.1	202.3**	5559.6**	60376.6**	19.9	4.7
GDIF	746.1	34990.4**	953569.4**	60376.6**	3736.6	4.3
DAF	38.3	868.7**	6043.6**	327.2**	45.8	6.2
GDAF	4883.6	119651.0**	935244.0**	45219.1*	7651.4	5.5
DMF	145.5	575.2**	7289.5**	588,0**	20.6	3.1
GDMF	18356.1	50403.2**	824348.9**	65310.9**	2744.7	2.5
DMC	126.1	757.1**	8441.**	600.5**	45.1	3.8
GDMC	24122.7	90553.5**	985566.3**	79428.7**	4545.1	2.9
APF (cm)	56.2	259.1**	766.7**	56.8*	21.3	10.5
NFP	7.7	505.1**	697.0**	48.3**	7.9	8.5
PFP (g)	555.2	51044.8**	21447.5**	3026.9**	517.6	25.1
PPF (g)	0.4	32.5**	4.8**	0.5*	0.1	16.7
LF (mm)	0.9	16.3**	5.3**	0.9*	0.3	23.8
DF (mm)	0.1	9.1**	0.7**	0.2**	0.1	13.4
AFP (cm)	83.3	4608.6**	1172.2**	33.2*	98.6	11.1
MSA (g)	609.1	14016.8**	3913.7**	432.4*	100.8	7.4
MSR (g)	57.2	705.8**	175.7*	17.68*	20.1	16.4
MST (g)	983.4	19231.6**	5723.1**	623.0*	133.1	7.1
CAP (mg·g ⁻¹)						

Estos resultados indican que la respuesta que mostraron los genotipos en los caracteres estudiados, fue diferente al cambiar de una condición de humedad a la otra, lo que muestra el grado

de adaptación que presentan las variedades a los diversos medios en los que se desarrollan (Morales et al., 2020).

6.3. Comparación de medias de los factores principales

6.3.1. Genotipos

El análisis de la fenología, rendimiento y materia seca mostró respuesta diferencial entre genotipos (Cuadro 4). Los chiles Habanero y Mirasol tuvieron el ciclo biológico más tardío (P 0.05) que Chiltepín, ya que en promedio, requirieron 15 y 135 días (DMF) y grados día (GDMF) más, respectivamente, para alcanzar la madurez fisiológica. Resultados que muestran la variabilidad que exhiben los materiales en el crecimiento, y que puede ser atribuido al genotipo (Pérez-Gutiérrez et al., 2017, condiciones ambientales (Mundarain et al., 2005) y estrés por espacio (Luján y Chávez, 2003).

El rendimiento expresado en peso de fruto por planta (PFP) fue 55 y 94 % mayor en Habanero que en Mirasol y Chiltepín, condición que fue atribuida a un mayor número de frutos por planta (NFP), peso promedio de fruto (PPF) y diámetro de fruto (DF). Estos datos se asemejan con lo registrado por Moreno et al. (2011) quienes indican que el PPF y DF son las características que más influenciaron en el rendimiento.

La materia seca total (MST) fue 40 y 45 % mayor en Chiltepín que en los genotipos Mirasol y Habanero, debido a una mayor acumulación de materia seca de la parte aérea (MSA) y altura de planta final (APF). Al respecto, Pérez-Gutiérrez et al. (2017) indican que la alta acumulación de biomasa en los genotipos puede resultar de la combinación de una rápida adaptación a las variantes climáticas y uso eficiente de los recursos hídricos. Mendoza-Villarreal et al. (2021) indican que el crecimiento de Chiltepín en condiciones de agricultura protegida como macro túneles con malla blanca se ve favorecido, como ocurrió en la

presente investigación en invernadero con plástico blanco en el que Chiltepín fue el más sobresaliente en la APF.

Cuadro 4. Fenología, rendimiento y materia seca en el factor genotipos de chile. Teziutlán, Puebla. Primavera 2021.

VARIABLES	GENOTIPOS			DMSH
	HABANERO	MIRASOL	CHILTEPÍN	
DIF	98.1a ^z	87.8b	95.7a	6.5
GDIF	1439.5a	1309.7b	1423.2a	89.5
DAF	121.1a	99.7b	105.1b	9.9
GDAF	1724.2a	1467.8b	1551.4b	128.1
DMF	151.6a	157.8a	140.0b	6.6
GDMF	2071.2a	2139.0a	1970.4b	76.7
DMC	172.2b	184.2a	163.5b	9.8
GDMC	2315.4b	2439.6a	2212.5c	98.7
APF (cm)	38.3b	44.3a	49.7a	5.9
NFP	37.5a	36.5a	22.9b	3.6
PFP (g)	168.8a	75.8b	10.3c	29.3
PPF (g)	4.3a	1.8b	0.4c	0.5
LF (mm)	2.7b	3.8a	0.9c	0.8
DF (mm)	2.3a	0.6b	0.4b	0.2
AFP (cm)	67.2c	88.3b	112.5a	12.1
MSA (g)	109.2b	105.8b	191.2a	17.1
MSR (g)	15.3b	29.9a	36.5a	7.6
MST (g)	124.5b	135.8b	227.7a	19.6

