



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y CO<sub>2</sub> SOBRE LA  
GERMINACIÓN Y LA CALIDAD DE PLÁNTULAS DE  
*Capsicum spp.***

**TESIS**

Que presenta:

**María Carrera Marín**

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**Licenciada en biología**

Director de tesis:

**Dr. René Garruña Hernández**

Conkal, Yucatán, México

Noviembre, 2022



**TecNM**



La presente Tesis fue realizada por María Carrera Marín de la carrera de Licenciatura en Biología, con Orientación a la parasitología Tropical y con el número de control 16800222, con el título "Efecto de la temperatura y CO<sub>2</sub> sobre la germinación y la calidad de plántulas de *Capsicum spp*", 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: \_\_\_\_\_

DRA. MARÍA FERNANDA RICALDE PÉREZ

REVISOR: \_\_\_\_\_

M.C OMAR JULIÁN ARGÁEZ

Conkal, Yuc, Noviembre 2022

## DEDICATORIA

A mi madre Isabel Marín Caballero por todo su cariño, por siempre estar apoyando mis necesidades y por su infinita paciencia. A mi padre Luis Carrera Carpizo que a pesar de la distancia me brindó su apoyo cuando lo necesitaba y me motivó a culminar la carrera.

A mi mejor amigo Jehu Noh Ku por ayudarme a superarme como alumna, pero sobre todo por su amistad incondicional y a mi mejor amiga Alexandra Ku Cumi por hacerme más amenos los días escolares con sus ingeniosas bromas.

A mi persona favorita, mi tía Beatriz Marín por su cariño, por motivarme, por ser la persona más sincera y única que conozco. A mi hermanita Sofía mi compañera de toda la vida y a mi hermano Luis Alberto quien a pesar de no ser muy cercanos siempre ha estado ahí para mí.

A Azucena quien me formo mis primeros años de vida, por su gran cariño, paciencia y los valores que me inculco. A mi tía Lisilla por ser una gran mentora durante la carrera y apoyarme en mis proyectos.

Y por último pero no menos importante a mis perros Goofas, Polito, Bailey y Sami quienes fueron mi mayor apoyo emocional e inspiración durante toda la carrera.

## AGRADECIMIENTOS

A mi gran amigo y mentor Miguel Oliva Ruiz, por compartirme sus conocimientos, por tomarse el tiempo y paciencia de explicarme, pero sobre todo por motivarme a seguir mi vocación.

Al equipo de trabajo, principalmente al Dr. Renée Gurruña por confiar en mí y por todos los conocimientos y experiencia que aportó a mi formación personal y profesional. 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 profesor Alfonzo Madrazo por todas sus enseñanzas, bromas, paciencia y por motivarme a superarme como alumna y persona, definitivamente el mejor maestro que me pudo tocar. De igual manera al profesor Horacio Ballina y Rubén Andueza quienes siempre aportaron sus conocimientos para hacerme crecer de manera profesional.

A mi buena amiga Fabiola Rios por los conocimientos brindados, apoyo y compañía durante el proyecto. A mi amigo Israel Martín por su nobleza y apoyo durante la carrera. A mi amigo Fernando Arce por motivarme a mejorar como persona y profesionalmente.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>Abstract</b> .....	2
<b>Resumen</b> .....	3
<b>Introducción</b> .....	3
<b>I. Antecedentes del problema</b> .....	3
1.1. El clima y efecto invernadero.....	5
1.2. Cambio climático.....	6
1.3. Agricultura y cambio climático.....	6
1.4. Aumento de CO <sub>2</sub> y temperatura.....	7
2. El género <i>Capsicum</i> .....	8
2.1. Características botánicas del chile habanero.....	9
2.2. Características botánicas del chile dulce.....	10
3. Germinación.....	11
3.1. Factores ambientales y germinación.....	12
3.1.1. Temperatura en la germinación.....	13
3.1.2. CO <sub>2</sub> en la germinación.....	14
<b>II. Objetivos</b> .....	17
2.1. Objetivo general.....	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
<b>III. Hipótesis</b> .....	18
<b>IV. Fundamento teórico</b> .....	18
<b>V. Desarrollo del proyecto</b> .....	19

5.1. Sitio de estudio.....	19
5.2. Establecimiento del experimento.....	20
5.3. Tratamientos.....	20
5.4. Especies evaluadas y siembra.....	20
5.5. Manejo agronómico.....	21
5.6. Diseño experimental.....	21
5.7. Variables a evaluar.....	21
5.5.1. Germinación y mortalidad de las plántulas.....	21
5.5.2. Altura y diámetro del tallo.....	22
5.5.3. Área foliar.....	22
5.5.4. Volumen radical.....	22
5.5.5. Peso seco.....	22
5.8. Procesamiento de datos.....	22
<b>VI. Resultados.....</b>	<b>24</b>
<b>VII. Conclusiones.....</b>	<b>25</b>
<b>VIII. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>25</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>I. Figura 1.</b> Emergencia acumulada y germinación total de chile dulce ( <i>C.annum</i> ) y de chile habanero ( <i>C.chinense</i> ).....	<b>25</b>
<b>II. Figura 2.</b> Mortalidad acumulada de chile dulce ( <i>C. annum</i> ) (A) y chile habanero ( <i>C. chinense</i> ).....	<b>26</b>
<b>III. Figura 3.</b> Crecimiento en plántulas de chile dulce ( <i>C. annum</i> ). Área foliar, diámetro de plántulas, altura de plántula y volumen radical.....	<b>27</b>

<b>IV. Figura 4.</b> Crecimiento en plántulas de chile habanero ( <i>C. chinense</i> ). Área foliar, diámetro de plántulas, altura de plántula y volumen radical.....	<b>29</b>
<b>V. Figura 5.</b> Peso seco en plántulas de chile dulce ( <i>C. annum</i> ). Biomasa de hojas, biomasa de tallo, biomasa de raíz y biomasa total.....	<b>32</b>
<b>VI. Figura 6.</b> Peso seco en plántulas de chile habanero ( <i>C. chinense</i> ). Biomasa de hojas, biomasa de tallo, biomasa de raíz y biomasa total.....	<b>33</b>
<b>VII. Cuadro 1.</b> Peso seco chile dulce ( <i>C. annum</i> ).....	<b>34</b>
<b>VIII. Cuadro 2.</b> Peso seco chile habanero ( <i>C. chinense</i> ).....	<b>34</b>



## ABSTRACT

Faced with an imminent increase in atmospheric CO<sub>2</sub> concentration and environmental temperature, the biological response of an important tropical crop was evaluated across several future climate change scenarios. Using four growth chambers located inside a greenhouse, the experiment was carried out to evaluate the effect of temperature and atmospheric concentration of CO<sub>2</sub> on germination and seedling quality, of two species of the genus *Capsicum* (*C. chinense* and *C. annuum*). Research aimed to evaluate the emergence of *Capsicum* sp. seedlings; across different climate change scenarios as well as the percentage of germination, seedling mortality and quality, among other growth variables from pre-emergence to the seedling stage (34 days). The results obtained indicated that 40 °C temperature favored the germination speed (GS) for *C. annuum*; while *C. chinense* presented a higher latency. On the other hand, CO<sub>2</sub> did not show a significant effect on germination; while higher temperatures (40 °C) promoted seedling mortality, especially in *C. annuum*. However, higher concentration of CO<sub>2</sub> counteracted the effect of higher temperatures with regards to seedling mortality, since the chamber that showed the highest mortality was chamber 4 (40 °C, 400 ppm) followed by chamber 2 (40 °C, 1200ppm). Meanwhile, the combination of optimal temperature and a higher level of CO<sub>2</sub>, favored the development, growth and quality of seedlings in both species of *Capsicum*, since chamber three (30 °C, 1200 ppm) presented a favorable statistically significant difference ( $P \leq 0.05$ ) in the varied parameters evaluated (leaf area, diameter, height, root volume and biomass) with regards to other treatments.

**Keywords: Climatic change, Temperature, CO<sub>2</sub>, *Capsicum* spp., Germination.**

## RESUMEN

Ante un inminente incremento en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> y un aumento en la temperatura ambiental, se evaluó la respuesta biológica de un importante cultivo tropical en futuros escenarios de cambio climático. Usando cuatro cámaras de crecimiento ubicadas dentro de un invernadero, se realizó el experimento para evaluar el efecto de la temperatura y concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> en la germinación y la calidad de plántulas, de dos especies del género *Capsicum* (*C. chinense* y *C. annuum*). El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la emergencia de *Capsicum* spp; en diferentes escenarios de cambio climático así como porcentaje de germinación, mortalidad de las plántulas, calidad de plántulas, entre otras variables de crecimiento desde la preemergencia hasta la etapa de plántula (34 días). Los resultados obtenidos indican que la temperatura a 40°C favoreció la velocidad de germinación (VG) para la especie *C. annuum*; mientras que *C. chinense* presentó una mayor latencia, por otra parte el CO<sub>2</sub> no tuvo un efecto significativo en la germinación; mientras que las altas temperaturas (40°C) promovieron la mortalidad de plántulas sobretodo en la variedad *C. annuum*, pero la concentración elevada de CO<sub>2</sub> contrarrestó el efecto de las altas temperaturas respecto a la mortalidad de plántulas , ya que la cámara que presentó mayor mortalidad fue la cámara 4 (40°C 400 ppm) y luego la cámara 2 (40°C 1200 ppm). Mientras que el conjunto de una temperatura óptima y un nivel de CO<sub>2</sub> elevado favoreció al desarrollo, crecimiento y calidad de las plántulas en ambas variedades de *Capsicum.spp*, ya que la cámara tres (C°30, 1200 ppm) presentó una diferencia estadísticamente significativa favorable ( $P \leq 0.05$ ) en los diferentes parámetros evaluados (área foliar, diámetro, altura, volumen radical y biomasa) respecto a los demás tratamientos.

