



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

**Efecto de la temperatura y concentración de CO<sub>2</sub>  
en la fenología de dos especies del género  
*Capsicum***

**TESIS**

Que presenta:

**Jehú Gualberto Noh Kú**

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**Licenciado en Biología**

Director de tesis:

**Dr. René Garruña Hernández**

Conkal, Yucatán, México

Mayo, 2022



**TecNM**



La presente tesis fue realizada por Jehú Gualberto Noh Kú de la carrera de Licenciatura en Biología, con especialidad PARASITOLOGÍA DE REGIONES TROPICALES y con el número de control 16800067, con el título “**Efecto de la temperatura y concentración de CO2 en la fenología de dos especies del género *Capsicum***”, la cual fue dirigida, asesorada y revisada por el comité que fue asignado en su oportunidad y cuyos integrantes firman su consentimiento para que este trabajo sea presentado como requisito parcial para la titulación, de acuerdo al proceso de titulación integral y al manual de lineamientos académicos administrativos del Tecnológico Nacional de México.



DIRECTOR: \_\_\_\_\_ DR. RENÉ GARRUÑA HERNÁNDEZ



ASESOR: \_\_\_\_\_ DR. LUIS LEONARDO PINZÓN LÓPEZ



REVISOR: \_\_\_\_\_ BIOL. FRANCISCO JAVIER REYNA DÍAZ

## **Dedicatoria**

A mis padres Manuela Kú Novelo y Jesús Benjamín Noh Balam que siempre me demuestran su cariño y apoyo incondicional y a pesar de la situación siempre estuvieron alentándome a superarme día con día y me inculcaron los valores necesarios para poder lograr este gran paso.

A mis hermanos y sobrinos por los momentos de felicidad y de manera especial a mi hermano Saúl Jesús Noh Kú por haberme apoyado de manera económica y emocional durante todo el proceso.

A mis amigas que son parte de mi segunda familia María Carrera Marín y Elsy Alexandra Kú Cumí, sobre todo a María Carrera que me ayudó a aceptar las cosas buenas y malas de la situación y de esa manera no desistir en momentos de desánimo.

A D.S.V. quien me motivó a conseguir un título universitario y quien me animó en los momentos que quería dejar todo inconcluso; así como también a hacer las cosas lo mejor posible; también agradecerle el haberme acompañado durante todo el proceso académico y personal durante esta etapa de mi vida.

## **Agradecimientos**

Al Instituto Tecnológico de Conkal por todas las facilidades brindadas para realizar los estudios de Licenciatura y por la oportunidad de adquirir conocimientos, así como también por la confianza otorgada durante el proceso de tesis.

Al Dr. René Gurruña por confiar en mí y por todos los conocimientos y experiencia que aportó a mi formación personal y profesional. A mi gran amigo German por haberme alentado y ayudado en parte del proceso.

A Eduardo N. por haberme animado y brindado su amistad y apoyo en los últimos años de la carrera.

A mis profesores sobre todo a Alfonzo Madrazo y Rubén Andueza, Horacio Ballina y Rene Garruña, quienes siempre aportaron sus conocimientos para hacerme crecer de manera profesional.

A los alumnos de maestría quienes siempre se portaron de manera amable enseñándome a trabajar y compartiendo sus conocimientos para resolver mis dudas en especial al Biólogo Miguel Oliva por su ayuda brindada en la interpretación de los datos.

Al Dr. Luis Leonardo Pinzón, por apoyarme en la revisión de este documento, así como también por aportar en mi conocimiento para seguir creciendo como profesionista.

## Resumen

El crecimiento de la población es evidente en el planeta, lo cual trae como consecuencia mayor demanda de recursos que producen impactos globales generando cambios climáticos drásticos como los cambios en temperatura, sequías y cambios de patrones atmosféricos. El calentamiento global produce impactos que pueden poner en riesgo el desarrollo de los países y la integridad ecosistémica a nivel mundial, entre estos cambios hay que destacar la pérdida de producción agrícola, que es de máxima importancia para la alimentación. En las plantas, los cambios fenológicos son una de las consecuencias de los cambios drásticos de temperatura y las condiciones atmosféricas la principal limitante para la producción agrícola. El género *Capsicum* es una hortaliza de alta importancia económica en México sobre todo las especies (*Capsicum annuum* y *Capsicum chinense*) esta es la principal razón por la cual se optó para utilizarlas como modelo de estudio. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la temperatura y la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico en la fenología de dos especies del género *Capsicum*. Los resultados mostraron que el **aumento** de temperatura y concentración de CO<sub>2</sub> afecta a las dos especies (*Capsicum annuum* y *Capsicum chinense*) en su fenología reproductiva de **manera positiva** la presencia de botones florales, flores, frutos y de manera negativa en **abortos florales** en temperaturas y concentraciones de CO<sub>2</sub> cuando sean de 30 °C con 400 y 1200 ppm de CO<sub>2</sub> y en las de 40 °C con 1200 ppm de CO<sub>2</sub> favorece solamente en la cantidad de flores pero no de frutos y aumenta el número de abortos florales y en temperaturas de 40°C con 400 ppm CO<sub>2</sub> disminuyen la producción de estos órganos. Concluyendo en que la temperatura y CO<sub>2</sub> están sumamente relacionados con la fenología de estas especies y un aumento o disminución de ellos podrían comprometer la producción y su desarrollo.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, *Capsicum chinense*, botones florales, flores, frutos y abortos florales, cambio climático, producción, desarrollo, fenología reproductiva.

## Abstract

Population growth is evident on the planet, which results in a greater demand for resources that produce global impacts on the planet, generating drastic climate changes such as changes in temperature, droughts and changes in atmospheric patterns. Global warming produces impacts that can put at risk the development of the countries and the ecosystem integrity worldwide, among these changes we must highlight the loss of agricultural production, which is of the utmost importance for food. Phenological changes are one of the consequences of drastic changes in temperature and atmospheric conditions are the main limitation for agricultural production. The *Capsicum* genus is a vegetable of high economic importance in Mexico, especially the species (*Capsicum annuum* and *Capsicum chinense*), this is the main reason why it was chosen to use them in the following experiment. The objective of this work was to evaluate the effects of temperature and atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on the phenology of two species of the genus *Capsicum*. The results show that **the increase** in temperature and CO<sub>2</sub> concentration affects both species (*Capsicum annuum* and *Capsicum chinense*) in their reproductive phenology in a positive way in the presence of flower buds, flowers, fruits and floral abortions in temperatures and CO<sub>2</sub> concentrations. When they are 30 °C with 400 and 1200 ppm of CO<sub>2</sub> and in those of 40 °C with 1200 ppm of CO<sub>2</sub>, it only favors the number of flowers but not fruits and increases **the number of floral abortions** and in temperatures of 40 °C with 400 ppm CO<sub>2</sub> decrease the production of these organs. Concluding that temperature and CO<sub>2</sub> are highly related to the phenology of these species and an increase or decrease in them could compromise production and development.