6.3.2. Contenido de humedad

Un adecuado contenido de humedad en el suelo favorece el desarrollo de las plantas y permite una mayor acumulación de biomasa, en tanto que la deficiencia, puede alterar los procesos fisiológicos y el rendimiento de los cultivos. En la presente investigación, los genotipos de chile desarrollados con el 50 % de humedad redujeron su ciclo de cultivo significativamente en comparación con los de 100 %, ya que requirieron 34 y 28 % menos DMF y GDMF (Cuadro 5). Diferencias que fueron notables desde la iniciación floral, debido a que el tratamiento con 50 % de nivel hídrico requirió 50 días a iniciación floral (DIF) y 659 grados día a iniciación floral (GDMD) menos que el tratamiento con humedad completa (100 %).

Estos resultados indican la importancia que tiene el agua en el crecimiento del cultivo de chile, ya que una deficiencia a

lo largo de su desarrolló, puede afectar los distintos órganos de la planta, el ciclo de crecimiento (Moreno *et al.*, 2003) y la acumulación de biomasa (Lee *et al.*, 2015), como ocurrió en este trabajo respecto a la duración del ciclo biológico.

El PFP en el tratamiento con 100 % de humedad fue 40 y 68 % mayor que en los de 75 y 50 %. Estos resultados concuerdan con los reportados por Lee *et al.* (2015), Mardani *et al.* (2017) y Moreno (2009) quienes al probar diferentes niveles de humedad, reportaron disminuciones del 29 - 69 % en el rendimiento de fruto de chile respecto al testigo. El mayor PFP con 100 % de humedad se debió a un mayor NFP, PPF, longitud de fruto (LF) y DF, respuesta similar a lo reportado por Morales *et al.* (2020) al indicar que el DF y PPF son los componentes que más contribuyen al rendimiento.

Cuadro 5. Fenología, rendimiento y materia seca en el factor contenido de humedad en chile (*Capsicum spp.*). Teziutlán, Puebla. Primavera 2021.

VARIABLES	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			DMSH
	50	75	100	
DIF	72.0c ^z	81.6b	122.2a	6.5
GDIF	1100.6c	1237.2b	1759.8a	90.1
DAF	84.0c	97.5b	138.6a	9.9
GDAF	1270.5c	1451.3b	1950.3a	129.1
DMF	118.1c	144.0b	181.8a	6.7
GDMF	1717.5c	2014.9b	2394.13a	77.2
DMC	137.2c	171.6b	206.2a	9.9
GDMC	1937.8c	2290.5b	2683.0a	99.4
APF (cm)	34.6c	45.0b	52.7a	5.9
NFP	24.7c	31.7b	43.8a	3.6
PFP (g)	47.7c	77.2b	153.3a	29.2
PPF (g)	1.6c	2.1b	3.3a	0.5
LF (mm)	1.8b	2.5b	3.6a	0.8
DF (mm)	0.8c	1.1b	1.5a	0.2
AFP (cm)	79.6b	86.5b	101.9a	12.1
MSA (g)	107.6c	140.7b	157.9a	17.1
MSR (g)	21.1b	29.4a	31.2a	7.6
MST (g)	128.8b	170.2a	189.2a	19.6

La MST en el tratamiento con 100 % de humedad fue 32 % mayor que el de 50 %, debido a una mayor acumulación de MSA, materia

seca de raíz (MSR) y AFP. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Moreno *et al.* (2003) y Lee *et al.* (2015), quienes obtuvieron reducciones del 19 - 38 % en la acumulación de materia seca respecto al tratamiento testigo. Asimismo, indican que entre los ajustes fisiológicos que los genotipos de chile mostraron ante déficit hídrico, fue disminución del área foliar y la altura de planta, como resultó en el presente estudio.

6.4. Comparación de medias de los efectos de interacción genotipo por contenido de humedad

6.4.1. Fenología

El análisis conjunto de la interacción genotipo por contenido de humedad en el sustrato, indicó que el tratamiento de chile Habanero con 100 % de humedad fue el que tuvo el ciclo de cultivo más tardío ($P < 0.05$) con respecto a los demás tratamientos, ya que requirió 87 DMF y 933 GDMF más que el tratamiento de Habanero con 50 % de humedad (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de la interacción genotipo por contenido de humedad sobre la fenología del cultivo de chile (*Capsicum spp.*). Teziutlán, Puebla. Primavera 2021.