Palabras clave: **Cambio climático, Temperatura, CO<sub>2</sub>, *Capsicum* spp., Germinación.**

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático global es uno de los problemas ambientales más severos que se enfrentan en el presente siglo (Ordoñez y Masera, 2001). Por lo que la vida de las distintas especies vegetales sobre la tierra están y seguirán viéndose afectadas, ya que están condicionadas por el permanente equilibrio entre factores muy diversos, entre los que desempeña un rol determinante el sistema climático (Cañadilla, 2019). La temperatura y las emisiones antropogénicas de GEI están aumentando significativamente, según Gómez (2019) son un 43% mayor que en 1990. El cambio en la temperatura media global en superficie para el período del 2016 al 2035, en relación con el período 1986-2005, es similar y es probable que vaya a estar en el rango de 0,3 °C a 0,7 °C en un futuro próximo (IPCC, 2014). Desde la Revolución Industrial, las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico han aumentado de 280 ppm hasta 410 ppm (Dusenge *et al*, 2018). Se espera que los combustibles fósiles y en particular el carbón seguirán contribuyendo significativamente hasta 2050 con un impacto directo sobre el escenario futuro de emisiones de CO<sub>2</sub>, pudiendo triplicarse hasta alcanzar valores de concentración de 1200 ppm al final de este siglo (Guerrero, 2013). La amenaza del cambio climático global afectará significativamente la agricultura, la cual es de gran importancia en nuestro país en el medio rural como fuente de ingresos y proveedor de alimentos. A pesar de que los efectos del cambio climático en la producción de cultivos varían de una región a otra, se espera que tengan efectos de gran alcance principalmente para las zonas tropicales (semiáridas y húmedas), por lo que Yucatán se verá severamente afectado (Altieri y Nicholls, 2009). Debido a esto, desde hace unos años se han empezado a realizar estudios de cómo se verán las plantas afectadas por el cambio climático en un futuro próximo. Por lo que la

elección de un buen organismo modelo con el que estudiar el cambio climático y sus consecuencias es muy importante.

Son pocos los estudios que se han desarrollado para determinar el efecto del incremento en la temperatura del aire y en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico en la germinación y calidad de plántulas, se han hecho varios estudios con estas variables por separado, pero muy pocos en conjunto. Y los que se han realizado son de otras especies y en otras zonas con diferentes características climatológicas. En la presente investigación se optó por utilizar plantas de importancia económica para la región (*Capsicum spp*) que estén adaptadas a las condiciones ambientales de la Península de Yucatán como modelo de estudio ante posibles escenarios futuros de cambio climático, con la finalidad de contrastar los resultados obtenidos con lo reportado en estudios realizados con plantas de otras regiones climáticas y poder realizar los pronósticos adecuados para la región, además de contribuir al entendimiento de las respuestas de una planta tropical cultivable. Lo cual nos permitiría extrapolar los resultados a un mayor número de especies y tener más claro los puntos de controversia en los que los estudios de plantas particulares divergen se planteó el presente estudio con el propósito de estudiar el efecto de la temperatura y concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> en la germinación y la calidad de plántulas, de dos especies del género *Capsicum* (*C. chinense* y *C. annuum*).

# I.

## Antecedentes

### 1.1. El clima y efecto invernadero

El tiempo es la determinación del comportamiento y evolución de los procesos atmosféricos en un momento y lugar determinados, mientras que el clima es el conjunto de las condiciones atmosféricas, el cual se caracteriza por los estados y evoluciones del tiempo en un lugar o región determinada o en el planeta entero, durante un período de tiempo relativamente largo. El clima se describe a según las variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, denominados elementos climáticos; sin embargo, se podría identificar también con las variables de otros de los componentes del sistema climático (Ballesteros *et al*, 2007).

La atmósfera terrestre es una delgada capa de gases que rodea a nuestro planeta. Esta delgada capa de gases que rodea al planeta, es muy importante dado que en ella residen los gases que son fundamentales para el desarrollo de la mayor parte de la vida en el planeta, además de que la atmósfera representa un medio importante en el que reside una buena parte de la vida de la Tierra. La composición química de la atmósfera incluye mayoritariamente a solo dos gases, Nitrógeno (N), en un 79% y Oxígeno (O<sub>2</sub>) en un 20%. El 1% restante esta formado por diversos gases entre los que los más abundantes son el Argón (Ar) en un 0.9% y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en aproximadamente un 0.03%, el cual está presente en proporciones bajas y es de crucial importancia en el proceso de calentamiento de la atmósfera (Caballero, 2007).

El efecto invernadero es el proceso por el cual la radiación térmica emitida por la atmósfera es absorbida por los gases presentes e irradiada en todas las direcciones. Estos gases de efecto invernadero (GEI) son “aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja”. Entre estos gases de efecto invernadero encontramos de manera natural en la atmosfera el vapor de agua (H<sub>2</sub>O),

dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y ozono (O<sub>3</sub>); mientras que los gases de efecto invernadero promovidos y que se incrementan en sus niveles por actividades antropogénicas, están el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), perfluorometano (CF<sub>4</sub>) y perfluoroetano (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>), hidrofluorocarbonos (HFC-23, HFCS-134a, HFC-152a) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Estos gases tienen la capacidad de retener el calor emitido por la superficie terrestre, manteniendo y regulando la temperatura en la Tierra (Dusenge *et al*, 2018). Este balance natural ha sido alterado por el progreso humano de los últimos siglos, por lo que la emisión continuada de estos gases provoca un mayor calentamiento de la superficie terrestre, ya que absorben mayor radiación de la que posteriormente es devuelta por la superficie terrestre. El efecto de estos gases en el cambio climático depende de tres factores principales: la cantidad o concentración de los mismos en la atmósfera, el tiempo que permanecen en ella y el nivel de impacto en la temperatura global (Cruz y Martínez, 2015).

## **1.2. Cambio climático**

Son los cambios que ha presentado el clima en el planeta tierra a lo largo de los años, los cuales alteran la composición de la atmosfera, y son provocados de manera natural y por actividad humana (Nicholls, 2019). El cambio climático global asociado al aumento potencial de la temperatura superficial del planeta, es uno de los problemas ambientales más severos que se enfrentan en el presente siglo. Este problema se acentúa por el rápido incremento actual en las emisiones de gases de efecto invernadero "GEI" y por las dificultades de reducir en forma sustantiva el incremento de GEI en el futuro próximo. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es uno de los GEI más importantes, su emisión a la atmósfera por el cambio en el uso del suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial con una fuerte contribución de las zonas tropicales.

Específicamente para México, este fenómeno es de suma importancia, ya que se encuentra entre los 20 países con mayores emisiones de estos gases; por otra parte, se encuentra entre las regiones más vulnerables a los impactos asociados al cambio climático debido a sus condiciones bioclimáticas y socioeconómicas (Ordoñez y Masera, 2001)

### **1.3. Agricultura y cambio climático**

En nuestro país, la actividad agrícola tiene gran importancia en el medio rural como fuente de ingresos y proveedor de alimentos, misma que depende de los recursos naturales disponibles (Bolaños *et al*, 2019). La amenaza del cambio climático global influye significativamente sobre la agricultura, ya que los factores climáticos indispensables para el crecimiento de los cultivos, como son la precipitación, la temperatura y el dióxido de carbono se verán severamente afectados e impactarán sobre la producción agrícola. A pesar de que los efectos del cambio climático en la producción de cultivos varían de una región a otra, se espera que tengan efectos de gran alcance principalmente en los países con zonas tropicales que, por su régimen de precipitación, se clasifican entre semiáridas y húmedas (Altieri y Nicholls, 2009).

Las principales consecuencias del cambio climático en la agricultura son las pérdidas económicas por el aumento de la frecuencia de eventos climáticos extremos en zonas de alta productividad agrícola, anomalías fenológicas (prolongación de períodos vegetativos en ciertas especies) que pueden incidir negativamente en la producción de cultivos o en la incidencia y aparición de plagas y enfermedades en zonas donde antes eran desconocidas. También las pérdidas en la biodiversidad a diferentes niveles: disminución de especies y empobrecimiento de los genotipos, o procesos de erosión genética que pueden conducir a largo plazo a una pérdida de la capacidad de adaptación de las especies (González *et al*, 2005).

#### **1.4. Aumento de CO<sub>2</sub> y temperatura**

El aumento de la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico y de la temperatura, además de las variaciones en los perfiles de precipitaciones atmosféricas, afectarán al desarrollo y a la distribución territorial de numerosas especies vegetales. Las plantas responderán a estas situaciones de estrés mediante los mecanismos de fotoprotección fisiológicos y moleculares, capaces de aclimatarse a los niveles de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> ambientales. La eficacia de la respuesta fotoprotectora dependerá del alcance de los factores de estrés (Arellano y De Las Rivas, 2006).

Estudios realizados de como las plantas se desarrollan en ambientes con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> sugieren que estas condiciones pueden beneficiar su crecimiento. Sin embargo, las interacciones con otros factores, como la temperatura y la disponibilidad de nutrientes, alteran el aumento de la fotosíntesis, constituyendo estas condiciones el nuevo foco de estudio. El estrés por calor causa cambios morfo-anatómicos, fisiológicos y bioquímicos en las plantas, que afectan su crecimiento y su desarrollo y pueden conducir a una drástica reducción del rendimiento económico de las plantas cultivadas. Las altas temperaturas pueden disminuir o inhibir totalmente la germinación, de semillas y afectar adversamente la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas, la estabilidad de las membranas, la regulación hormonal y, en general, el metabolismo de las plantas (Yepes y Buckeridge, 2011). También el incremento de la temperatura generará problemas de erosión genética y conducirá a la extinción de muchas especies vegetales; por otro lado la fotosíntesis neta, se incrementa progresivamente con el aumento del CO<sub>2</sub>, en particular, en especies C<sub>3</sub>, pero a altas temperaturas, se reduce por efecto del aumento en la fotorrespiración. De igual modo puede haber incrementos en la producción del cultivo hasta de un 36%, a gran escala dependiendo de la especie, cuando los niveles de CO<sub>2</sub> se duplican (Khaitov, 2019). La respuesta relativa de las



plantas C4 a las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> es pequeña comparada con las C3, dado el grado de saturación que se presenta en las C4; sin embargo, en un análisis a largo plazo, esto no siempre es verdadero (Orozco *et al*, 2012).

## **2. El género *Capsicum ssp***

Dicho género comprende plantas angiospermas, dicotiledóneas, herbáceas o arbustivas, de ciclo anual, sin embargo, pueden convertirse en perennes si las condiciones les son favorable. El chile (*Capsicum spp.*) pertenece a la familia Solanaceae, género con variedad genética amplia, el cual tuvo su centro de origen en Mesoamérica y su centro de diversidad y domesticación en México (Moreno *et al*, 2011). En el caso particular del chile (*Capsicum spp.*), existen cinco especies cultivadas (*C. annuum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens* y *C. baccatum*) y alrededor de 25 silvestres y semicultivadas. Por la extensión de su cultivo y el valor económico que representa su producción, *C. annuum* es la especie cultivada más importante en todo el mundo, y es en México donde se encuentra la mayor diversidad (Rincón *et al*, 2010). La domesticación de *C. annuum* probablemente ocurrió en el noreste o en centro-este de México (Dewitt y Bosland, 1994). En el germoplasma de la Península de Yucatán se ha encontrado el mayor número de halotipos y de haplotipos únicos, lo que sugiere que dicha región es un importante centro de domesticación y diversificación del chile (Pérez, 2015). Vavilov (1993), considera a México y Centroamérica como el centro de origen de éste género, mientras que otros autores refieren a Centro y Sudamérica como su cuna (Waizel-Bucay, 2011).