**Keywords:** *Capsicum annuum*, *Capsicum chinense*, flower buds, flowers, fruits and floral abortions, climate change, production, development, reproductive phenology.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria .....	2
Agradecimientos .....	4
Resumen .....	5
Abstract .....	6
INTRODUCCIÓN .....	9
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	
Objetivo general .....	12
Objetivos específicos .....	12
Hipótesis.....	12
FUNDAMENTO TEÓRICO .....	13
Cambio climático y efecto invernadero.....	14
Cambio climático y la agricultura.....	16
Fenología y el cambio climático.....	17
El género <i>Capsicum</i> .....	18
<i>Capsicum chinense</i> .....	19
<i>Capsicum annuum</i> .....	20
DESARROLLO DEL PROYECTO.....	22
Ubicación geográfica .....	22
Desarrollo del experimento .....	22
Tratamientos y diseño experimental.....	24
Procesamiento de datos .....	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
Botones florales.....	27
Floración .....	30
Frutos .....	32
Abortos florales.....	34
CONCLUSIÓN .....	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37



## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla 1. Tratamientos en las cámaras experimentales .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 1. Tiempo en aparecer botones florales, flores y fructificación de chile habanero (<i>Capsicum chinense</i>) y de chile dulce (<i>Capsicum annuum</i>) .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 2. Cantidad de frutos en chile habanero y en chile dulce en 4 tratamientos a diferente temperatura y CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 3. Cantidad de abortos de flores en chile habanero y en chile dulce en 4 tratamientos a diferente temperatura y CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 4. Cantidad de abortos de flores en chile habanero y en chile dulce en 4 tratamientos a diferente temperatura y CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>35</b>

## INTRODUCCIÓN

Los investigadores ambientales concuerdan en que la Tierra se ha calentado en el último siglo y se predice que este proceso continuará en los años siguientes, estimándose que cada vez este suceso será más evidente; siendo que en los últimos 30 años en Perú se han perdido el 22% que a la vez corresponde con el 71% de los glaciares tropicales del mundo (Zaragoza, 2014).

La tierra está representada por la agricultura (García et al., 2006). Las condiciones atmosféricas son la principal limitante para la producción agrícola, debido a eso las cosechas son variables cada año. Estos efectos son consecuencia del cambio climático ocasionado por el hombre (Hernández, 2012). El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y la temperatura son factores importantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas, provocando cambios en la fenología de los cultivos, por eso si se utilizan de manera adecuada los agroecosistemas se puede convertir en sistemas sostenibles, aprovechando o mitigando los efectos ocasionados por el cambio climático (Gliessman, 2002).

La fenología se encarga de estudiar la secuencia temporal de las distintas fases periódicas de las plantas y están relacionadas con los factores climáticos que tienen una estrecha relación con las condiciones prevalecientes de temperatura y cantidad de precipitación disponible (Granados, 2013). Los contrastes climáticos durante un ciclo anual son considerados un papel muy importante para el desarrollo fenológico de las plantas, siendo esos eventos los reguladores principales en la floración y el desarrollo del fruto (Villers et al., 2009).

La población humana ha crecido de manera exponencial en el planeta, generando una mayor demanda de recursos y esto a su vez ha acelerado la emisión de gases de efecto invernadero. Este problema ha afectado la agricultura al generar una alta demanda en productos de alimentación, pero al explotar este recurso ha generado que este ya no sea sustentable. Los efectos que el cambio climático ha tenido sobre la agricultura son negativos, sobre todo para los agricultores, ya que por los cambios de temperatura y la escasez de precipitación (la mayor superficie de cultivo de chiles es con riego), han generado que muchas especies modifiquen sus etapas de producción, así como las deficiencias o incluso quedarse sin producción.

La temperatura y el CO<sub>2</sub> en el ambiente juegan un papel importante en la fenología de las plantas, estos eventos pueden acelerar o incluso impedir los tiempos de producción. Estos factores climáticos son considerados un papel de suma importancia para la fenología de las plantas, siendo esos eventos los reguladores principales en la floración y el desarrollo del fruto, es por eso que ante el problema evidente del cambio climático los cambios fenológicos son de suma importancia para garantizar la producción en un futuro.

Los investigadores mencionan que en los últimos años el calentamiento global se ha visto acelerado en las últimas décadas e identificaron que el exceso de crecimiento poblacional influye en estas consecuencias. El crecimiento poblacional ha afectado la agricultura, al tener una alta demanda se ha explotado este recurso, el cual es un tema preocupante porque su producción dejó de ser sustentable y pasó a ser insostenible. Además, consideran que los efectos de la explotación de estos recursos contribuyen en gran manera en el aumento de emisión de gases de efecto invernadero.

El calentamiento global es una consecuencia en gran parte de las actividades antropogénicas, debido al incremento de la población, que aunado al calentamiento global han propiciado las pérdidas en los cultivos de importancia económica. Los efectos que más influyen en el desarrollo de la agricultura es la temperatura y la emisión de gases de efecto invernadero, entre estos se encuentra la emisión y aumento del CO<sub>2</sub> que es muy importante para las plantas ya que acelera su tasa fotosintética, así como la variación de temperatura que está ligada al ciclo de vida y la fenología de cualquier planta.

En México, en la región sureste del país el chile es uno de los cultivos de mayor importancia agrícola y económica y en los últimos años su producción ha sido afectada por los cambios drásticos de temperatura. La mayoría de los investigadores concuerdan que hay que estar preparados para las consecuencias del cambio climático. Sobre todo, en México siendo un principal productor de chile, el cual ocupa el segundo de mayor producción después del tomate.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Evaluar los efectos de la temperatura y la concentración de CO<sub>2</sub> en la fenología de dos especies del género *Capsicum*.

### Objetivos específicos

Evaluar el efecto de la temperatura y el CO<sub>2</sub> atmosférico sobre los tiempos de floración y fructificación de chile habanero y chile dulce.

Evaluar el efecto de la temperatura y el CO<sub>2</sub> sobre el aborto de órganos reproductivos y frutos de chile habanero y chile dulce.

### Hipótesis

El aumento de temperatura retrasa la floración, aumenta los abortos florales y en consecuencia disminuye la producción de frutos; mientras que ambientes enriquecidos con CO<sub>2</sub> se presentará floración y producción anticipada, aumento en el tamaño de frutos así como disminución en los abortos de flores de plantas de chile habanero (*Capsicum chinense*) y chile dulce (*Capsicum annuum*), se espera un incremento de abortos florales a 40 °C y en las temperaturas a 30 °C con ambientes enriquecidos con CO<sub>2</sub> el aborto floral disminuirá.

## FUNDAMENTO TEÓRICO

El CO<sub>2</sub> influye en el fruto de la planta, de acuerdo con Garruña et al. (2013) el aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico podría modificar rutas específicas del metabolismo secundario, así como otros rasgos deseables, modificando así la calidad de los productos. También comprobaron que el tratamiento con mayor concentración de CO<sub>2</sub> mostró un aumento de producción muy notable en comparación con las concentraciones de CO<sub>2</sub> actuales.

Beltrán (2019), menciona en su experimento realizado en invernaderos que el efecto provocado por el ambiente en la dinámica de absorción de CO<sub>2</sub> varía en plantas de tomate, su principal objetivo fue determinar la relación del ambiente y la cantidad de CO<sub>2</sub> que consume el cultivo; finalmente, él mismo concluyó que la diferencia entre distintas combinaciones de condiciones ambientales, y comprobó que el efecto del clima en una planta afecta significativamente la fotosíntesis y a su vez la productividad del cultivo.

Por otra parte Granados (2013) menciona que el maíz (*Zea mays L.*) presenta vulnerabilidad a las variaciones de los elementos del clima, particularmente en las fluctuaciones de la temperatura y precipitación; y se han demostrado sus repercusiones en la fenología, demostrando en su estudio que la fase fenológica de floración es afectada por los cambios de temperatura y por consecuencia afecta el fruto.

Otro estudio llevado a cabo por Caraballoso et al., (2013) tuvo como objetivo evaluar los efectos del cambio climático en la floración de la caña de azúcar en la región central de Cuba; demostrando sus resultados que la mayor intensidad de floración se localiza en las zonas de montaña, donde se producen temperaturas máximas en septiembre debajo de 31 °C.

De igual manera si la temperatura llegara a aumentar 2 °C, producirá una reducción considerable de la intensidad de floración

Silva et al., (2013) investigaron la vulnerabilidad que tiene la producción del café (*Coffea arabica L.*) ante el cambio climático global. Estos autores demostraron que los cambios climáticos que se predicen para el año 2050 puede ocasionar al estado de Veracruz gran pérdida en su producción de café (*Coffea arabica L.*), su pérdida puede llegar a ser hasta un 10 %, lo cual les afectaría económicamente debido a que es el principal estado de producción en México. Esta investigación los llevó a la conclusión que ésta pérdida es provocada por la disminución de la precipitación y con menor grado por el incremento de la temperatura del aire. Finalmente comprobaron que la precipitación corresponde aproximadamente de 65 % en la pérdida y los cambios de temperatura hasta un 35 %.