GENOTIPOS	HUMEDAD (%)	DIF	GDI	DAF	GDAF	DMF
HABANERO	50	62.0e ^z	964.0f	85.0de	1273.0ef	106.0e
HABANERO	75	80.0cd	1210.7de	100.0cd	1495.5cde	134.7c
HABANERO	100	134.3a	1909.0a	159.3 ^a	2177.5a	193.3a
MIRASOL	50	62.5e	971.7f	74.0e	1137.7f	115.0de
MIRASOL	75	70.0de	1077.5ef	84.0de	1258.0ef	157.5b
MIRASOL	100	116.6b	1689.8ab	127.3b	1827.8b	186.6a
CHILTEPIN	50	85.0cd	1277.6de	90.0de	1357.5def	128.3cd
CHILTEPIN	75	95.0c	1423.5cd	108.5bcd	1600.5bcd	140.0c
CHILTEPIN	100	112.5b	1641.2bc	124.5bc	1793.2bc	157.5b
DMSH		16.2	222.5	24.6	318.4	16.5
		GDMF	DMC	GDMC	APF (cm)	AFP (cm)
		1577.5e	120.5f	1742.2e	30.6e	59.3e
		1906.5c	155.0de	2126.2cd	39.0cde	63.8de
		2510.1a	218.3a	2823.6a	45.4bcd	78.6bcde
		1675.5de	145.0e	2026.0d	37.6cde	77.6cde
		2161.7b	187.5bc	2435.0b	44.0bcde	88.8bcd
		2433.0a	208.3ab	2718.5a	51.4abc	98.5bc
		1838.8cd	143.3ef	2009.5d	35.5de	102.0abc
		1976.5bc	172.5cd	2310.5bc	55.5ab	106.8ab
		2161.7b	185.0bc	2419.0b	65.5 ^a	128.6a
		190.7	24.4	245.4	14.4	28.8

Resultados que pueden ser debido a la disponibilidad del recurso hídrico, ya que la ausencia de éste durante las etapas críticas de desarrollo, pueden afectar su ciclo de crecimiento final (Moreno *et al.*, 2003). En general, se observó que los tratamientos con menor contenido de humedad fueron los más afectados en su desarrollo. Diferencias que se identificaron desde el inicio del crecimiento, ya que los tratamientos de Habanero y Mirasol con 50 % de humedad requirieron en promedio 72 DIF y 942 GDIF menos que Habanero con 100 % de humedad.

La AFP fue otro de los caracteres que se afectaron con las variantes de humedad, debido a que los tratamientos con 100 % de humedad presentaron los mayores valores de altura. Resultados que concuerdan con lo reportado por Lee *et al.* (2015) al indicar que la reducción de la altura de planta es una consecuencia directa de las deficiencias hídricas.

6.4.2. Rendimiento y biomasa

El PFP mostró un comportamiento diferencial al analizar el efecto conjunto de genotipos y contenido de humedad del sustrato (Cuadro 7). El tratamiento de Habanero con 100 % de humedad tuvo 40 % mayor PFP que el mismo genotipo con 75 % y Mirasol con 100 %, tratamientos más cercanos en este carácter. Los componentes que más contribuyeron con el rendimiento fueron PPF y DF, resultados que concuerdan con lo reportado por Morales *et al.* (2020) y Moreno *et al.* (2011) al indicar que éstos caracteres contribuyen de manera significativa en el rendimiento final de *Capsicum*.

Asimismo, se observó en general que los tratamientos con menor contenido de humedad en el sustrato, fueron los que menor PFP presentaron (P 0.05), lo que indica la importancia del recurso hídrico en el crecimiento de las plantas, en donde el rendimiento de fruto, es el principal carácter que se ve afectado ante variaciones hídricas del suelo (Mardani *et al.*, 2017).

Cuadro 7. Efecto de la interacción genotipo por contenido de humedad sobre el rendimiento y la biomasa del cultivo de chile (*Capsicum spp.*). Teziutlán, Puebla. Primavera 2021.