### **2.1. Características botánicas del chile habanero**

El chile habanero es la principal especie hortícola explotada comercialmente en la península de Yucatán, ya que además de ser un símbolo de escozor posee características de interés comercial debido a sus altos contenidos de capsaicinoides acumulados en el fruto (Borges, 2010). Se considera que *C. chinense* es una de las especies con más variedades domesticadas en América. El área donde se observa una mayor diversidad en esta especie de chile es la cuenca Amazónica. Dewitt y Bosland (1994) señalan que *C. chinense* tiene su centro de origen en el Amazonas. Éste se dispersó en tiempos precolombinos a diferentes islas de la Cuenca del Caribe y de éstas, a su vez a la Península de Yucatán, nombrándolo chile habanero en esta región. El estudio genético molecular de germoplasma de *C. chinense* de Sudamérica muestra su mayor diversidad genética en comparación con el de germoplasma de Centroamérica y el Caribe, lo que concuerda con el origen putativo de la especie (Pérez, 2015).

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es una especie cuyas propiedades de pungencia dependen de factores ambientales, tales como el tipo de suelo y las propiedades osmóticas y nutricionales del mismo (Das, 2016). Se ha reportado que las condiciones adversas promueven la síntesis de los capsinoides, metabolitos responsables de la pungencia de los chiles (Khaitov, 2019). La temperatura media anual adecuada para el cultivo de chile habanero es de 24 a 28 °C, ya que temperaturas menores de 15 °C y mayores de 35 °C limitan el desarrollo de la planta, así como su floración (Medel, 2011).

Es una planta de ciclo anual, que puede alcanzar hasta 12 meses de vida, dependiendo del manejo agronómico. Su altura es variable: puede oscilar de 75 a 120 centímetros en condiciones de invernadero. Su tallo es grueso, erecto y robusto; con un crecimiento semideterminado. Las hojas son simples, lisas, alternas y de forma lanceolada, de tamaño y color variable, el cual puede presentar diferentes tonos de verde, dependiendo de la variedad.

Tiene una raíz principal de tipo pivotante, que profundiza de 0.40 a 1.20 metros, con un sistema radicular bien desarrollado, cuyo tamaño depende de la edad de la planta, las características del suelo y las prácticas de manejo que se le proporcionen. La floración inicia cuando la planta empieza a ramificarse. Las flores se presentan solitarias o en grupos de dos o más en cada una de las axilas, y son blancas. Su tamaño varía entre 1.5 y 2.5 centímetros de diámetro de la corola. El fruto es una baya poco carnosa y hueca; tiene entre tres y cuatro lóbulos, las semillas se alojan en las placentas y son lisas y pequeñas, con testa de color café claro a oscuro, y su periodo de germinación varía entre ocho y quince días (Ruiz, 2011).

## **2.2. Características botánicas del chile dulce**

El chile 'Dulce' se distingue porque no contiene capsaicina, y su fruto presenta formas que van desde redondas a ligeramente alargadas y arriñonadas (Pozo *et al.*, 1991). *Capsicum annuum* var. *annuum* se considera la forma domesticada y más importante en México y el mundo; esta especie registra la mayor variabilidad morfológica, y agrupa la gran mayoría de los tipos cultivados de México. El centro de diversidad para *C. annuum* var. *annuum* incluye México, Centroamérica, y los centros de distribución secundaria se reportan en América del sur y otras partes del mundo. Actualmente, se desconocen las características morfológicas y productivas de las poblaciones de chile dulce que conservan los agricultores yucatecos bajo sus sistemas tradicionales de cultivo (Ix-Nahuat *et al.*, 2013). Los chiles dulces son conservados y aprovechados principalmente por agricultores tradicionales, donde existe muy poca disponibilidad de semilla y también se cuenta con poca información relativa a ellos (Sarabia y Roo, 2015). El uso de variedades mejoradas con cierta semejanza a los chiles locales, es una de las causas de la pérdida de variabilidad del chile dulce. Una de las estrategias para conservar y sentar las bases para un aprovechamiento sostenible de este

germoplasma se basa en la caracterización y evaluación agronómica de éste (IBPGR, 1983). Lo cual consiste en describir sus características agronómicas morfológicas, en diversos ambientes, con el fin de identificar materiales de amplia adaptación y con genes útiles para el mejoramiento de los cultivos (Jaramillo & Baena 2000). En Yucatán se siembran anualmente más de 200 ha de este tipo de chile criollo, tanto en condiciones de riego como de temporal. Además, es común encontrarlo sembrado en macetas caseras, para autoconsumo (May *et al*, 2010).

### **3. Germinación**

La semilla es la unidad de reproducción y dispersión de las plantas superiores, la cual cumple con la función de multiplicar, perpetuar y dispersar la especie a la que pertenece. Su morfología especial, las potencialidades de las células de su embrión, y las reservas nutritivas de su endospermo son las principales determinantes de su capacidad para germinar (Cordoba, 1976). Para que esto suceda es necesario que el embrión se transforme en una plántula, la cual será capaz de valerse por sí misma, y así finalmente convertirse en una planta adulta. Todo ello comprende una serie de procesos metabólicos y morfogenéticos conocidos como germinación. En éste proceso una semilla en dormición o latencia recupera su actividad y origina una nueva planta (Berenguel *et al*, 2011). La germinación consta de tres fases, comenzando con la fase de hidratación (imbibición), en la cual se produce una intensa absorción de agua por parte de diferentes tejidos que conforman la semilla; ésta fase viene acompañada de un aumento proporcional en la actividad respiratoria. Le sigue la fase de germinación, la cual representa el verdadero proceso de germinación, ya que en esta fase se producen las transformaciones metabólicas necesarias para el correcto desarrollo de la plántula, en esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a

detenerse. La última fase de la germinación es la de crecimiento y se asocia con la emergencia de la radícula, se caracteriza por que la absorción de agua y actividad respiratoria vuelven aumentar (Nicholls, 2008).

La plántula es la formación de una pequeña y rudimentaria planta la cual ya poseerá su radícula y su primer brote, pero aún se tendrá que alimentar de las reservas nutritivas de la semilla. Esta rápidamente formara las primeras hojas, que podrán realizar la función clorofílica y desarrollará pelos absorbentes en la raíz, a través de los cuales absorberá del suelo agua con sales minerales disueltas. Con ello la planta se establecerá, por lo que será capaz de vivir totalmente independiente de la semilla. A partir de ahí la plántula pasará a ser una planta joven, terminándose totalmente el proceso de germinación (De la Cuadra, 1993).

### **3.1. Factores ambientales y germinación**

En ambientes estresantes, la supervivencia de las plantas en general está fuertemente afectada por los eventos asociados a las primeras fases de su ciclo biológico (germinación y emergencia). Los eventos de germinación y emergencia son controlados por factores propios de la semilla (intrínsecos) y por los factores ambientales (extrínsecos) (Echeverría *et al*, 1997). Estos factores regulan eventos importantes como la salida del estado de dormancia, la tasa de germinación y la mortalidad durante el establecimiento de plántulas. Factores ambientales, como la temperatura, la intensidad de luz, la disponibilidad de agua, gases, el pH y la salinidad del suelo son conocidos por tener un rol clave en los eventos de germinación y emergencia (Valqui, 2017).

#### **3.1.1. Temperatura en la germinación**

La temperatura es un factor decisivo en el proceso de la germinación, ya que influye principalmente en la actividad enzimática necesaria para regular la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación y en la degradación de sustancias de reserva. La actividad de cada enzima tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, Además, dentro del rango temperatura mínima-máxima, existe un punto en el que se obtiene máxima germinación y donde ésta ocurre más rápidamente; este punto corresponde a la temperatura óptima, esta varía mucho de una especie a otra. Los efectos de la temperatura sobre la germinación tienen características muy especiales cuando se trata de semillas con dormancia o latentes. La germinación de algunas semillas mejora notablemente bajo condiciones de baja temperatura (método de romper latencia denominado estratificación); mientras que otras semillas responden favorablemente a tratamientos con temperaturas altas (Rivas, 2000).

Las altas temperaturas pueden disminuir o inhibir totalmente la germinación de las semillas, dependiendo de las especies y de la intensidad del estrés; en etapas de desarrollo posteriores, las altas temperaturas pueden afectar adversamente la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas y la estabilidad de las membranas, así como los niveles de hormonas y de metabolitos secundarios (Orozco *et al*, 2012).

### **3.1.2. CO<sub>2</sub> en la germinación**

La germinación es un proceso que requiere un consumo considerable de energía. En las células vivas los principales procesos generadores de energía son la respiración y la fermentación. Ambos procesos implican un intercambio de gases CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> entre las células y el ambiente, la germinación estará, por lo tanto, afectada por la composición de la atmósfera circundante. La mayoría de las semillas germinan sin problemas en atmósferas con 21% de O<sub>2</sub>

y 0,03% de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, existen algunas semillas que aumentan su porcentaje de germinación al disminuir el contenido de O<sub>2</sub> por debajo del 20%. Sin embargo, no se debe olvidar que entre el oxígeno y el agua se establece un proceso de competencia, relación competitiva la cual se origina de la baja solubilidad del oxígeno en agua y de las diferencias tan notables que existen entre los coeficientes de difusión del oxígeno en el agua y en el aire (Courtis, 2013).

El CO<sub>2</sub> elevado puede afectar la germinación de las semillas, la calidad de las semillas y la viabilidad de las plántulas. Sin embargo, los estudios de los efectos del enriquecimiento de CO<sub>2</sub> en la germinación han sido inconsistentes, y algunos muestran efectos significativos del enriquecimiento de CO<sub>2</sub> (Cortes, 2004) y otros no muestran ningún efecto. Relativamente pocos estudios han medido los efectos del CO<sub>2</sub> elevado en la supervivencia de las plántulas. Los aumentos en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> pueden tener efectos directos en el balance de carbono de las plántulas y pueden afectar a la supervivencia temprana de las plántulas, porque la respiración a menudo supera la fotosíntesis durante las primeras etapas de crecimiento (Ward y Strain, 1999). Polley (1996) mostraron en su estudio que en condiciones de sequía-estrés y baja densidad vegetal, la supervivencia de *Prosopis glandulosa*. Las plántulas se incrementaron su supervivencia de 0 a 40% como resultado de los aumentos de la concentración de CO<sub>2</sub> por encima de la concentración ambiental actual, lo que sugiere que el aumento del CO<sub>2</sub> redujo los efectos negativos del estrés por sequía en la supervivencia de las plántulas. Sin embargo, cuando *Abutilon theophrasti* se cultivaba a alta densidad, el CO<sub>2</sub> elevado redujo la supervivencia de las plántulas, dado a que aumentó la intensidad de la competencia entre ella (Bazzaz *et al*, 1992). Por lo tanto, las diferencias en los microhábitats pueden alterar los efectos del alto CO<sub>2</sub> en la supervivencia de las plántulas.