### **Cambio climático y efecto invernadero**

La tierra absorbe la radiación solar mediante la superficie y la redistribuye mediante circulaciones atmosféricas y oceánicas con la finalidad de compensar los contrastes térmicos, principalmente del ecuador hacia los polos. La energía recibida es remitida al espacio para obtener un balance. Cualquier efecto que altere ese balance es reflejado en cambios del clima (Martínez et al., 2004).

En los últimos 200 años el crecimiento de la población ha sido exponencial y como consecuencia se genera una mayor demanda de consumo de todo tipo de recursos (Barros, 2004). La base de la demanda elevada de consumo hizo que el ser humano produjera impactos globales sobre el planeta generando cambios drásticos en la vida de este, entre los

más visibles se encuentra la emisión de gases de efecto invernadero que en los últimos 150 años han contribuido al calentamiento global y en consecuencia de estos acontecimientos se predice que este proceso se verá acelerado en las últimas décadas y si no se hace nada al respecto los efectos pueden ser catastróficos, sin duda este es uno de los desafíos más grandes para los siguientes años (Barros, 2004).

Las amenazas del calentamiento global producen impactos que pueden poner en riesgo el desarrollo de los países y la integridad ecosistémica a nivel mundial. Es evidente que gran cantidad de especies vegetales y animales ya están debilitadas por la contaminación y la pérdida de hábitat, por lo que no sobrevivirán los próximos años (PNACC, 2006).

El planeta está rodeado de una delgada capa de gases conocida como atmósfera terrestre, la cual es muy importante ya que en ella se encuentran los gases que son fundamentales para el desarrollo de la mayor parte de la vida en el planeta. La atmósfera químicamente está compuesta por Nitrógeno (N), Oxígeno (O<sub>2</sub>), Argón (Ar) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

El CO<sub>2</sub> en proporciones tan bajas, es de crucial importancia en el proceso de calentamiento de la atmósfera. La temperatura aumenta cuando igualmente lo hace la emisividad de gases, al calentarse el planeta se espera un aumento de evaporación y a su vez como consecuencia mayor emisividad de gases que a su vez aumenta las concentraciones de CO<sub>2</sub> (Martínez et al., 2004).

El cambio climático se observa desde la década de 1950, desde ese entonces se han registrado incrementos en la temperatura de la atmósfera y el océano, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado (IPCC, 2013). La emisión de gases de efecto invernadero



(GEI) está generando principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), clorofluorocarbonados (CFC's), óxidos de nitrógeno (NOx) y metano (CH<sub>4</sub>), cabe recalcar que el CO<sub>2</sub> es uno de los GEI más importantes por las grandes cantidades en las que se emite, ya que es bien sabido su importancia para las plantas (Benjamín et al., 2001).

No cabe duda de que el cambio climático genera preocupaciones, especialmente con la energía y el uso de recursos naturales, por lo que es de primera necesidad estar preparados para los retos que esto implica (Iglesias et al., 2009).

### **Cambio climático y la agricultura**

Durante el siglo XX la agricultura ha jugado un papel importante para la provisión de alimentos ante el crecimiento poblacional. Se ha abusado de este recurso y ha generado degradación por lo cual se ha convertido en una agricultura insostenible. Si utilizamos de manera adecuada los agroecosistemas podremos convertirla en sostenible (Gliessman, 2002).

La producción de productos agrícolas es sensible a cambios en la temperatura, en especial los cultivos que están a expensas de los niveles de precipitación. Los escenarios climáticos proyectados demuestran que el clima sufrirá variaciones en el futuro (Ordaz, 2010). La temperatura juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Gliessman, 2002).

La mayor proporción de la tierra está representada por la agricultura, esta ofrece un potencial de mitigación significativa, gracias a su almacenamiento de carbono (García et al., 2006). Las condiciones atmosféricas son la principal limitante para la producción agrícola,

por eso mismo las cosechas son variables cada año. Estos efectos son consecuencia del cambio climático ocasionado por el hombre (Hernández, 2012).

### **Fenología y el cambio climático**

La fenología se encarga de estudiar la secuencia temporal de las distintas fases periódicas de las plantas y cómo están relacionadas con el clima y el tiempo atmosférico, posee una estrecha relación con las condiciones prevalecientes de temperatura y cantidad de precipitación disponible (Granados, 2013). Se considera que los contrastes climáticos durante un ciclo anual tienen una función importante en el desarrollo fenológico de las plantas, siendo esos eventos los principales reguladores de la floración y el desarrollo del fruto (Villers et al., 2009).

Los investigadores ambientales concuerdan en que la Tierra se ha calentado en el último siglo y las predicciones actuales nos dicen que este proceso continuará y que se acelerará si no se pone freno al actual ritmo de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente CO<sub>2</sub> (Zaragoza, 2014).

Las plantas han respondido al cambio climático en dos formas principales, migración y adaptación (Alvarado et al., 2002). De igual manera el incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera permite a los árboles desarrollarse en zonas donde la vegetación estaba restringida a plantas de mucho menor tamaño (Alvarado et al., 2002). El estrés ocasionado por la temperatura es uno de los principales factores que limitan el crecimiento y desarrollo de muchas especies de plantas, la limitación del crecimiento está relacionada con cambios fisiológicos. Cuando se incrementan las temperaturas por encima de los niveles normales,

por lo general las plantas presentan deformaciones en sus órganos reproductores (Morales et al., 2006).

Por otra parte, los frutos constituyen un importante recurso alimenticio para diferentes especies (Guimarães, 2006). Las fases fenológicas de las plantas reconocen la sensibilidad e importancia de la floración y desarrollo del fruto a los cambios climáticos (Granados, 2013). Es evidente que el cambio climático ha comenzado a modificar eventos fenológicos en algunas especies vegetales, estos eventos abarcan los ciclos estacionales y de vida de las especies, incluyendo desde la retención o caída de las hojas, hasta cambios en la floración y la maduración de frutos (Villers et al., 2009).

### **El género *Capsicum***

El género *Capsicum* tiene origen en los trópicos americanos, este género agrupa aproximadamente de 20 a 30 especies, de acuerdo con los criterios de diferentes investigadores. Cinco de estas especies han sido domesticados: *Capsicum annuum L.*, *Capsicum frutescens L.*; *Capsicum chinense Jacq.*, *Capsicum pubescens Ruiz & Pav.* y *Capsicum baccatum L. var pendulum*. El género *Capsicum* fue descrito por primera vez por Joseph Pitón de Tournefort en 1700 (Medina, 2006). Actualmente las especies domesticadas forman complejos taxonómicos (Gavin et al., S/A). En la actualidad se cree que *Capsicum annum* fue domesticada dos veces, una en México y la otra en la amazonia (Hernández, 2012).

La variación morfológica y sus patrones de distribución geográfica ayudan a entender la evolución de las especies vegetales. México es uno de los principales centros de

domesticación de este género (Hernández, 2012). Todas las formas de chile pertenecen al género *Capsicum*, de la familia Solanaceae. Este género tiene importancia como alimento y algunas especies son utilizadas como medicamento entre las comunidades indígenas de México, Centro y Sudamérica (Yáñez, 20015).

### ***Capsicum chinense***

Se cree que *C. chinense* tiene un origen en América del Sur, de donde fue introducido a Cuba y de ahí fue traído a Yucatán y así fue como llegó al estado, es por eso que este no tiene un nombre maya (Ruiz et al., 2011). Este chile se encuentra distribuido en toda la península de Yucatán, donde se observan diferentes formas, colores y tamaños del fruto. El chile habanero se clasifica como una planta de clase Angiosperma, de la familia Solanácea, género *Capsicum* y especie *C. chinense*.