GENOTIPOS	HUMEDAD (%)	NFP	PPF (g)	PPF (g)	LF (cm)
HABANERO	50	30.3cde ^z	110.1bc	3.6b	2.2bc
HABANERO	75	37.6bc	148.6b	3.9b	2.5bc
HABANERO	100	44.6ab	247.7a	5.5a	3.5ab
MIRASOL	50	26.0def	28.0d	1.1de	2.6bc
MIRASOL	75	32.0cd	52.6cd	1.6cd	3.5ab
MIRASOL	100	51.6 ^a	146.8b	2.8bc	5.3 ^a
CHILTEPIN	50	18.0f	5.0d	0.2e	0.7c
CHILTEPIN	75	22.5ef	7.1d	0.3e	1.0c
CHILTEPIN	100	30.7cde	21.7d	0.7ed	1.2c
DMSH		8.8	71.1	1.2	1.9
		DF (cm)	MSA (g)	MSR (g)	MST (g)
		1.7b	94.0cd	12.5c	106.5c
		2.2b	99.7bcd	14.3bc	114.0c
		2.9 ^a	133.9bc	19.2bc	153.2bc
		0.5c	87.7d	25.6abc	113.4c
		0.5c	108.0bcd	31.6ab	139.7bc
		0.8c	121.8bcd	32.5ab	154.4bc
		0.3c	141.2b	25.2abc	166.4b
		0.4c	214.4a	42.4a	256.9a
		0.5c	217.9a	42.0a	260.0a
		0.4	42.5	19.1	48.9

El contenido de MST fue significativamente mayor en chiltepín con 75 y 100 % de humedad (256-260 g) que en el resto de los tratamientos, debido a una mayor acumulación de MSA y MSR. Datos que reflejan la capacidad que poseen algunas variables para reunir biomasa, a través de una rápida adaptación a las variantes climáticas, uso eficiente de los recursos hídricos (Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2017) y de las ventajas que ofrece la agricultura protegida (Mendoza-Villarreal *et al.*, 2021), como ocurrió con Chiltepín quien fue en general el más sobresaliente en la acumulación de biomasa.

6.5. Concentración de capsaicina en frutos de *capsicum*

El contenido de capsaicina en frutos fue fluctuante entre genotipos y contenidos de humedad (Cuadro 8). Habanero tuvo la mayor concentración de picor (P 0.05), superando en 46 % a Chiltepín y 87 % a Mirasol. El contenido máximo de capsaicina

registrado en habanero fue de 1.59 mg.g⁻¹, valor que se encuentra por debajo del reportado por Morales *et al.* (2020) con el mismo genotipo en condiciones de invernadero (2.65 mg.g⁻¹), lo que pudo ser debido a la presencia de bajas temperaturas durante la madurez, ya que en ésta etapa estuvieron en el rango de 18 - 22 °C, y valores superiores a éstas pueden incrementar el picor de los frutos (González-Zamora *et al.*, 2013).

Las variaciones en el contenido de capsaicina en los frutos de chile dependen del genotipo (Gurung *et al.*, 2011) y del ambiente de producción (Sung *et al.*, 2005). En este sentido, en la presente investigación el contenido de capsaicina fue significativamente mayor en el tratamiento de 50 % humedad, superando en 28 % al tratamiento con 100 % de humedad (Cuadro 8), lo que indica la importancia del recurso hídrico en la acumulación de éste metabolito ya que el diferencial de humedad en los tratamientos, provocó variaciones significativas en los niveles de picor. Resultados que concuerdan con lo reportado por Phimchan *et al.* (2014) al indicar que el estrés por deficiencias hídricas aumenta la biosíntesis de capsaicinoides, y por lo tanto, los niveles de capsaicina.

Cuadro 8. Contenido de capsaicina en frutos de chile (*Capsicum spp.*) en los factores genotipos y niveles de humedad. Teziutlán, Puebla. Primavera 2021.

GENOTIPOS	CAPSAICINA (mg.g ⁻¹ PS)	HUMEDAD (%)	CAPSAICINA (mg.g ⁻¹ PS)
HABANERO	1.59a ^z	50	1.06 ^a
MIRASOL	0.20c	75	0.83ab
CHILTEPÍN	0.86b	100	0.76b
DMSH	0.25		0.25

La interacción genotipo por contenido de humedad en el sustrato indicó que la capsaicina fue mayor en Habanero con 50 % de humedad (P 0.05), ya que éste tratamiento superó en 86 % a Mirasol en las mismas condiciones de humedad (Cuadro 9). En general, Habanero fue el genotipo que presentó los mayores valores de capsaicina, y éstos no variaron significativamente entre los diferentes niveles de humedad. Resultados que concuerdan con lo reportado por Borges *et al.* (2010) al indicar que no se observaron variaciones significativas en los niveles de picor de chile Habanero después de haber sido evaluados con diferentes niveles de humedad.

Un comportamiento similar se observó con Mirasol, ya que independientemente de la condición de humedad, el contenido de capsaicina fue similar, lo que indica la habilidad que tienen algunos genotipos de chile para acumular o mantener los niveles de picor al ser sometidos a condiciones de estrés (González-Zamora *et al.*, 2013).