## **II. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de la temperatura y concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> en la germinación y la calidad de plántulas, de dos especies del género *Capsicum* (*C. chinense* y *C. annuum*).

### **2.2. Objetivos específicos**

Evaluar el efecto de la temperatura y concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> en el porcentaje de germinación y la mortalidad de dos especies del género *Capsicum* (*C. chinense* y *C. annuum*).

Evaluar el efecto de la temperatura y concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> en la biomasa (peso seco) y parámetros morfológicos (área foliar, altura, diámetro y volumen radical) de las plántulas del género *Capsicum* (*C. chinense* y *C. annuum*).

## **III. Hipótesis**

El incremento triplicado en las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico promoverá la tasa de germinación (VG), así como también favorecerá el crecimiento y la calidad de las plántulas, influyendo sobretodo en el desarrollo de su sistema radical.

El aumento de 30 a 40 °C en la temperatura máxima afectará en la velocidad de germinación (VG) y provocará la muerte de plántulas.

Mientras que al tener en conjunto las variables de temperatura máxima 40 °C y concentraciones atmosféricas elevadas de CO<sub>2</sub> a 1200ppm; el enriquecimiento de CO<sub>2</sub> contrarrestará los efectos de las altas temperaturas, favoreciendo en la supervivencia y la calidad de las plántulas.



#### **IV. Fundamento teórico.**

Los estudios que se han desarrollado sobre las respuestas de las plantas ante altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, sugieren que estas condiciones pueden beneficiar su crecimiento. Sin embargo, las interacciones con otros factores, como la temperatura y la disponibilidad de nutrientes, alteran el aumento de la fotosíntesis, constituyendo estas condiciones el nuevo foco de estudio (Yepes y Buckeridge, 2011). Por otro lado los que se han realizado sobre el desarrollo de plantas en ambiente con temperatura alta, sugieren que las altas temperaturas pueden disminuir, alentar o inhibir totalmente la germinación de las semillas, dependiendo de las especies y de la intensidad del estrés; en etapas de desarrollo posteriores, las altas temperaturas pueden afectar adversamente la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas y la estabilidad de las membranas, así como los niveles de hormonas y de metabolitos secundarios (Orozco *et al*, 2012). Mientras que los estudios de enriquecimiento de CO<sub>2</sub>, en las primeras etapas de crecimiento, han mostrado que el CO<sub>2</sub> elevado puede afectar la germinación de las semillas, la calidad de las semillas y la viabilidad de las plántulas. Sin embargo los estudios de los efectos del enriquecimiento de CO<sub>2</sub> en la germinación han sido inconsistentes, y algunos muestran efectos significativos del enriquecimiento de CO<sub>2</sub> (Cortes, 2004) y otros no muestran ningún efecto. Los aumentos en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> pueden tener efectos directos en el balance de carbono de las plántulas y pueden afectar a la supervivencia temprana de las plántulas, porque la respiración a menudo supera la fotosíntesis durante las primeras etapas de crecimiento (Ward y Strain, 1999). Por otro lado Cortes (2004) menciona que puede producir un aumento de biomasa en las plántulas debido al aumento en su sistema radical, el cual es ocasionado por el enriquecimiento de CO<sub>2</sub>.

Sin embargo, relativamente pocos estudios han medido los efectos del CO<sub>2</sub> elevado en la germinación y calidad de las plántulas, por lo que se deben de hacer más estudios al respecto, sobretodo tomando en cuenta la interacción con otros factores climáticos como la temperatura.

## **V. Desarrollo del proyecto.**

### **5.1. Sitio de estudio**

El estudio se llevó a cabo durante el periodo comprendido de Agosto-Diciembre 2020, en el área experimental que se localiza, en el Instituto Tecnológico de México/Instituto Tecnológico de Conkal, 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'y89°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.

### **5.2. Establecimiento del experimento**

El experimento se llevó a cabo en cuatro cámaras de crecimiento con las siguientes dimensiones (3.5 x 2.5 x 2.2 m), construidas con cristal transparente, ubicadas bajo un domo. Cada cámara fue equipada con un aire acondicionado, el cual contó con un sensor para regular la temperatura de los tratamientos, así como también con un sistema para liberar CO<sub>2</sub> constantemente, sistema el cual fue regulado por medio de una válvula solenoide controlada con un sensor para CO<sub>2</sub> Telair.

### **5.3. Tratamientos**

Los tratamientos fueron los siguientes:

- Cámara 1: 30 °C y 400 ppm CO<sub>2</sub>.
- Cámara 2: 40 °C y 1200 ppm CO<sub>2</sub>.
- Cámara 3: 30 °C y 1200 ppm CO<sub>2</sub>.
- Cámara 4: 40 °C y 400 ppm CO<sub>2</sub>.

#### **5.4. Especies evaluadas y siembra**

Se evaluaron dos especies del género *Capsicum*: chile habanero (*C. chinense*) y chile dulce (*C. annuum*).

La siembra se realizó el día 14 de agosto del 2020, en cuatro charolas de poliestireno de 200 cavidades c/u, en la que se sembraron 100 semillas de cada especie en cada charola (*C. chinense* y *C. annuum*), contando con 5 repeticiones por tratamiento y 20 semillas por repetición. Se utilizó como sustrato Peat Moss.

#### **5.5. Manejo agronómico**

Las charolas se regaron todos los días de acuerdo a las necesidades hídricas de las plántulas. Una vez que las plántulas tuvieron su primer par de hojas verdaderas se inició la fertilización con solución Steiner al 50% una vez por semana.

#### **5.6. Diseño experimental**

Se utilizó un diseño completamente al azar, donde se emplearon 20 semillas por repetición de cada especie (100 por tratamiento). Con arreglo factorial de 2 x 2 x 2, dos condiciones de temperatura, dos concentraciones de CO<sub>2</sub> y dos genotipos.

#### **5.7. Variables a evaluar**

##### **5.5.1. Geminación y mortalidad de las plántulas**

A partir de los tres días después de la siembra (dds), se llevó un conteo diario del porcentaje (%G) y la velocidad (TG) de germinación por repetición. Así como también una vez que emergieron las plántulas, se empezó a llevar un conteo de su mortalidad.

A los 35 dds se evaluaron los siguientes parámetros morfológicos en las plántulas:

### **5.5.2. Altura y diámetro del tallo**

La altura se midió con una cinta métrica, desde la base del cuello de la raíz hasta el ápice. El diámetro de tallos de las plantas se midió en las mismas fechas que la variable altura, con un vernier digital.

### **5.5.3. Área foliar**

La determinación del área foliar se realizó con el medidor de área (LI-3100, LICOR, Inc. Lincoln, Nebraska, E.U).

### **5.5.4. Volumen radical**

Se determinó por el método de desplazamiento de volumen de agua en una probeta graduada.

### **5.5.5. Peso seco**

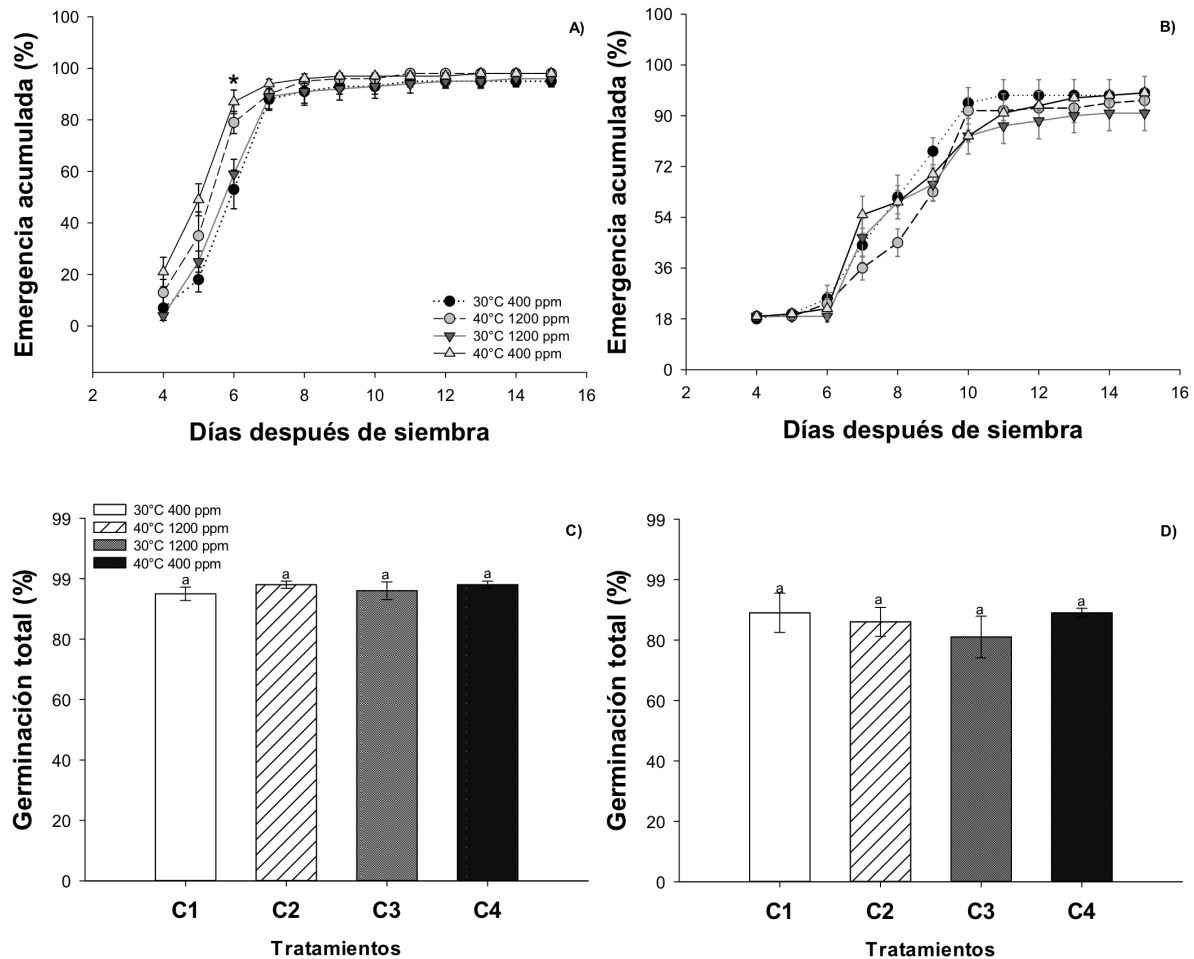
El peso seco por planta se determinó después de secar las muestras en una estufa de aire caliente a 70 °C durante 72 horas, posteriormente fueron pesadas en una balanza analítica. Las plántulas se separaron en órganos, hojas, tallos y raíz **5.8. Procesamiento de datos**

Una vez teniendo los datos registrados, se procedió a hacer las bases de datos con las cuales, posteriormente se realizaron los análisis estadísticos necesarios para obtener los resultados, se hicieron ajustes de la normalidad, análisis de varianza (ANOVA) factorial y en caso de haber diferencias significativas se realizaron comparaciones de medias.