Es de ciclo anual, que puede alcanzar un periodo de vida de hasta 12 meses. Su altura puede ser de 75 hasta 120 centímetros, el tallo es grueso, erecto y robusto. **Las hojas** de estas plantas pueden variar en color y tamaño, son simples, lisas, alternas y de forma lanceolada. Cuentan con una raíz principal de tipo pivotante. Las flores son de color blanco y pueden medir hasta 2.5 cm, se presentan individuales o en grupos de dos o más en cada una de las axilas. Las plantas en general pueden tener en promedio hasta seis frutos por axila, su sabor siempre es picante, aunque este depende de la manera que es cultivado (Ruiz et al., 2011).

Entre el año 2001 a 2010 el mayor productor a nivel nacional de chile habanero fue el estado de Yucatán, posteriormente durante los años 2011 a 2016 el estado de Tabasco registró la mayor producción de esta hortaliza mientras que en el 2019 según la **SIAP 2020** a nivel estatal, Sinaloa fue el **mayor productor de chile en México**, llegando a producir el 23.4% de la producción seguido de Chihuahua (21%), Zacatecas (13.9%), San Luis Potosí (9.9%) y Sonora (5.94%) (Lazo et al., 2020).

### *Capsicum annuum*

Los chiles de la especie *Capsicum annuum*, son de los chiles cultivables más importantes en México y otros países (Garibay et al., 2002). Esta especie cuenta con múltiples variedades. En los últimos años el rendimiento de estos cultivos ha decrecido por diversos factores (Montero et al., 2010). En México la especie se ve afectada por enfermedades que afectan el cultivo (López, 2001).

En Yucatán, el chile dulce es el segundo tipo más importante después del chile habanero y se usa principalmente para condimentar exquisitos platillos regionales (Rincón *et al.*, 2010). El chile dulce presenta demanda todo el año *Capsicum annuum var. annuum* es la forma domesticada y es la más importante en México, esta especie conocida como chile dulce local o criollo se distribuye en Yucatán, Campeche, Tabasco y la parte norte de Chiapas principalmente (Ix Nahuat et al., 2013).

El chile *Capsicum annuum var. annuum* es de ciclo anual con hábito de crecimiento erecto, cuenta con tallo cilíndrico, sus hojas son de forma oval con margen entero y escasa pubescencia (Ix Nahuat et al., 2013). Su flor presenta corola de color blanco con anteras verdes, moradas o azules y filamento color verde, blanco o amarillo, su fruto tiene forma

muy parecida al pimentón, con una longitud entre 4.4 a 9.6 cm con promedio de 6.6 cm y el diámetro de 4.7 a 7.4 cm con una media de 6.5 cm. Su color puede es verde en su etapa inmadura y al madurar cambia a rojo (Rincón et al., 2010).

## DESARROLLO DEL PROYECTO

### Ubicación geográfica

El estudio se llevó a cabo durante el 2020 en el período de Agosto- Diciembre, en el Instituto Tecnológico de México/Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán.

La región se encuentra ubicada en el centro norte del estado, queda comprendido entre los paralelos 21° 02' y 21° 08' latitud norte y los meridianos 89° 29' y 89° 35' longitud oeste; posee una altura promedio de 8 metros sobre el nivel del mar. Tiene una temperatura media anual de 26.6 °C y precipitación pluvial media anual de 469 mm.

### Desarrollo del experimento

Las especies utilizadas son del género *Capsicum* (*Capsicum chinense* y *Capsicum annuum* variedad *annuum*).

El experimento se llevó a cabo en 4 cámaras de crecimiento. Las cámaras miden 3.5 x 2.5 x 2.2 m. Cada cámara cuenta con un aire acondicionado con termostato externo para controlar temperatura, un sensor de aire conectado a una válvula solenoide para regular la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> según lo requiera el tratamiento y un deshumidificador para el control a un 80 % de la humedad relativa del aire.

Después de preparar el área, se trasplantaron las plántulas de las dos especies las cuales tenían 37 días de siembra, en total fueron 20 repeticiones por cada especie, un total de

40 plantas por cámara, de las cuales se utilizaron 8 de cada especie teniendo una unidad experimental de 32 por cada especie. Cabe hacer mención que previo al trasplante las macetas de cinco kilos con sustrato se esterilizaron con formol y también se les aplicó un nematicida comercial (Quinoleina Fenolica), este proceso se realizó tres semanas previas al experimento.

Después de las tres semanas del proceso de esterilización el trasplante se realizó retirando las plantas una por una de las charolas y sembrándolas en el sustrato ya preparado en el cual se le realizó un orificio de aproximadamente cinco cm en el centro; posteriormente se colocó la plántula. Después del trasplante, las macetas se colocaron en las cámaras con la misma temperatura y cantidad de CO<sub>2</sub> por tres días, con la finalidad de que estén aclimatadas antes de iniciar los tratamientos de temperatura y CO<sub>2</sub>. Pasando los tres días de aclimatación se programaron las temperaturas y CO<sub>2</sub> requeridas para cada tratamiento (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Tratamientos en las cámaras experimentales.*

<b>No. de cámara</b>	<b>Condiciones de temperatura y CO<sub>2</sub></b>
<b>Cámara 1:</b>	<b>30 °C y 400 ppm de CO<sub>2</sub></b>
<b>Cámara 2:</b>	<b>40 °C y 1200 ppm de CO<sub>2</sub></b>
<b>Cámara 3:</b>	<b>30 °C y 1200 ppm de CO<sub>2</sub></b>
<b>Cámara 4:</b>	<b>40 °C y 400 ppm de CO<sub>2</sub></b>

Las plantas se regaron todos los días de acuerdo a sus necesidades. Durante las primeras dos semanas posteriores al trasplante, las plantas fueron regadas dos veces por



semana con 100 ml de solución Steiner al 50%, durante las siguientes el volumen de solución nutritiva incrementó a 200 ml al 50 % cuatro semanas se aplicaron 200 ml de la misma solución pero al 100 % y de la semana siete hasta el final del experimento se aplicó 300 ml de la solución Steiner al 100 %.

De manera preventiva se aplicaron con bomba insecticidas, acaricidas (avermectina) y fungicidas (benomilo).

Para evitar el efecto de borde todas las plantas fueron rotadas cada semana hasta la sexta semana, a partir de la séptima semana se colocó el tutorado con hilo de rafia colgado sobre los travesaños de las cámaras.

### **Tratamientos y diseño experimental**

Los tratamientos fueron los siguientes:

El diseño experimental fue completamente al azar, con un arreglo de tres factores completamente al azar, donde los factores fueron temperatura (30 y 40 °C), CO<sub>2</sub> (400 y 1200 ppm) y la especie (*C. chinense* y *C. annuum*), con 20 repeticiones por especie por tratamiento de las cuales se tomaron 8 de cada especie y de esa manera tener una unidad experimental de 32 plantas por cada especie.

## **Variables a evaluar**

Floración: Se registró diariamente la presencia de botones florales a partir de la primera planta que presente hasta que cada tratamiento alcance el 100 %, el registro se realizó revisando planta por planta y al presentar desde un botón floral ya era considerada con presencia.

Fructificación: Se registró diariamente las plantas que presenten frutos a partir de la primera, el registro se realizó revisando planta por planta y al presentar desde una flor ya era considerada con presencia.

Número de flores por planta: Se registró diariamente el número de flores, contando flor por flor de cada planta para tener mejor control en el registro de datos.

Número de frutos por plantas: Se registró diariamente el número de frutos por planta, este registro se realizó contando día a día cada fruto de cada planta considerando incluso los abortos de fruto siempre y cuando este tuviera una estructura de fruto, este conteo se realizó hasta el final del experimento.

Abortos de flores: De acuerdo con Garruña-Hernández et al. (2012) se obtuvo los abortos florales mediante una resta entre el número de flores menos el número de frutos totales.