Cuadro 9. Efecto de la interacción genotipo por niveles de humedad sobre el contenido de capsaicina en frutos de chile (*Capsicum spp.*). Teziutlán, Puebla. Primavera 2021.

GENOTIPOS	HUMEDAD (%)	CAPSAICINA (mg.g ⁻¹ PS)
HABANERO	50	1.81a ^z
HABANERO	75	1.52ab
HABANERO	100	1.44ab
MIRASOL	50	0.25d
MIRASOL	75	0.19d
MIRASOL	100	0.18d
CHILTEPIN	50	1.11bc
CHILTEPIN	75	0.79cd
CHILTEPIN	100	0.67cd
DMSH		0.63

VII. CONCLUSIONES

La reducción del ciclo biológico en las plantas desarrolladas con 50 % de humedad en el sustrato, redujo el rendimiento de fruto en 68 %.

La reducción del ciclo biológico en Habanero con 50 % de humedad en el sustrato, no repercutió en menor rendimiento de fruto comparado con Mirasol y Chiltepín en las mismas condiciones de humedad.

En general, Habanero fue el genotipo que presentó el mayor contenido de capsaicina independientemente del estado de humedad en el sustrato (1.44-1.81 mg.g⁻¹).

VIII. LITERATURA CITADA

- Aguirre, E., & Muñoz, V. 2015. El chile como alimento. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias, 66(3).
- AOAC. 1998. Asociación de Químicos Analíticos Oficiales. Capsaicinoides en pimientos y sus extractivos. Líquido cromatográfico método. Oficial Método 995.03. <http://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=US962667>.
- Avilés G. M., Nava C. U., Garzón T. J. A., Wong P. J. J. y Pérez V. J. J. 2004. Manejo integrado de la mosquita blanca *Bemisia* spp. En tomate para consumo en fresco. Folleto técnico n°28. INIFAP-CIRNO. México. 76 p.
- Bañuelos N, Salido P L. and Gardea A. 2008. Etnobotánica del chiltepín: Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. Estudios. Sociales 16(32): 177-205.
- Barboza G. E. and L. B. Bianchetti. 2005. Three New Species of *Capsicum* (Solanaceae) and a Key to the Wild Species from Brazil. Systematic Botany 30: 863-871.
- Ben-Chaim, A., Y. Borovsky, M. Falise, M. Mazourek, B. C. Kang, I. Paran, and M. Jahn. 2006. QTL Analysis for capsaicinoid content in *Capsicum*. Theor. Appl. Genet. 113: 1481-1490.
- Borges L. G., Libnih C. C., Ruiz N. Soria M. F., Reyes V. O., and E. Villanueva 2010. Capsaicinoids in Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) Under Various Humidity and Nutritional Conditions. 35-40.
- Borrego, J. V. M. 2001. Horticultura herbácea especial, Quinta edición. Madrid, España. Mundi-Prensa.
- Cázares S. E.; P. Ramírez; F. Castillo; R. M. Soto; M. T. Rodríguez. and J. L. Chávez. 2005. Capsaicinoids and preference of use in different morphotypes of chili peppers

- (*Capsicum annuum* L.) of east-central Yucatán. *Agrociencia* 39(6):627 -638.
- Clay, P.A., K.M. Young and E.R. Taylor. 2006. Effect of heat unit accumulation on cotton defoliation, lint yield and fiber quality. *Arizona Cotton Report* (P-145): 245-250.
- Collins, MD; Wasmud, LM y Bosland. PW 1995. Método mejorado para cuantificar capsaicinoides en Pimiento utilizando cromatografía líquida de alta resolución. *Hort.* 29 (2): 136-138.
- Cruz-Pérez, AB; González-Hernández, VA; Soto-Hernández, RM; Gutiérrez-Espinosa, M. UN.; Gardea-Béjar, AA y Pérez-Grajales, M. 2007. Capsaicinoides, vitamina C y heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. *Agrociencia.* 41 (6): 627-635.
- Díaz l. José; F. Pomar; A. Bernal., and F. Merino. 2004. Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum*. *Phytochemistry Reviews* 3:141-157.
- Djamgoz, M. B. A., and B. Isbilen. 2006. Dietary compounds as anti-cancer agents: a preliminary evaluation of ion channels and membrane excitability as possible target mechanisms. *Turkish Biochem.* 31: 57-68.
- Estrada A B.; Ma. A Bernal., y F. Merino. 2000. Maduración del Pimiento Padrón: Transformaciones Bioquímicas. Universidad de Coruña, Servicios de Publicaciones. pp 1-18; 72-83 Y 107-112.
- Estrada A B.; Ma. A Bernal; J. Diaz; F. Pomar., and F. Merino. 2002. Capsaicinoids in vegetative organs of *Capsicum annuum* l. in relation to fruiting. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 50:118-191.
- Estrada, A. B., F. Pomar, J. Díaz, F. Merino., and M. Bernal. 1999. "Pungency level in fruits of Padrón pepper with different water supply", *Scientia horticulturae*; 81:385-396.