## **VI. Resultados**

Se utilizó un diseño completamente al azar, donde se utilizó de cada especie 20 semillas por repetición (100 por tratamiento). Con arreglo factorial de 2 x 2 x 2, dos condiciones de temperatura, dos concentraciones de CO<sub>2</sub> y dos genotipos. (C1: 30°C y 400 ppm, C2: 40°C y 1200 ppm, C3: 30°C y 1200 ppm, C4: 40°C y 400 ppm.). A los datos se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) factorial de dos vías (Statistica Six, SigmaPlot 11.0). Los datos en porcentajes se transformaron mediante la raíz cuadrada del arco seno.

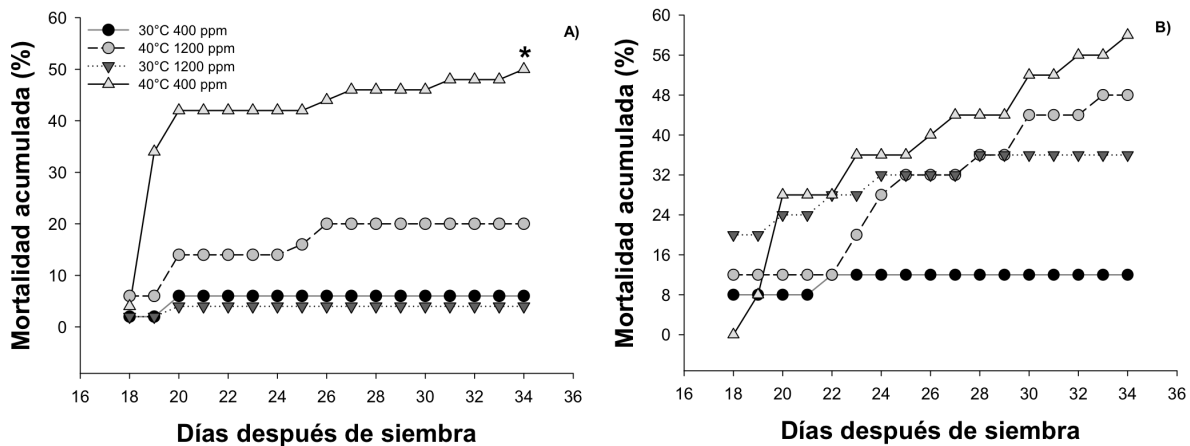
## Germinación y mortalidad de plántulas



**Figura 1.** Emergencia acumulada de chile dulce (*C. annuum*) (A) y chile habanero (*C. chinense*) (B). Los valores son medias; \*: diferencias estadísticas significativas (ANOVA,  $\leq 0.05$ );  $n = 20$ . Germinación total de chile dulce (*C. annuum*) (C) y chile habanero (*C. chinense*) (D). Los valores son medias  $\pm$  error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan,  $\alpha = 0.05$ );  $n = 15$ .

Las temperaturas altas favorecieron en la velocidad de germinación (VG) de la variedad *C. annuum* ya que en las cámaras dos (40°C 1200 ppm) y cuatro (40°C 400 ppm) tuvieron una mayor VG que la cámara uno (30°C 400 ppm) y la cámara tres (30°C 1200 ppm), mostrando una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) el día seis después de la siembra (Figura 1A). Mientras que la variedad *C. chinense* presentó una mayor latencia y no mostró una diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos (Figura 1B). A diferencia de la velocidad de germinación (VG), la germinación total no se vio significativamente afectada por las altas temperaturas, así como también resultados muestran

que el CO<sub>2</sub> no afectó significativamente a la germinación total (GT) (Figura 1B Y 1C), lo cual concuerda con Han (2009) ya que menciona que las altas temperaturas y elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> no comprometen la germinación de semillas, siempre que se disponga de suficiente agua. Las temperaturas altas pueden incluso acelerar el desarrollo germinativo y mejorar la capacidad competitiva de las plántulas de acuerdo con Perumal (2014). La respuesta de los genotipos al aumento de la temperatura puede estar relacionada con lo señalado por Carvalho y Nakagawa (2000), quienes indican que para cierto rango de temperaturas elevadas, la velocidad de absorción de agua y de las reacciones químicas es mayor y las semillas germinan más rápidamente. De igual manera concuerda con lo expresado por Grey et al. (2011), quienes indican que, para la mayoría de los casos, la velocidad de germinación incrementa al aumentar la temperatura.



**Figura 2. Mortalidad acumulada de chile dulce (*C. annuum*) (A) y chile habanero (*C. chinense*) (B). Los valores son medias; \*: diferencias estadísticas significativas (ANOVA,  $\leq 0.05$ ); n = 20.**

A partir del día dieciocho empezaron a morir las plántulas, se observó una diferencia significativa en la mortalidad de las plántulas el día 20 dds ( $P \leq 0.05$ ) en la variedad *C. annuum*, en el tratamiento de la cámara cuatro (40°C 400 ppm) respecto a los demás tratamientos, mientras que en la variedad *C. chinense* se comenzó a mostrar una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) el día veintitrés, entre el tratamiento de la cámara cuatro (40°C 400 ppm) y el tratamiento de la cámara uno (30°C 400 ppm). El tratamiento que presentó mayor incremento en la mortalidad al día 35 fue el de la cámara cuatro (40°C 400 ppm) en ambas variedades, *C.*

*annum* 53% y *C. chinense* 58% , siguiendo la cámara dos (40°C 1200 ppm) *C. annum* 20% y *C. chinense* 45% la cual se encontraba a la misma temperatura no mostró la misma mortalidad debido a que tenía CO<sub>2</sub> enriquecido, mientras que el que tuvo una disminución en la mortalidad fue el tratamiento de la cámara uno (30°C 400 ppm) con un 3% en ambas variedades (Figura 2B). Las altas temperaturas promovieron la mortalidad de plántulas sobre todo en la variedad *C. annum*, ya que la cámara cuatro (40°C 400 ppm) mostró diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ), mientras que la cámara tres (40°C 1200 ppm) mostró una menor diferencia, por lo que el aumento de CO<sub>2</sub> contrarresta hasta cierto punto el efecto de las temperaturas (Figura 2A). Lo que concuerda con Chidumayo (2008), ya que menciona que el aumento en la temperatura promueve la mortalidad en las plántulas. Por otra parte; Ziska (1993), menciona que el aumento en las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> ayuda en supervivencia de plántulas, lo cual concuerda con los resultados obtenidos ya que hubo una disminución en la mortalidad de plántulas en las cámaras con CO<sub>2</sub> enriquecido. Esto se debe a que el CO<sub>2</sub> elevado actúa como un factor atenuante, ya que puede reducir la conductancia estomática y por lo tanto reducir la pérdida de agua que es ocasionada por las altas temperaturas, para que así las plántulas mantengan un estado hídrico más favorable (Medlyn et al. 2001; Wullschlegel et al. 2002). Así como también en algunos estudios mencionan que el CO<sub>2</sub> elevado puede moderar parcialmente el impacto del estrés por sequía al aumentar la fotosíntesis (Lewis et al. 2013) y las reservas de carbohidratos (Niinemets 2010; Tissue & Lewis 2010; Ayub et al. 2011). Proporcionando así una mayor disponibilidad de carbono e incrementando su asimilación, lo cual conducirá a una mayor acumulación de carbohidratos para el crecimiento y la actividad metabólica de las plántulas, y mejorará el estado hídrico de la plántula al reducir la pérdida de agua a nivel de la hoja y de toda la planta (Duursma et al. 2011; Zeppel et al. 2012). Por otra parte la temperatura elevada exacerba el estrés por sequía y acelera la mortalidad de las plántulas, ya que se reduce la asimilación de carbono y disminuye el almacenamiento de carbohidratos debido a un mayor metabolismo de carbono, así como también se ocasiona un aumento en la pérdida de agua debido a un mayor déficit de presión de vapor (VPD) (Breshears et al. 2005; Adams et al. 2009; Allen et al. 2010; Williams et al. 2013; Zhao et al. 2013).