## **Procesamiento de datos**

Teniendo los datos registrados necesarios, para el análisis de datos se empleó el análisis estadístico ANOVA trifactorial, y en caso de encontrar diferencias significativas se aplicó la prueba de Tuckey de comparación de medias  $p \leq 0.05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Botones florales

La presencia de botones florales se presentó primero en las plantas de chile dulce (*Capsicum annuum*) comenzando el día 17 después del trasplante en esta fecha las plantas contaban con 54 días después de la siembra, mientras que las plantas de chile habanero (*Capsicum chinense*) presentaron los primeros botones el día 18 después del trasplante las cuales contaban con 55 días después de la siembra, se pudo observar una diferencia estadísticamente significativa en chile habanero del día 18 al 30 y el día 40 en el tratamiento uno (30 °C-400 ppm CO<sub>2</sub>) y en tratamiento tres (30 °C-1200 ppm CO<sub>2</sub>) en comparación con los tratamientos dos (40 °C-1200CO<sub>2</sub> ppm)y cuatro(30 °C-400 ppm CO<sub>2</sub>)( $p \leq 0.05$ ; Figura 1A), en cuanto al chile dulce (*Capsicum annuum*) no mostró diferencias en la emisión de botones florales entre tratamientos.

Cabe mencionar que a pesar de haber solamente un día de diferencia en presentar los botones florales las plantas de chile dulce ya el día 2 habían alcanzando su 100 % en los 4 tratamientos. Las primeras flores empezaron a observarse en chile dulce (*Capsicum annuum*) el día 26 después del trasplante, mientras que las plantas de chile habanero (*Capsicum chinense*) presentaron la floración a los 30 días después del trasplante.

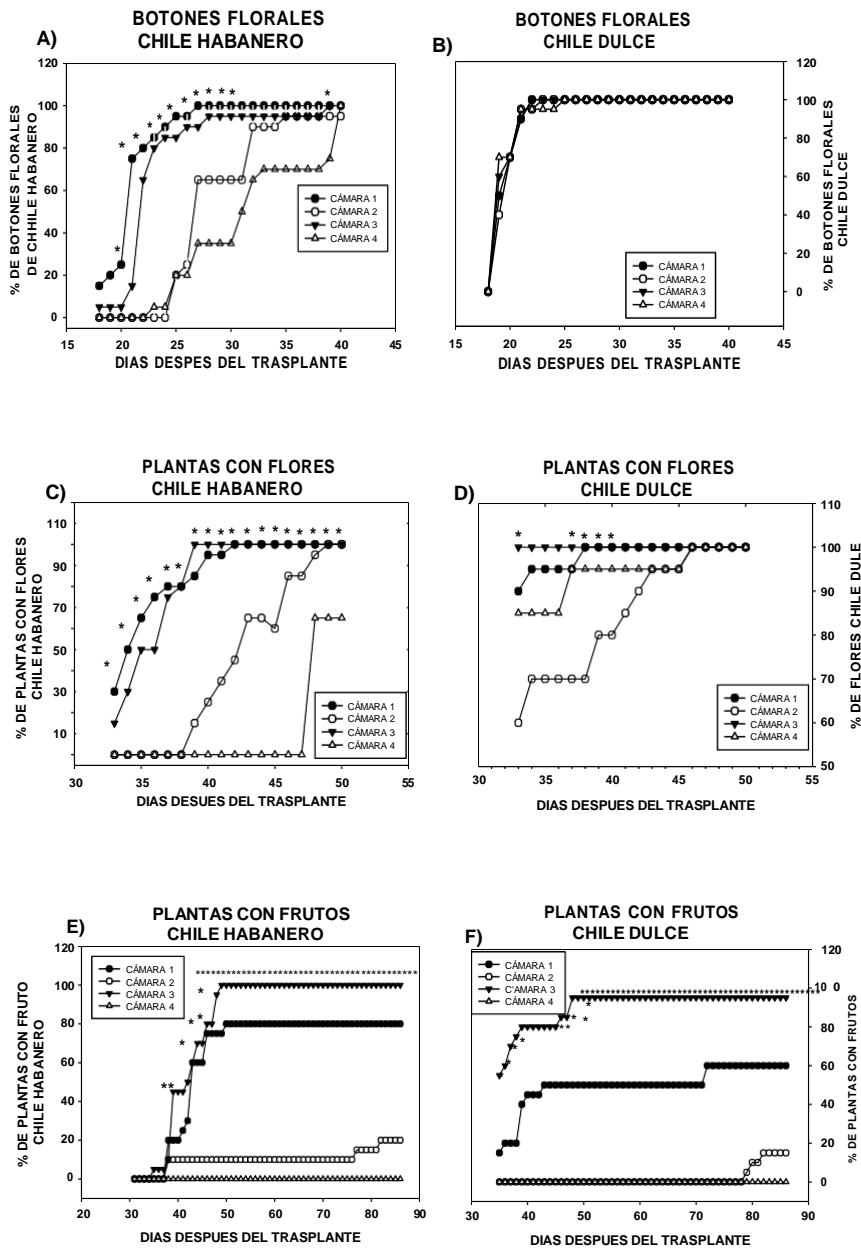
Se observó una diferencia estadísticamente significativa en chile habanero del día 33 al 50 después del trasplante en **la cámara uno** con tratamientos (30 °C-400 CO<sub>2</sub> ppm) y en **la cámara tres** (30 °C-1200 CO<sub>2</sub> ppm) en comparación con los cámara dos (40 °C-1200 CO<sub>2</sub> ppm) y la cámara cuatro(30°C-400 ppm CO<sub>2</sub>) entre estas dos últimas se empezó a notar la diferencia después del día 38( $P \leq 0.05$ ; Figura 1C), en cuanto al chile dulce (*Capsicum*

*annuum*) se observaron diferencias en los días 33 y 37 al 40 en la cámara tres (30°C-1200CO<sub>2</sub>ppm) en comparación con los demás tratamientos ( $P \leq 0.05$ ; Figura 1D).

Los primeros frutos en ambas especies comenzaron a presentarse el día 35 después del trasplante más sin embargo el chile habanero alcanzó mayor porcentaje conforme pasaron los días. Se observó una diferencia estadísticamente significativa en chile habanero del día 33 al 86 **en la cámara uno** (30 °C-400 CO<sub>2</sub> ppm) y en la cámara tres (30 °C-1200 ppm CO<sub>2</sub>) siendo mayor en esta, en comparación con los **cámara dos** (40 °C-1200 ppm CO<sub>2</sub>) y **la cámara cuatro** (30 °C-400 ppm CO<sub>2</sub>) en estas últimas no se observó diferencias.

En chile dulce (*Capsicum annuum*) se observó diferencias en los días 33 y 86 **en la cámara tres** (30 °C-1200 ppm CO<sub>2</sub>) ( $p \leq 0.05$ ; Figura 1F), en la **cámara uno** (30 °C-400 ppm CO<sub>2</sub>) se observó diferencias en comparación con los **cámara dos** (40 °C-1200 ppm CO<sub>2</sub>) donde la presencia de frutos fue muy reducida y la cámara cuatro(30 °C-400 ppm CO<sub>2</sub>) la cual no presentó dichos órganos.

López et al. (2012) mencionan que la precocidad en la floración la determina el inicio de las cosechas de frutos, Garruña-Hernández et al. (2012) en respuesta atribuye los retrasos en la fructificación al incremento de los abortos florales. Cabe mencionar que lo que López et al., (2012) mencionan se cumple en chile habanero mientras que en el chile dulce esta comprobación no aplica.