- Garruna-Hernández, R., Orellana, R., Larque-Saavedra, A., and Canto, A. 2014. Understanding the physiological responses different (*Capsicum chinense* Jacq.) at small temperature. PLoS one, 8(12):2-8.
- González-Zamora, A.; Sierra-Campos, E.; Luna-Ortega, J.; Pérez-Morales, R.; Ortiz, J. and García Hernández, J. 2013. Characterization of different *Capsicum* varieties by evaluation of their capsaicinoids content by high performance liquid chromatography, determination of pungency and effect of high temperature. *Molecules*, 18(11), 13471- 13486.
- Gurung, T.; Techawongstien, S.; Suriharn, B. and Techawongstien, S. 2011. Impact of environments on the accumulation of capsaicinoids in *Capsicum* spp. *HortScience*, 46(12), 1576-1581.
- Hernandez-Verdugo, S.; Davila, P. y Oyama, K. 1999. Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del genero *Capsicum*. *Boletín de la sociedad botánica de México* 64:65-84.
- Hunziker, A. T. 2001. *Genera solanacearum: The Genera of Solanaceae Illustrated, Arranged According to a New System.* Gantner Verlag, Ruggell, Liechtenstein. 512 pp.
- INEGI. 2005. Carta Topografía. Teziutlán E14B5. Esc. 1.50, 000. Primera impresión. Dirección General de Geografía. Mexico.
- Instituto SAS. 2004. Guía del usuario de SAS / STAT, software 9.1. SAS Institute Inc. Cary, Carolina del Norte. ESTADOS UNIDOS.
- Izco, J., Bemat, C., Gil, E., Villalobos, F. J., Loomis, R. S., Orgaz, F., & Connors, D. J. 2004. *Botánica MC Graw Hill Interamericana.* Madrid. España, 606-608.

- Knapp, S. 2002. Tobacco to tomatoes: A phylogenetic perspective on fruit diversity in the Solanaceae. *Journal of Experimental Botany* 53: 2001-2022.
- Knapp, S., L. Bohs, M. Nee and D. M. Spooner. 2004. Solanaceae A model for linking genomics with biodiversity. *Comparative and Functional Genomics* 5:285-291.
- Latournerie-Moreno L., J. L. Chávez-Servia, M. Pérez-Perez, G. Castañon-Nájera, S. A. Rodríguez-Herrera, L. M. Arias-Reyes y P. Ramírez-Vallejo. 2002. Valoración *in situ* de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 25-33.
- Lee, H. J., Lee, S. G., Choi, C. S., Kim, J. H., Kim, S. K., Jang, Y. A., and S. Lee J. 2015. Influence of air temperature and soil moisture conditions on the growth and yield of hot pepper under a plastic tunnel culture. *Journal of Environmental Science International*, 24(6), 769-776.
- Lizarde N.A, Araiza Lizarde E, Martínez Martínez J G, (2011). Evaluación de la germinación y crecimiento de Plántula de Chiltepín (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*) en invernadero. *Rev. Colomb. Biotecnol.* Vol. XIII No. 2 170-175.
- Luan Farelá, M., y Chárez SánteZ, N. 2002. Acomodo topológico y su efecto en el crecimiento desarrollado y producción del chile jalapeño (*Capsicum annum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(2).
- Machado, B., M.R. Prioli, A.B. Gatti, and V.J. Mendes. 2006. Temperature effects on seed germination in races of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *acta Scientiarum Agronomy* 28:155-164.
- Madhavi, R. K.; Shivashankara, K. S.; Geetha, G. A. and Pavithra, K. C. 2016. *Capsicum* (hot pepper and bell pepper). In:

- Srinivasa, N. K.; Shivashankara, K. S. and Laxman, R. H. (Eds.) *Abiotic stress physiology of horticultural crops*. Springer India. 151-166 pp.
- Mardani, S., Tabatabaei, S. H., M. Pessarakli, and H. Zareabyaneh, 2017. Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) to drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 40(10), 1453-1464.
- Mendoza-Villarreal, R., Robledo-Torres, V., Pérez-Rodríguez, M. Á., Guillén-Enríquez, R. R., Martínez-Cueto, V., y Paredes-Jácove, J. R. 2022. Acto de cubierta, tipo y endomicorriza en morfologías y calidad de capsicum piquín. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(2), 193-204.
- Morales Fernández, S. D., Moreno Velázquez, D., Trinidad de Jesús, S., Vázquez Cruz, F., Ibáñez Martínez, A., y Tobar Reyes, J. R. 2020. Fenología y contenido de capsaicinoides en chile producidos en condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 663-675.
- 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. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(SPE2), 5-18.
- Moreno, F.L. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(02), 179-191.
- Moreno, M.M., Ribas, F., Moreno, A., and Cabello, M. J. 2003. Physiological response of a pepper (*Capsicum annuum* L.) crop to different trickle irrigation rates. *Spanish journal of agricultural research*, (2), 65-74.
- Mori, A., S. Lehmann, J. O'Kelly, T. Kumagail, J. C. Desmond, M. Pervan, W. H. McBride, M. Kizaki, and H. P. Koeffler. 2006. Capsaicin, a component of red peppers, inhibits the growth

- of androgen-independent, p53 mutant prostate cancer cells. *Cancer Res.* 66: 3222-3229.
- Moscone, E. A., Scaldaferrro, M., Gabriele, N., Sánchez-García, Ysbelia-Jarret, R., Daviña, J., Ducase, D., and Barboza Y. 2006. The evolution of chili peppers (*Capsicum-Solanaceae*): a cytogenetic perspective. *Acta horticulturae*.
- Mundarain, M. C. S., y Cañizares, A. 2005. Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens* L.). *Revista Científica UDO Agrícola*, 5(1), 62-67.
- Nancy Ruiz, L. Medina L. F y Martinez E, M. 2011. EL CHILES HABANERO: SU ORIGEN Y USOS.
- Nee, M., L. Bohs, and S. Knapp 2006. New species of thr *Solanum* and *Capsicum* (*Solanaceae*) from Bolivia, with clarification of nomenclature in some Bolivian *Solanum*. *Brittonia* 58: 322-356.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-021-RECNAT-2001. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, muestreo y análisis. Método AS-05. Determinación del contenido de humedad del suelo por gravimetría.
- Olmstead R. G.; L. Bohs; H. A. Migid; E. Santiago-Valentin; V. F. Garcia and S. M. Collier. 2008. A molecular phylogeny of the *solanaceae*. *Taxón* 57: 1159-1181.
- Olmstead R. G.; Sweere J. A., Spangler R. E., Bohs L. and Palmer J. D. 1999. Phylogeno and provisional classification of the *Solanaceae* based on chloroplast DNA. In: Nee M, Symon D. E., Jessup JP, Hawkes JG eds. *Advances in biology and utilization*. Kew: Royal Botanic Gardens, 111-137.
- Pérez, G. M. y Castro, B. R. 2008. El chile manzano. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). 1a. Reimpresión. 135 p.

- Pérez-Gutiérrez, A., Garruña, R., Vázquez, P., Latournerie-Moreno, L., Andrade, J. L., and UsSantamaría, R. 2017. Growth, phenology and chlorophyll fluorescence of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) under water stress conditions. *Acta Agronómica*, 66(2), 214-220.
- Phadnawis, B.N. and Saini, A.D. 1992. Yield models in wheat based on sowing time and phenological developments. *Ann. Pl. Physiol.*, 6: 52-59.
- Phimchan, P., Chanthai, S., Bosland, P. W., and Techawongstien, S. 2014. Enzymatic changes in phenylalanine ammonia-lyase, cinnamic-4-hydroxylase, capsaicin synthase, and peroxidase activities in *Capsicum* under drought stress. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(29), 7057-7062.
- Prabhakar, B.N., A.S. Halepyati, B.K. Desai and B.T. Pujari. 2007. Growing degree days and photo thermal units accumulation of wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. durum* Desf.) genotypes as influenced by dates of sowing. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 20 (3): 594-595.
- Preciado P., Bala G., Tirados J.L., Kahashi-Shibata J., Tijerina L. and Martíner G.A. 2002. Nitrógeno y potasio en la producción de plántas de melón. *Tierra* 21: 269-279.
- Puebla A. F. y F. Del Viso. 2005. Tolerancia a factores abióticos. *Biotechnología y Mejoramiento Vegetal*, pág 355-365.
- Qadir, G., S. Ahmad, F Hassan and M.A. Cheema. 2006. Oil and fatty acid accumulation in sunflower as influenced by temperatura variation. *Pakistan Journal of Botany* 38(4): 1137-1147.
- Qadir, M., Wichelns, D., Raschid- Sally, L., Minhas, P.S., Drechsel, P., Bahri, A. and McCornick, P., 2007. Agricultural use of marginal-quality water - opportunities and challenges. In: 26 D. Molden (Ed.) *Water for food, Water for a life: A Comprehensive Assessment the waters Managemen in Agricultura*. Earthcan, London, UK.