## **Calidad de plántulas**



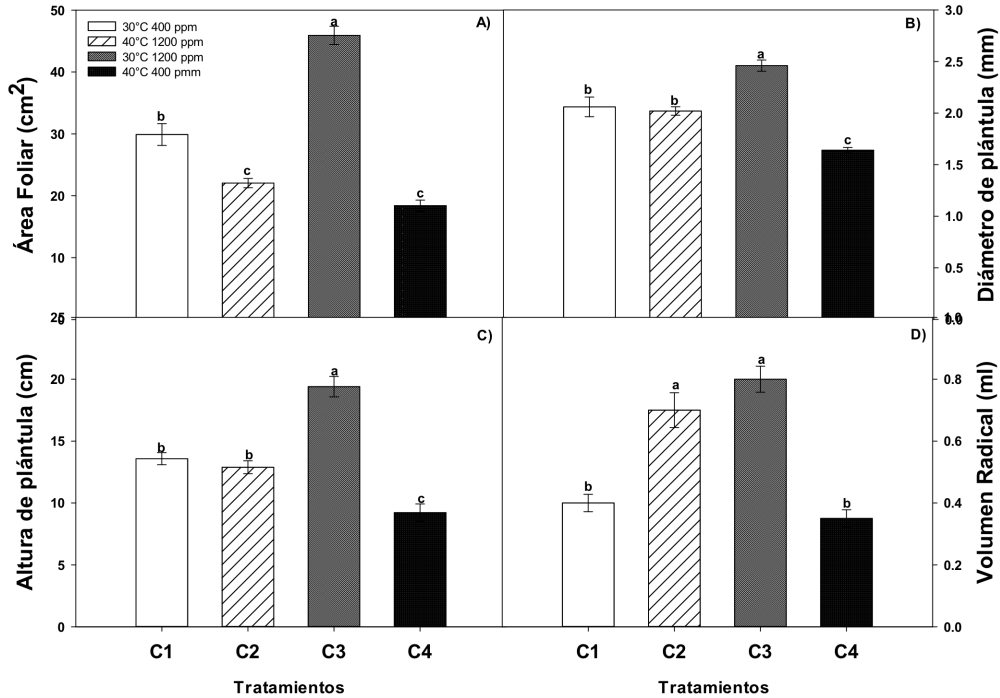
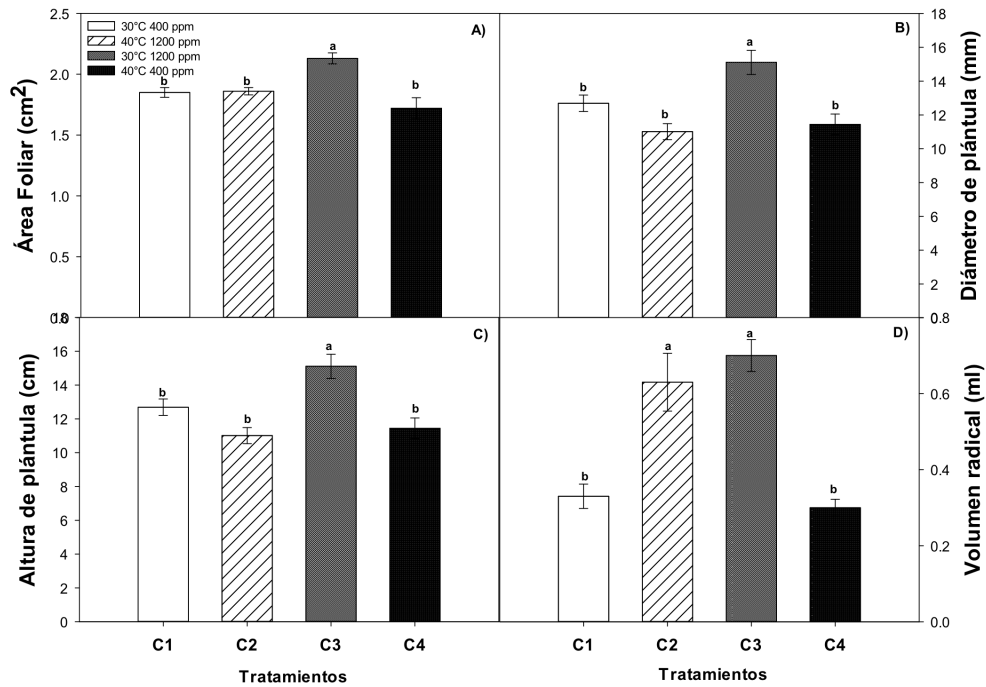


Figura 3. Crecimiento en plántulas de chile dulce (*C. annuum*). Área foliar (A), diámetro de plántulas (B), altura de plántula (C) y volumen radical (D). Los valores son medias  $\pm$  error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ );  $n =$



20.

Figura 4. Crecimiento en plántulas de chile habanero (*C. chinense*). Área foliar (A), diámetro de plántulas (B), altura de plántula (C) y volumen radical (D). Los valores son medias  $\pm$  error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ );  $n = 20$ .

El conjunto de una temperatura óptima y un nivel de CO<sub>2</sub> elevado favoreció en el desarrollo y crecimiento de las plántulas en ambas variedades de *Capsicum.spp*, ya que la cámara tres (C°30, 1200 ppm) presentó una diferencia estadísticamente significativa favorable ( $P \leq 0.05$ ) en los diferentes parámetros evaluados, respecto a los demás tratamientos.

Las plántulas en ambas variedades de *Capsicum. spp*, tuvieron una mayor área foliar en la cámara tres ( $P \leq 0.05$ ) (C°30, 1200 ppm) respecto a los demás tratamientos. En *C. annum* el área foliar se vio afectada por las altas temperaturas, ya que la cámara uno (30°C 400ppm) a pesar de mostrar resultados similares a la cámara tres, mostró una diferencia significativa en cuanto al área foliar ( $P \leq 0.05$ ) en comparación a las cámaras con temperatura elevada, dos (C°40, 1200 ppm) y cuatro (C°40, 400 ppm) sin importar el nivel de CO<sub>2</sub> que estas tenían (Figura 3A); Rahman (2004) menciona que el alto nivel de estrés por temperatura podría alterar la división celular y el alargamiento celular. Mientras que en *C. chinense* el enriquecimiento con CO<sub>2</sub>, contrarresto hasta cierto punto el efecto de las altas temperaturas, ya que las cámaras uno (30°C 400ppm) , dos (C°40, 1200 ppm) y cuatro (C°40, 400 ppm) no presentaron diferencias significativas entre sí (Figura 4A). Lo que coincide con Wullschleger (2002), quien menciona que en un ambiente enriquecido con CO<sub>2</sub>, sin tomar en cuenta el déficit hídrico, podría compensarse con cambios en arquitectura de la planta, los cuales incluye mayor área foliar y reducción profundidad de enraizamiento. Así como también con Woodward (2002), quien menciona que a mayores niveles de CO<sub>2</sub> la planta puede responder con una mayor área foliar, lo cual disminuirá el uso de agua a nivel hoja.

De igual manera en cuanto al diámetro y altura las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> favorecieron al crecimiento de las plántulas, ya que la cámara uno (C°30, 1200 ppm) presentó una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) respecto a los demás tratamientos; en *C. annum* se contrarresto el efecto de las altas temperaturas, ya que la cámara dos (C°40, 1200 ppm) igualo

a la cámara uno (C°30, 400 ppm) y presento una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) respecto a la cámara cuatro (40°C, 400 ppm) (Figura 3B Y 3C); mientras que en *C. chinense* las cámaras uno, dos y cuatro no presentaron diferencias estadísticas entre sí (Figura 4B Y 4C). Según Medlyn et al (2001) las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> conducen a una reducción de conductancia estomática (gs) y, por lo tanto de esta manera se reduce la pérdida de agua y se mantiene un estado hídrico más favorable para la planta. Lewis (2013) menciona que también el enriquecimiento de CO<sub>2</sub> en las plantas de crecimiento rápido, aumenta la fotosíntesis y las reservas de carbohidratos proporcionando así una mayor disponibilidad de carbono para el crecimiento y actividad metabólica.

En el volumen radical, fue donde afecto menos el efecto de las altas temperaturas, así como también donde fue mayor el beneficio por el enriquecimiento de CO<sub>2</sub>, ya que tanto en *C. annuum* como en *C. chinense* las cámaras dos (40°C, 1200 ppm) y tres (30°C, 1200 ppm) las cuales contaban con una atmosfera enriquecida, presentaron una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) respecto a las cámara uno (30°C, 400 ppm) y cuatro (40°C, 400 ppm) (Figura 3C Y 4C). Con relación Taiz y Zeiger (2021), mencionan que las altas temperaturas dan como resultado menor crecimiento, productividad e índice de cosecha, esto debido parcialmente porque los asimilados destinados al crecimiento y el rendimiento tienen que ser utilizados en otras actividades críticas para sobrevivir al estrés, como la respiración de mantenimiento, el ajuste osmótico y el crecimiento de las raíces. Esto se explica dado a que la tolerancia es relativamente alta ante la translocación de asimilados al estrés hídrico, en comparación con la susceptibilidad del crecimiento de las hojas y la fotosíntesis, esto permite a las plantas ajustar el transporte de asimilados hacia los sumideros que se mantienen funcionando por más tiempo luego de la imposición del estrés, como es el caso de las raíces. Y todo esto se debe a la

plasticidad del sistema radical de las plantas ante diferentes estreses (Larkindale et al., 2005; Gruber et al., 2013).

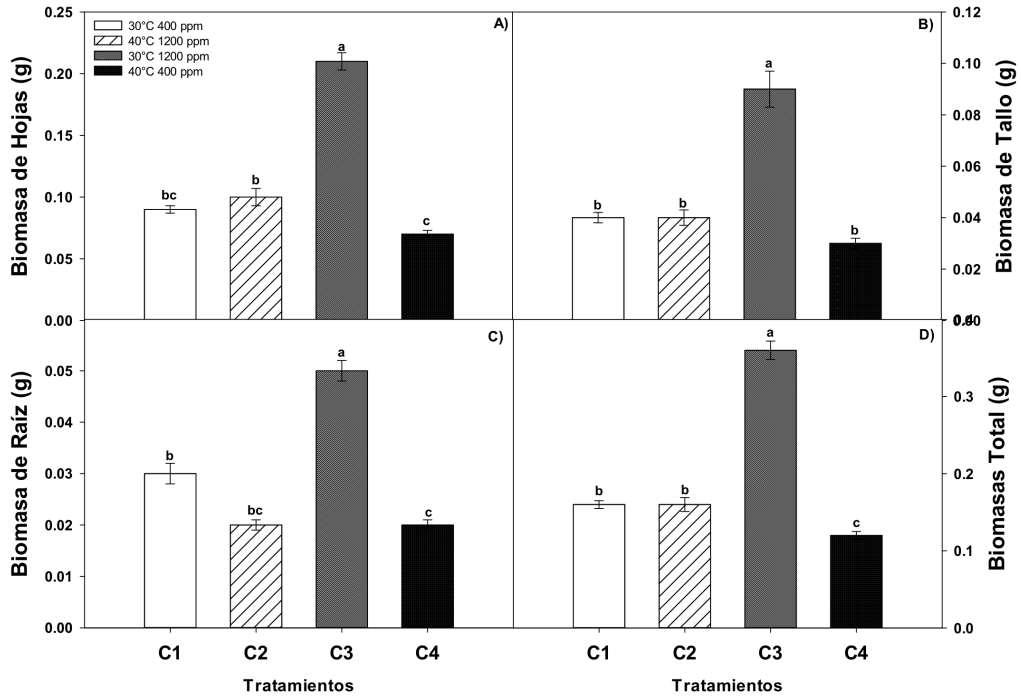
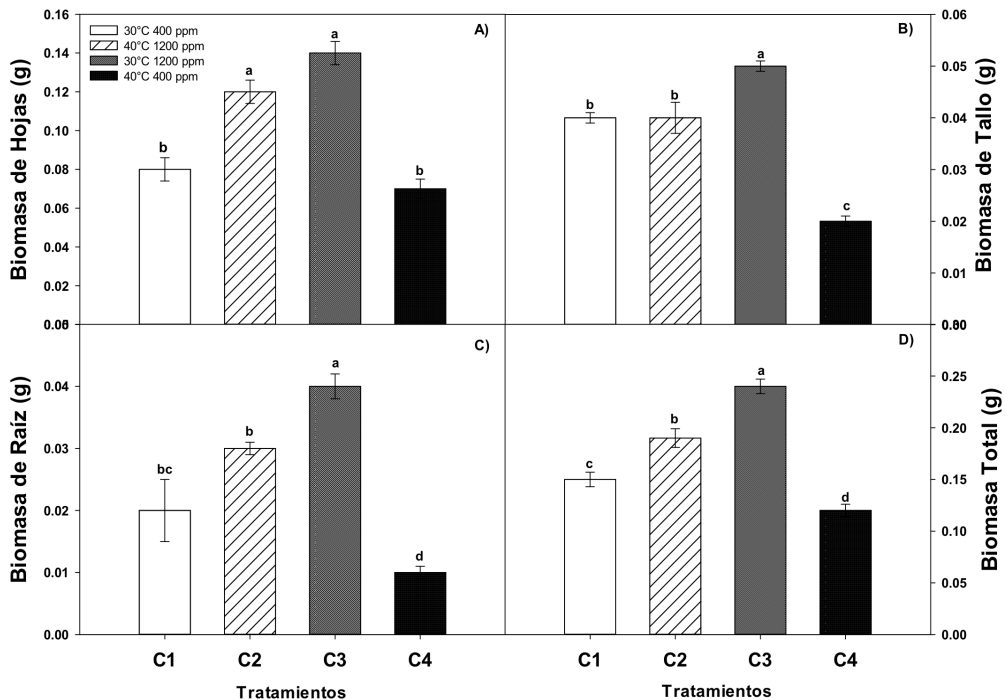