**Figura 1. Tiempo en aparecer botones florales (A), flores (C) y fructificación (E) de chile habanero (*Capsicum chinense*). Tiempo de botones florales (B), flores (D) y fructificación (F) de chile dulce (*Capsicum annuum*). Los valores representan las medias estadísticas; \*: diferencias estadísticas significativas (ANDEVA,  $P \leq 0.05$ );  $n = 32$**

De acuerdo con Garruña-Hernández et al. (2012) mencionan que la temperatura ideal para el desarrollo del chile es de 30 °C. Meneses et al. (2018) comprobó que el chile habanero tiene mayor asimilación al CO<sub>2</sub>, y esto en consecuencia genera una mayor producción de

flores y frutos. De acuerdo con Rangel (2016), las temperaturas elevadas producen una floración deficiente en plantas de género *Capsicum* y en consecuencia efectos negativos en la producción de frutos.

## **Floración**

En el número de flores de chile habanero se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. El tratamiento de la **cámara tres** (30 °C-1200 ppm CO<sub>2</sub>, Figura A) tuvo mayor número de flores ( $P \leq 0.001$ ) en comparación con los demás tratamientos, la cámara uno (30 °C-400 ppm CO<sub>2</sub>) se mostró superior en su producción de flores en comparación entre la cámara dos (40 °C-1200 ppm CO<sub>2</sub> y cuatro (40 °C-400 ppm CO<sub>2</sub>), entre estas dos últimas no hubo diferencia entre tratamientos.

El chile habanero tiene como rangos de temperatura para su desarrollo óptimo una temperatura de: mínima 10 °C, máxima 35°C y óptima de 30 °C (Ramírez et al., 2006). Por otra parte Garruña-Hernández et al., (2012) comprobaron que en plantas de chile habanero la floración se puede retrasar en temperaturas superiores a los 35 °C o incluso no tener si la temperatura es superior a arriba de los 40 °C, en esta misma investigación comprobó que los altos niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico ocasionan en la planta una mejor respuesta en relación a la producción de flores y frutos. De acuerdo con estos autores se comprobó que la cantidad de flores producidas fue mayor en los tratamientos a 30 °C enriquecidos con CO<sub>2</sub> a 1200 ppm.

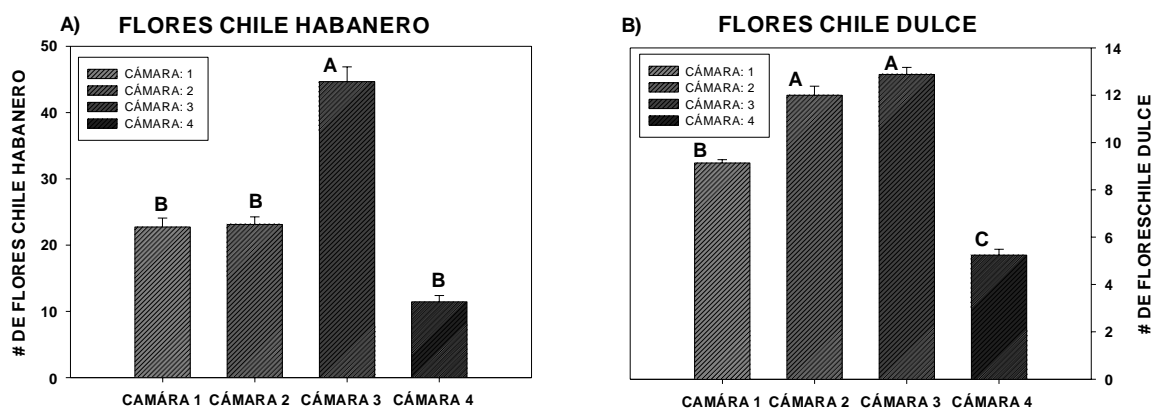
En el chile dulce de igual manera se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, las plantas de la cámara uno presentaron hasta siete flores por planta, las de la cámara dos hasta nueve flores, en la cámara tres hasta 12 flores mientras que en la cámara cuatro presentó únicamente dos flores (Figura 1B).

El tratamiento de la cámara tres (30°C-1200 ppm CO<sub>2</sub>) mostró diferencia estadísticamente significativa entre los demás tratamientos, siendo esta la que mayor producción de flores tuvo, en cuanto a los **tratamiento dos** (40 °C-1200 ppm CO<sub>2</sub>) y uno (30 °C-400 ppm CO<sub>2</sub>) no mostraron diferencia entre ellas, cabe destacar que entre tratamientos el CO<sub>2</sub> compensó lo que la temperatura mermo en producción de flores en comparación con la cámara cuatro pero ya que en esta ultima su producción fue casi nula (40 °C-400 CO<sub>2</sub> ppm).

De acuerdo Rangel (2016), las temperaturas elevadas producen una floración deficiente en plantas de género *Capsicum*. Garruña-Hernández et al., (2012) hace mención que las atmósferas enriquecidas con CO<sub>2</sub> influyen de manera positiva en el periodo de floración del género *Capsicum*. En plantas de *Capsicum annuum* expuestas a bajas temperaturas, la producción de flores mostró una alteración en el número de órganos florales (Almanza, 1998).

Concordando con estos autores se pudo comprobar que a temperaturas de 30 °C enriquecidos con CO<sub>2</sub> a 1200 ppm que la floración en chile dulce es mayor en relación a la cantidad de flores por planta en comparación con los demás tratamientos.





**Figura 2.** Cantidad de flores en chile habanero (A) y cantidad de frutos chile dulce (B) en 4 tratamientos a diferente temperatura y CO<sub>2</sub>. Los valores son medias ± error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas (Tuckey,  $\alpha = 0.05$ );  $n = 32$ .

## Frutos

Los primeros frutos aparecieron en chile dulce, comenzaron en el día 31 después del trasplante en esta fecha las plantas contaban ya con 68 días de edad, mientras que en chile habanero esta etapa comenzó en el día 33 después del trasplante en las primeras plantas para esa fecha las plantas contaban con 70 días de edad. Según López (2012) menciona que las primeras plantas que presentan fruto sean las mismas que mostraron una precocidad en la floración esto debido a su cantidad de producción. La etapa de fructificación de chile habanero mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Figura 2).

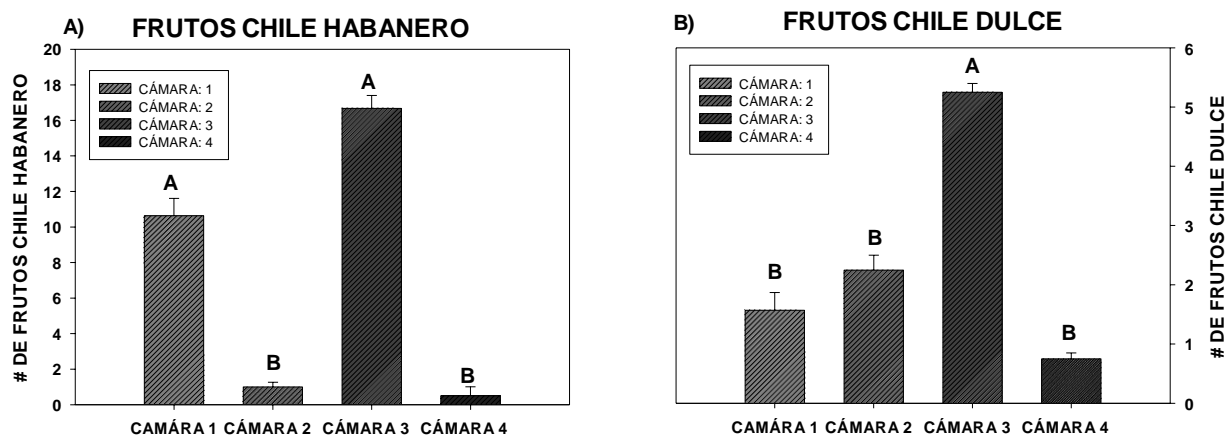
El tratamiento de la cámara tres (30 °C-1200 ppm CO<sub>2</sub>) tuvo mayor número de frutos ( $p \leq 0.001$ ) en comparación con los demás tratamientos, la cámara uno (30 °C-400 ppm CO<sub>2</sub>) se mostró superior en su producción de frutos en comparación entre la cámara dos (40°C-1200 ppm CO<sub>2</sub>) y cuatro (40°C-400 ppm CO<sub>2</sub>) ya que en el caso de la cámara dos solamente

llegó a presentar dos frutos como máximo por planta mientras que en la cámara cuatro no llegó a producirlos, entre estas dos últimas no hubo diferencia entre tratamientos, cabe destacar que a pesar de que en la cámara uno y dos la cantidad de flores no mostro diferencias entre tratamientos en el caso de la producción de frutos si hubo diferencias.