- Ramírez G., Góngoras S., Péres L. , González T., Escalarte E., Rodríguez L. , Ledon J., Castillo J ., y López H., 2005. Estudio estratégico de la cadena agroindustrial del chile habanero. Caracterización del medio físico para el cultivo de chile habanero en el estado de Yucatán. INIFAP-SAGARPA, campo agrícola Experimental, Mocochoá, Yucatán, México.
- Reeddy, U.K.; Almeda, A.; Aburi, V.L.; Alaparti, S.B.; Unselt, D. and Hankins, G. 2014. Identification of Gene-Specific Polymorphisms and Association with Capsaicin Pathway Metabolites in *Capsicum annum* L. Collections. PLoS ONE 9(1): e86393. doi:10.1371/journal.pone.0086393.
- Richins R.D, Laura Hernandez, Barry Dungan, Shane Hambly, F. Omar Holguin, and Mary A. O'Connell, 2010. A Green'' Extraction Protocol to Recover Red Pigments from Hot Capsicum Fruit. HORTSCIENCE 45(7):1084-1087.
- Rodríguez-Maturino A., Aura Valenzuela-Solorio, Rosalba Troncoso-Rojas, Daniel González-Mendoza, O. Grimaldo-Juarez, Mónica Aviles-Marin and L. Cervantes-Diaz, 2012. Antioxidant activity and bioactive compounds of Chiltepin (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) and Habanero (*Capsicum chinense*): A comparative study. Journal of Medicinal Plants Research Vol. 6(9), pp. 1758-1763.
- Ruiz- Lau N., F. Medina L. y M. Martínez E. 2011. El chile habanero su origen y usos. Ciencia Julio-Septiembre. P: 70-77.
- Salazar-Olivo, L. A. y C. O. Silva-Ortega. 2004. Efectos farmacológicos de la capsaicina, el principio pungente del chile. Biología Scripta 1: 7-14.
- Sambhi, M. S.; Kaur G and Nandpuri, K.S. 1977. Chemical constituents in mature green and red fruits of some

varieties of chilli (*Capsicum annum* L.) *Qualitas Plantarum* 27(2):171-175.

- Segura M. A., Preciado P., González G., Frías J. E., García G., Orozco J. A., Enríquez M. 2008. Adición de material pomáceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad. *Interciencia* 33(12): 923-928.
- SIAP, Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (2013) Producción Agropecuaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/> (consultado en Noviembre 2020).
- Soto-Ortiz, R. and Silvertooth, J. C. 2008. A Crop Phenology Model for Irrigated New Mexico. College of Agriculture and Life Sciences, University of Arizona (Tucson, AZ). P-152.
- Sung Y.; Y. Y. Chang. and N. L. Ting. 2005. Capsaicin biosynthesis in water-stressed hot pepper fruits. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 46:42.
- Sung Y.; Y. Y. Chang and N. L. Ting. 2005. Capsaicin biosynthesis in water-stressed hot pepper fruits. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46, 42.
- Tejas R. A., Servín R., Nieto-Garibay A. and Marín A. 2011. Record of *Plagiometriona clavata* (Fabricius 1798) (Coleoptera: Chrysomelidae) on wild chili *Capsicum annum*, of Baja California Sur, Mexico. *Acta Zoologica Mexicana* 27(1): 201-205.
- Tewari, S. K. and Sing M. 1993. Yielding ability of wheat at different date of sowing - a temperatura development performance. *Indian J. Agron.* 38 (2): 204-209.
- Tun D., J. C. 2001. Chile habanero características y tecnología de producción. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. INIFAP. Yucatán, México.

Velásquez-Valle R., J. Mena-Covarrubias y L. R. Reveles-Torres
2011. Amarillamientos del Chile para Secado en el Norte-
Centro de México. Folleto técnico no. 35. Ed. Campo
Experimental Zacatecas, CIRNOC-INIFAP. Calera de V. R.,
Zacatecas, México. 40 p.

Velásquez-Valle R., L. R. Reveles-Torres y M. Reveles-Hernández
2013. Manejo de las Principales Enfermedades del Chile para
Secado en el Norte Centro de México. Folleto Técnico Núm
50. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. 57 p.

Wall, M. M. and P. W. Bosland. 1998. Analytical methods for color
and pungency of chiles (*Capsicum*). In: instrumental methods
in Food and Beverage Analysis. Wetzel D. and G. Charalambous
Editors. Elsevier, Amsterdam. Holanda. Pp: 366.

Zewdie, Y., and P. W. Bosland. 2000. Evaluation of genotype,
environment, and genotype-by-environment interaction for
capsaicinoids in *Capsicum annuum* L. *Euphytica* 111: 185-190.