Figura 5. Peso seco en plántulas de chile dulce (*C. annuum*). Biomasa de hojas (A), biomasa de tallo (B), biomasa de raíz (C) y biomasa total (D). Los valores son medias  $\pm$  error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ); n = 2



**Figura 6. Peso seco en plántulas de chile habanero (*C. chinense*). Biomasa de hojas (A), biomasa de tallo (B), biomasa de raíz (C) y biomasa total (D). Los valores son medias  $\pm$  error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ );  $n = 20$ .**

El conjunto de una temperatura óptima y un nivel de CO<sub>2</sub> elevado favoreció a una mayor biomasa tanto en las plántulas de *C. chinense* como en las de *C. annum*, ya que la cámara tres (C°30, 1200 ppm) presentó una diferencia estadísticamente significativa favorable ( $P \leq 0.05$ ) (Figura 5 y 6) respecto a los demás tratamientos; lo cual coincide y está íntimamente relacionado con los resultados obtenidos en los demás parámetros de crecimiento (Figura 3 y 4).

Las plántulas en ambas variedades de *Capsicum. spp*, tuvieron una mayor biomasa de hojas en la cámara tres (C°30, 1200 ppm) ( $P \leq 0.05$ ) respecto a los demás tratamientos (Figura 5 y 6). La biomasa de hoja se vio favorecida por el enriquecimiento de CO<sub>2</sub>, ya que en *C. annum* la cámara dos (40°C, 1200 ppm) presentó una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) respecto a la cámara cuatro (40°C, 400 ppm) (Figura 5A); mientras que en *C. chinense* la cámara dos logró igualar estadísticamente a la cámara tres (Figura 6A). De igual manera en cuanto a la biomasa de tallo y raíz las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> favorecieron al crecimiento de las plántulas, ya que la cámara uno (C°30, 1200 ppm) presentó una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) respecto a los demás tratamientos; en biomasa de tallo y raíz de *C. chinense* se contrarrestó hasta cierto punto el efecto de las altas temperaturas, ya que la cámara dos (C°40, 1200 ppm) igualó a la cámara uno (C°30, 400 ppm) y presentó una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) respecto a la cámara cuatro (40°C, 400 ppm) (Figura 6B); mientras que para la biomasa de tallo en *C. annum* las cámaras uno, dos y cuatro no presentaron diferencias estadísticas entre sí (Figura 5B); resultados coinciden con los obtenidos en diámetro, altura y raíz (Figura 3 y 4). todos estos cambios en la biomasa causados por los factores de cambio climático se deben a diversas condiciones, como que el aumento en las concentraciones de CO<sub>2</sub> produce un aumento en la tasa fotosintética y de la biomasa en los primeros días de exposición (Ken, 2001); por otro lado Dismukes (2001), menciona que después de cierto tiempo ante un ambiente de cambio climático la cantidad de rubisco y la actividad carboxilasa disminuyen sin importar la presencia del CO<sub>2</sub> elevado, mientras que la actividad oxigenasa aumenta cuando se produce, además, un incremento en la temperatura (tal incremento en la actividad oxigenasa se debe a que la solubilidad de CO<sub>2</sub> en agua disminuye a mayor rapidez que la de O<sub>2</sub>).

**Cuadro 1. Peso seco chile dulce (*C. annuum*)**

Tratamientos	Hoja (g)	Tallo (g)	Raíz (g)	Total (g)
30°C 400 ppm	0.08 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.04 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.02 ± 0.005 <sup>bc</sup>	0.15 ± 0.007 <sup>c</sup>
40°C 1200 ppm	0.12 ± 0.006 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.003 <sup>b</sup>	0.03 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.19 ± 0.009 <sup>b</sup>
30°C 1200 ppm	0.14 ± 0.006 <sup>a</sup>	0.05 ± 0.001 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.002 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.007 <sup>a</sup>
40°C 400 ppm	0.07 ± 0.005 <sup>b</sup>	0.02 ± 0.001 <sup>c</sup>	0.01 ± 0.001 <sup>c</sup>	0.12 ± 0.006 <sup>d</sup>

Los datos representan medias ± error estándar. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

**Cuadro 2. Peso seco chile habanero (*C. chinense*)**

Tratamientos	Hoja (g)	Tallo (g)	Raíz (g)	Total (g)
30°C 400 ppm	0.09 ± 0.003 <sup>bc</sup>	0.04 ± 0.002 <sup>b</sup>	0.03 ± 0.002 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.005 <sup>b</sup>
40°C 1200 ppm	0.10 ± 0.007 <sup>b</sup>	0.04 ± 0.003 <sup>b</sup>	0.02 ± 0.001 <sup>bc</sup>	0.16 ± 0.009 <sup>b</sup>
30°C 1200 ppm	0.21 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.09 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.05 ± 0.002 <sup>a</sup>	0.36 ± 0.012 <sup>a</sup>
40°C 400 ppm	0.07 ± 0.003 <sup>c</sup>	0.03 ± 0.002 <sup>b</sup>	0.02 ± 0.001 <sup>c</sup>	0.12 ± 0.005 <sup>c</sup>

Los datos son medias ± error estándar. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

## Conclusiones

Las temperaturas altas favorecieron la velocidad de germinación (VG) mayormente en la variedad *C. annuum*, mientras que la variedad *C. chinense* presentó una mayor latencia, igualmente los resultados muestran que el CO<sub>2</sub> no afectó significativamente a la germinación total. Mientras que las altas temperaturas promovieron la tasa de mortalidad de plántulas sobre todo en la variedad *C. annuum*, pero la concentración elevada de CO<sub>2</sub> contrarresto hasta cierto punto la mortalidad de plántulas por alta temperatura, ya que la cámara que presentó mayor mortalidad fue la cámara 4 (40°C 400 ppm) y luego la cámara 2 (40°C 1200 ppm). El crecimiento y desarrollo de plántulas, se vio significativamente favorecido por el enriquecimiento de CO<sub>2</sub> y en algunos casos incluso se contrarresto el efecto de las altas temperaturas. Sin embargo cabe destacar que en el experimento no se tomó en cuenta la

variable de déficit hídrico, la cual se debería de tomar en cuenta en futuras investigaciones para poder tener una proyección más real del cambio climático en un futuro próximo.

## **IX. Referencias bibliográficas**

- Adams, H. D., Guardiola-Claramonte, M., Barron-Gafford, G. A., Villegas, J. C., Breshears, D. D., Zou, C. B., & Huxman, T. E. (2009). Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. *Proceedings of the national academy of sciences*, *106*(17), 7063-7066.
- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest ecology and management*, *259*(4), 660-684.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2009). Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA revista de agroecología*, *14*, 5-8.
- Arellano, J. B., & De Las Rivas, J. (2006). Plantas y cambio climático. *Investigación y Ciencia*, *254*, 42-49.
- Ayub, G., Smith, R. A., Tissue, D. T., & Atkin, O. K. (2011). Impacts of drought on leaf respiration in darkness and light in *Eucalyptus saligna* exposed to industrial-age atmospheric CO<sub>2</sub> and growth temperature. *New Phytologist*, *190*(4), 1003-1018.
- Ballesteros, H. B., & Aristizabal, G. L. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Bogotá DC: nota técnica del IDEAM*.
- Bazzaz, F.A. & K.D.M. McConnaughay. (1992). Plant interactions in elevated CO<sub>2</sub> environments. *Aust. J. Bot.* *40*:547--563.
- Benjamín, J. A., & Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y bosques*, *7*(1), 3-12.

- Berenguel, N., & del Mar, Á. (2011). Efecto de distintos factores ambientales sobre la germinación y crecimiento de dos especies halofitas: propuestas para la restauración y ajardinamiento de áreas salinas.
- Bolaños, H. O., Vázquez, M. H., Juárez, G. G., & González, G. S. (2019). Cambio climático: Una percepción de los productores de maíz de temporal en el estado de Tlaxcala, México. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 8(16), 1-26.
- Borges-Gómez, L., Cervantes Cárdenas, L., Ruiz Novelo, J., Soria Fregoso, M., Reyes Oregel, V., & Villanueva Couoh, E. (2010). Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Terra latinoamericana*, 28(1), 35-41.
- Breshears, D. D., Cobb, N. S., Rich, P. M., Price, K. P., Allen, C. D., Balice, R. G., & Meyer, C. W. (2005). Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(42), 15144-15148.
- 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.
- Carvalho, N. D., & Nakagawa, J. (2000). *Sementes: ciência, tecnologia e produção* (Vol. 4). Jaboticabal: Funep.
- Cañadilla-Tendero, M. F. (2019). Aproximación experimental de simulación de cambio climático.
- Chidumayo, E.N., 2008. Implications of climate warming on seedling emergence and mortality of African savanna woody plants. *Plant Ecology* 198, 61–71.
- Córdoba, Carlos V. (1976). Fisiología Vegetal. *Ediciones blume*.