En el chile dulce de igual manera se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Figura 1B). El tratamiento de la cámara tres (30 °C-1200 ppm CO<sub>2</sub>) mostró diferencia estadísticamente significativa entre los demás tratamientos ( $p \leq$

0.001), en cuanto a la cámara dos (40 °C-1200CO<sub>2</sub> ppm) y uno (30 °C-400CO<sub>2</sub> ppm) no mostraron diferencia entre ellas, pero si en cuanto a la cámara cuatro (40 °C-400CO<sub>2</sub> ppm) ya que este tratamiento no alcanzó esa etapa de su ciclo reproductivo.

Según Garruña-Hernández et al., (2012) los niveles altos niveles de CO<sub>2</sub> podrían acelerar las etapas fenológicas, aumentar el número de flores y frutos, y en consecuencia mejorar los rendimientos de frutos. Garruña et al., (2014) comprobaron que las altas temperaturas afectan el crecimiento de las plantas y en la fase de fructificación comprobaron que a 40 °C fueron de 51 y 58 % más bajas que las plantas que se encontraron a 30 °C. De acuerdo con estos autores concordamos en que el CO<sub>2</sub> enriquecido y una temperatura óptima benefician la fase de fructificación mientras que las altas temperaturas pueden retrasarlas, disminuirla o incluso inhibirlas.



**Figura 3. Cantidad de frutos en chile habanero (A) y cantidad de abortos florales en chile dulce (B) en 4 tratamientos a diferente temperatura y CO<sub>2</sub>. Los valores son medias ± error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas (Tuckey,  $\alpha = 0.05$ ); n = 32.**

## Abortos florales

Los abortos florales fueron más notorios en **los tratamientos** a temperatura de 40 °C. Las dos especies (*Capsicum annuum* y *Capsicum chinense*) presentaron diferencias estadísticamente significativas (Figura 4A). El chile habanero presentó un incremento en el aborto de flores en la cámara cuatro (40 °C-400 ppm) y la cámara dos (40 °C -1200 ppm) ( $P \leq 0.001$ ) en comparación con los demás tratamientos, la cámara tres (30 °C-1200 ppm) presentó diferencias con respecto a la cámara uno (30 °C-400 ppm).

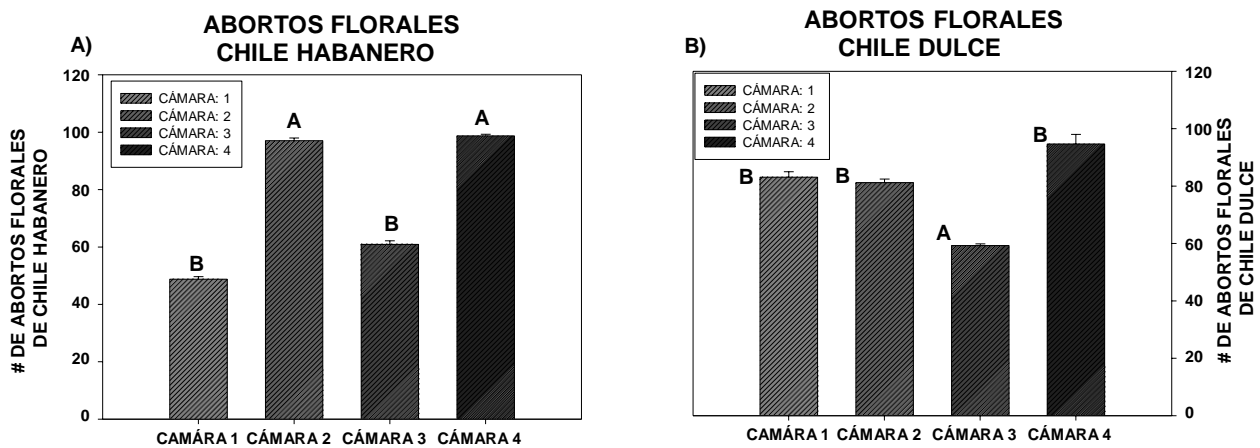
Garruña-Hernández et al. (2012) en su experimento de atmósferas enriquecidas con CO<sub>2</sub>, concluyeron que influye de manera positiva en el número de flores abortadas cuando existe mayor disposición de CO<sub>2</sub>, en este mismo experimento menciona que las temperaturas afectan al ciclo reproductivo de las plantas, pudiendo adelantarlos, retrasarlos o incluso inhibirlos.

Por otra parte, Meneses et al., (2018) comprobaron que el chile habanero en diferentes variedades tiene mayor tasa de asimilación al CO<sub>2</sub> y este efecto influye sobre los abortos florales. El chile dulce presentó diferencias estadísticamente significativas (Figura B) en cuanto a un mayor aborto floral en la cámara cuatro (40 °C-400 ppm) ( $p \leq 0.001$ ) en comparación con los demás tratamientos, la cámara dos (40 °C -1200 ppm CO<sub>2</sub>) y la cámara uno (30 °C-400 ppm CO<sub>2</sub>) no mostraron diferencia entre ellas pero si en comparación con el tratamiento de la cámara tres (30 °C-1200 ppm CO<sub>2</sub>) que fue la que menos abortos florales presentó.

De acuerdo con Espinoza (2010), el efecto de la presencia de los primeros frutos formados influye sobre el aborto de flores, esto es debido a asimilación de fotosintatos entre plantas y aun gasto energético. En regiones donde los promedios de temperatura son

superiores a 25 °C, el cultivo de *C. annuum*, tiene problemas relacionados a su desarrollo reproductivo debido a altas temperaturas que inducen el aborto de flores (Khah y Passam, 1992).

En relación con nuestros resultados del experimento se pudo comprobar que la temperatura y el CO<sub>2</sub> si influyen sobre la cantidad de flores abortadas, el efecto puede ser positivo o negativo, dependiendo de las temperaturas y CO<sub>2</sub> al que las plantas sean expuestas.



**Figura 4.** Cantidad de abortos de flores en chile habanero (A) y cantidad de abortos florales en chile dulce (B) en 4 tratamientos a diferente temperatura y CO<sub>2</sub>. Los valores son medias  $\pm$  error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas (Tuckey,  $\alpha = 0.05$ );  $n = 32$ .

## CONCLUSIÓN

El aumento de temperatura y concentración de CO<sub>2</sub> afectó significativamente a ambas especies del género *Capsicum* (*Capsicum annuum* y *Capsicum chinense*) de **manera positiva** en la presencia de botones florales, flores, frutos y disminuyendo los abortos florales en temperaturas y concentraciones de CO<sub>2</sub> cuando sean **de 30 °C con 400 y 1200 ppm de CO<sub>2</sub>** y en las **de 40 °C con 1200 ppm de CO<sub>2</sub>** favorece solamente en la cantidad de flores pero no de frutos y aumenta el número de abortos florales hasta un 60% y en temperaturas **de 40 °C con 400 ppm CO<sub>2</sub>** disminuyen su producción a más de un 90 % de estos órganos.

Por lo tanto, las altas temperaturas y bajo CO<sub>2</sub> afectan la fenología reproductiva de estas dos especies mientras que en temperaturas ideales **de 28 a 35 °C** con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> favorecen a la fenología reproductiva de ambas especies.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almanza Enríquez, J. G. (1998). *Estudios ecofisiológicos, métodos de propagación y productividad del chile piquín (Capsicum annuum L. var. aviculare Dierb.) D & E* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Alvarado Vázquez, M. A., Foroughbakhch Pournavab, R., Jurado Ybarra, E., & Rocha, A. (2002). El cambio climático y la fenología de las plantas. *Ciencia Uanl*, 5(4).
- Arcos, M. L., Matu, J. E. P., & Cortez, M. A. M. (2012). Respuesta del chile habanero (*Capsicum chinense* L. Jacq) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(2), 307-312.
- Barros, V. (2004). Cambio climático global. Libros del zorzal. 2° edición (pp 11).
- BELTRAN, J. C. A. (2019). Efecto de las condiciones ambientales en la dinámica de absorción de CO<sub>2</sub> en tomate de invernadero. 14-16, 32.45.
- Benjamín, J. A., & Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y bosques*, 7(1), 3-12.
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*, 8(10), 2-12.
- Carballoso, V., García, H., Jorge, H., & García, M. (2013). Posibles impactos del cambio climático sobre la floración de la caña de azúcar (*Saccharums pp.*) en la región central de Cuba. *Centro Azúcar*, 40(3) 34-37.
- De Cambio Climático, O. E. (2006). Plan nacional de adaptación al cambio climático. Oficina Española de Cambio Climático. Torreguil, España.

- García, A., Laurín, M., Llosá, M. J., González, V., Sanz, M. J., & Porcuna, J. L. (2006). Contribución de la agricultura ecológica a la mitigación del cambio climático en comparación con la agricultura convencional. *Agroecología*, 1, 75-88.
- Garibay, A. N., Amador, B. M., Diéguez, E. T., Mayoral, J. Á. L., & Hernández, J. L. G. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum L.*) en zonas áridas. *Interciencia*, 27(8), 417-421.
- Garruña-Hernández R., A. Canto, J. O. Mijangos-Cortés, I. Islas, L. Pinzón and R. Orellana (2012) Changes in flowering and fruiting of Habanero pepper in response to higher temperature and CO<sub>2</sub>. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10:802-808.
- Garruña-Hernández, R., Monforte-González, M., Canto-Aguilar, A., Vázquez-Flota, F., & Orellana, R. (2013). Enrichment of carbon dioxide in the atmosphere increases the capsaicinoids content in Habanero peppers (*Capsicum chinense Jacq.*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(6), 1385-1388.
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Catie.
- Govín, O. B., Fuentes, V., Fernández, G. A., Enríquez, S. A., & de Armas Morejón, D.(S/A) Las especies domesticadas y silvestres del género *Capsicum* l. en Cuba.
- Granados Ramírez, R., & Sarabia Rodríguez, A. A. (2013). Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 435-446.
- Granados Ramírez, R., & Sarabia Rodríguez, A. A. (2013). Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 435-446.
- Guimarães, T. D. B. (2006). Florística e fenologia reprodutiva de plantas vasculares na restinga do Parque Municipal das Dunas da Lagoa de Conceição, Florianópolis, SC.



- Hernández, R. G. (2012). Efecto del aumento de temperatura y CO<sub>2</sub> como consecuencia del cambio climático sobre *Capsicum chinense Jacq* (Doctoral dissertation, Centro de Investigación Científica de Yucatán).
- Hernández-Verdugo, S., Porras, F., Pacheco-Olvera, A., López-España, R. G., Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S., & Osuna Enciso, T. (2012). Caracterización y variación eco geográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica*, (33), 175-191.
- Iglesias, A., & Medina, F. (2009). Consecuencias del cambio climático para la agricultura: una problema de hoy o del futuro? (No. 1102-2016-90903, pp. 45-70).
- IPCC, 2013 Fifth Assessment Report, WG1 AR5. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Ix-Nahuat, J. G., Latournerie-Moreno, L., Pech-May, A. M., Pérez-Gutiérrez, A., Tun-Suárez, J. M., Ayora-Ricalde, G. & Montes-Hernández, S. (2013). Valor agronómico de germoplasma de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) en Yucatán, México. *Universidad y ciencia*, 29(3), 231-242.
- Jaimez, R., Añez, B., & Espinoza, W. (2010). Desfloración: su efecto sobre el aborto de estructuras reproductivas y rendimiento en pimentón (*Capsicum annumm* L.). Venezuela. *Rev. Facultad Agron*, 27, 418-432.
- Khah, E.M. y H.C. Passam. 1992. Flowering, fruit set and development of the fruit and seed of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivated under conditions of high ambient temperature. *Journal of Horticultural Science* 67: 251-258
- Lazo, R. E. M., & Garruña, R. (2020). The habanero pepper (*Capsicum chinense* JACQ.) AS a study plant model in Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(1).

- López, C. G., & González, P. A. G. (2001). Estudio regional de las enfermedades del chile (*Capsicum annuum*, L.) y su comportamiento temporal en el sur de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 19(1), 49-56.
- Martínez, M. F., & Osnaya, P. (2004). Cambio climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología. (pp 18-24).
- Martínez-Sánchez, D., Pérez-Grajales, M., Rodríguez-Pérez, J. E., Pérez, M., & del Carmen, E. (2010). Colecta y caracterización morfológica de 'chile de agua' (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(3), 169-176.
- Meneses-Lazo, R. E., Garruña-Hernández, R., Latournerie-Moreno, L., Andrade-Torres, J. L., & Pérez-Gutiérrez, A. (2018). Caracterización fenológica y fisiológica de variedades experimentales de chile habanero con alto potencial agronómico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(1), 67-74.
- Montero, L., Duarte, C., Cun, R., & Cabrera, J. A. (2010). Efectividad de biofertilizantes micorrízicos en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L. var. Verano 1) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. *Cultivos Tropicales*, 31(3), 00-00.
- Morales, D., Rodríguez, P., Dell'Amico, J. A., Torrecillas, A., & Sánchez-Blanco, M. D. J. (2006). Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Cultivos tropicales*, 27(1), 45-48.
- Ordaz, J. L., Mora, J., Acosta, A., Serna Hidalgo, B., & Ramírez, D. (2010). Costa Rica: efectos del cambio climático sobre la agricultura.

- Rangel, L. (2016). Crecimiento de chile habanero (*Capsicum Chinense* Jacq.) bajo diferentes espaciamientos entre hileras en la comarca lagunera (Doctoral dissertation, Tesis Lic. Coahuila, México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro).
- Rincón, V. H. A., Torres, T. C., López, P. L., Moreno, L. L., Meraz, M. R., Mendoza, H. V., & Castillo, J. A. A. (2010). Los chiles de México y su distribución. SINAREFI.
- Ruiz-Lau, N., Medina-Lara, F., & Martínez-Estévez, M. (2011). El chile habanero: su origen y usos. *Revista Ciencia, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 62, 70-77.
- Silva, R., del Rayo, M., Nikolskii Gavrilov, I., Castillo Álvarez, M., Ordaz Chaparro, V. M., Díaz Padilla, G., & Guajardo Panes, R. A. (2013). Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global. *Terra Latinoamericana*, 31(4), 305-313.
- Tucuch-Haas, C. J., Alcántar-González, G., Ordaz-Chaparro, V. M., Santizo-Rincón, J. A., & Larqué-Saavedra, A. (2012). Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana*, 30(1), 9-15.
- Villers, L., Arizpe, N., Orellana, R., Conde, C., & Hernández, J. (2009). Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*, 34(5), 322-329.
- Yáñez, P., Balseca, D., Rivadeneira, L., & Larenas, C. (2015). Características morfológicas y de concentración de capsaicina en cinco especies nativas del género *Capsicum* cultivadas en Ecuador. *La granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 22(2), 12-32.
- Zaragoza, G. S. (2014). Las nuevas rutas comerciales a través del Ártico. Una consecuencia del cambio climático. *Revista general de marina*, 266(2), 233-249.