- Cortes, P., Espelta, J. M., Save, R., & Biel, C. (2004). Effects of a nursery CO<sub>2</sub> enriched atmosphere on the germination and seedling morphology of two Mediterranean oaks with contrasting leaf habit. *New Forests*, 28(1), 79-88.
- Courtis, A. C. (2013). Cátedra de Fisiología Vegetal. *Fisiología Vegetal*, 1, 1-22.
- Cruz, Y. Y. P., & Martínez, P. C. C. (2015). Cambio climático: bases científicas y escepticismo. *Cultura Científica y Tecnológica*, (46).
- De la Cuadra, C. E. L. I. A. (1993). Germinación, latencia y dormición de las semillas. *Hojas divulgadoras*.
- Dewitt D., Bosland P. (1994). The pepper garden. *Berkeley, California, USA Ten Speed Press*. 59-71.
- Dismukes, G. C., Klimov, V. V., Baranov, S. V., Kozlov, Y. N., DasGupta, J., & Tyryshkin, A. (2001). The origin of atmospheric oxygen on Earth: the innovation of oxygenic photosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(5), 2170-2175.
- Dusenge, M. E., Duarte, A. G., & Way, D. A. (2019). Plant carbon metabolism and climate change: elevated CO<sub>2</sub> and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration. *New Phytologist*, 221(1), 32-49.
- Echeverría, T., & Marcelo, A. (1997). Determinación del inicio de la capacidad germinativa y tratamientos más adecuados para la germinación de maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa* Deg.).
- Fischer, G., Shah, M. M., & Van Velthuisen, H. T. (2002). Climate change and agricultural vulnerability.
- Grey, T. L., Beasley, J. P., Webster, T. M., & Chen, C. Y. (2011). Peanut seed vigor evaluation using a thermal gradient. *International Journal of Agronomy*, 2011.

- Gruber, B.D., R. Giehl, S. Friedel, and N. Von Wirén. (2013). Plasticity of the Arabidopsis root system under nutrient deficiencies. *Plant Physiol.* 163:161-179.
- Gómez Peláez, Á. J. (2019). Bases físicas del cambio climático.
- González, M. R. M., Padrino, M. V. C., Ramírez, E. M., & García, M. F. (2005). Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Ingeniería de recursos naturales y del ambiente*, (4), 14-18.
- Guerrero García, F. (2013). Escenario de potenciales tecnologías limpias de carbón y evaluación de las iniciativas de reducción de CO<sub>2</sub> en su aproximación a centrales de generación eléctrica de emisiones cero. *Anales de la Real Academia de Doctores de España Volumen 17*, 87-102.
- Han, F., Chen, H., Li, X.J., Yang, M.F., Liu, G.S., Shen, S.H., 2009. A comparative proteomic analysis of rice seedlings under various high-temperature stresses. *Biochimica et Biophysica Acta* 1794, 1625–1634.
- IPCC, C. C. (2014). Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers. *Ipcc.(2014)*, 31.
- 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.
- Jaramillo, S. y M. Baena. (2000). Material de apoyo a la capacitación en conservación ex situ de recursos fitogenéticos. *Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia*.
- Kerr, R. A. (2001). Rising global temperature, rising uncertainty

- Larkindale, J., J.D. Hall, M.R. Knight, and E. Vierling. (2005). Heat stress phenotypes of *Arabidopsis* mutants implicate multiple signaling pathways in the acquisition of thermotolerance. *Plant Physiol.* 138: 882–897.
- Lewis, J. D., Smith, R. A., Ghannoum, O., Logan, B. A., Phillips, N. G., & Tissue, D. T. (2013). Industrial-age changes in atmospheric CO<sub>2</sub> and temperature differentially alter responses of faster-and slower-growing *Eucalyptus* seedlings to short-term drought. *Tree Physiology*, 33(5), 475-488.
- May, P., Anastácio, M., Castañón Nájera, G., Tun Suárez, J. M., Mendoza Elos, M., Mijangos Cortés, J. O., & Latournerie Moreno, L. (2010). Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annuum* L.). *Revista fitotecnia mexicana*, 33(4), 353-360.
- Medel, E. P. (2011). Caracterización del efecto quimiotrópico del glutamato en raíces de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Doctoral dissertation, Centro de Investigación Científica de Yucatán.*
- Medlyn, B. E., Barton, C. V. M., Broadmeadow, M. S. J., Ceulemans, R., De Angelis, P., Forstreuter, M., ... & Jarvis, P. G. (2001). Stomatal conductance of forest species after long-term exposure to elevated CO<sub>2</sub> concentration: a synthesis. *New Phytologist*, 149(2), 247-264.
- Moreno-Pérez, E. D. C., Avendaño-Arrazate, C. H., Mora-Aguilar, R., Cadena-Iñiguez, J., Aguilar-Rincón, V. H., & Aguirre-Medina, J. F. (2011). Diversidad morfológica en colectas de chile guajillo (*Capsicum annuum* L.) del centro-norte de México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(1), 23-30.

- Nicholls Andrade, M. G. (2008). Efectos de luz, temperatura, salinidad y GA3 en la germinación de semillas de *Pumamaqui (Oreopanax spp)* (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2008).
- Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2019). Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *UNED Research Journal*, 11(1), S55-S61.
- Niinemets, Ü. (2010). Responses of forest trees to single and multiple environmental stresses from seedlings to mature plants: past stress history, stress interactions, tolerance and acclimation. *Forest Ecology and management*, 260(10), 1623-1639.
- Orozco, A. J., Ayala, C. C., & Tatis. H. A. (2012) Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas (revisión). *Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba*, 1-14.
- Peréz-Castañeda, L. M., Castañón-Nájera, G., Ramírez-Meraz, M., & Mayek-Pérez, N. (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum spp*. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(4), 117-128.
- Perumal, A., Varghese, B., Govender, P., Ramdhani, S., & Berjak, P. (2014). Effects of elevated temperatures on germination and subsequent seedling vigour in recalcitrant *Trichilia emetica* seeds. *South African Journal of Botany*, 90, 153-162.
- Polley, W.H., H.B. Johnson, H.S. Mayeux, C.R. Tischler and D.A. Brown. (1996). Carbon dioxide enrichment improves growth, water relations, and survival of droughted honey mesquite (*Prosopis glandulosa*) seedlings. *Tree Physiol.* 16:817—823
- Pozo C O, S Montes H, E Redondo J. (1991). Chile (*Capsicum spp.*). In: Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México. Sociedad Mexicana de Fitogenética. R Ortega P, G Palomino H, F Castillo G, V A González H, M Livera M (eds). *SOMEFI*. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. pp:217.

- Rahman, H.U., S.A. Malik, and M. Saleem. (2004). Heat tolerance of upland cotton during the fruiting stage evaluated using cellular membrane thermostability. *Field Crops Res.* 85:149-158.
- 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, Colegio de Postgraduados INIFAP, ITConkal, UANL, UAN*. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Rivas, Matilde R. (200). Algunos aspectos sobre la germinación de *Capsicum chinense jacq.* Estudiados en semillas de 5 localidades del país. (Doctoral dissertation, *UNIVERSIDAD DE LOS ANDES*).
- 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.
- Sarabia, J., & Roo, Q. (2015). Respuesta a la selección de chile dulce (*Capsicum annuum L.*) Y descripción varietal del fruto. Informe Técnico de Residencia Profesional que presenta los CC.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2021). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Artmed Editora.
- Tissue, D. T., & Lewis, J. D. (2010). Photosynthetic responses of cottonwood seedlings grown in glacial through future atmospheric CO<sub>2</sub> vary with phosphorus supply. *Tree Physiology*, 30(11), 1361-1372.
- Valqui Peña, J. D. (2017). Desempeño germinativo de semillas de *Lepidium meyenii* Walp “maca”: la importancia de las accesiones, la temperatura y los promotores de germinación.

- VAVILOV NI., Zavaleta BP. (1993): Síntesis Botánica. Taxonomía y Florística. México. *Universidad Autónoma Metropolitana*.
- Waizel-Bucay, J., & Camacho, M. R. (2011). El género *Capsicum* spp. (“chile”). Una versión panorámica. *Aleph zero. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica. Universidad de las Américas Puebla*, 60, 67-79.
- Ward, J. K., & Strain, B. R. (1999). Elevated CO<sub>2</sub> studies: past, present and future. *Tree Physiology*, 19(4-5), 211-220.
- Williams, A. P., Allen, C. D., Macalady, A. K., Griffin, D., Woodhouse, C. A., Meko, D. M., & McDowell, N. G. (2013). Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature climate change*, 3(3), 292-297.
- Woodward FI. (2002). Potential impacts of global elevated CO<sub>2</sub> concentrations on plants. *Current Opinion in Plant Biology* 5: 207–211.
- Wullschlegel S., Tschaplinski T. & Norby R. (2002) Plant water relations at elevated CO<sub>2</sub>-implications for water-limited environments. *Plant, Cell and Environment* 25, 319–331.
- Yepes, A., & Buckeridge, M. S. (2011). Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global (revisión). *Colombia forestal*, 14(2), 213-232.
- Khaitov, B., Umurzokov, M., Cho, K. M., Lee, Y. J., Park, K. W., & Sung, J. (2019). Importance and production of chilli pepper; heat tolerance and efficient nutrient use under climate change conditions. *Korean Journal of Agricultural Science*, 46(4), 769-779.
- Das, S., Das, R., Choudhury, H., & Saikia, A. (2016). Interactive effect of elevated carbondioxide and high temperature on quality of hot chilli (*Capsicum chinense* Jacq.).

- Duursma, R. A., Barton, C. V., Eamus, D., Medlyn, B. E., Ellsworth, D. S., Forster, M. A., ... & McMurtrie, R. E. (2011). Rooting depth explains CO<sub>2</sub> drought interaction in *Eucalyptus saligna*. *Tree physiology*, *31*(9), 922-931.
- Wullschlegel, S. D., Tschaplinski, T. J., & Norby, R. J. (2002). Plant water relations at elevated CO<sub>2</sub>—implications for water-limited environments. *Plant, Cell & Environment*, *25*(2), 319-331.
- Zeppel, M. J., Lewis, J. D., Chaszar, B., Smith, R. A., Medlyn, B. E., Huxman, T. E., & Tissue, D. T. (2012). Nocturnal stomatal conductance responses to rising CO<sub>2</sub>, temperature and drought. *New Phytologist*, *193*(4), 929-938.
- Zhao, J., Hartmann, H., Trumbore, S., Ziegler, W., & Zhang, Y. (2013). High temperature causes negative whole-plant carbon balance under mild drought. *New phytologist*, *200*(2), 330-339.
- Ziska, L. H., & Bunce, J. A. (1993). The influence of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on seed germination and emergence from soil. *Field Crops Research*, *34*(2), 147-157.
- Zouni, A., Witt, H. T., Kern, J., Fromme, P., Krauss, N., Saenger, W., & Orth, P. (2001). Crystal structure of photosystem II from *Synechococcus elongatus* at 3.8 Å resolution. *Nature*, *409*(6821), 739-743.

