



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

CAMPUS TUXTEPEC

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Evaluación del efecto de una Glucocinina de origen animal (Goa) sobre la germinación, la emergencia y el establecimiento de *Capsicum chinense* Jacq.

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN BIOTECNOLOGÍA

PRESENTA:

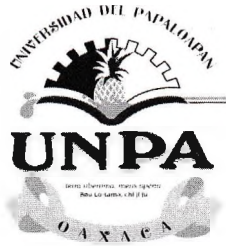
ALEJANDRO HERNANDEZ LOPEZ

Director: Dra. Alma Xochil Ávila Alejandre

SAN JUAN BAUTISTA TUXTEPEC, OAXACA, 2024

## HOJA DE ORIGINALIDAD

El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la Universidad del Papaloapan para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

## DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO	DEP-DBT/2024/001
ASUNTO	Autorización de impresión de tesis

San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, a 10 de enero de 2024

**DRA. TANIA ZÚNIGA MARROQUÍN**  
ENCARGADA DEL DESPACHO DE LA VICERRECTORÍA ACADÉMICA  
UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN  
PRESENTE

Sirva la presente para informarle que, el jurado evaluador del examen para obtener el grado de **Doctor en Biotecnología del M en BE. Alejandro Hernández López**, con número de **Matrícula 15160001**, ha autorizado la impresión del manuscrito que lleva por título **“Evaluación del efecto de una Glucocinina de origen animal (Goa) sobre la germinación, la emergencia y el establecimiento de Capsicum chinense Jacq”**, para su posterior presentación y defensa por el sustentante.

Agradezco su atención y quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración.

**Atentamente**

*terra uberrima, mens aperta*  
Bou Lo-tama, chí jí jú



**Dr. José Abad Zavaleta**

**Jefe de la División de Estudios de Posgrado**

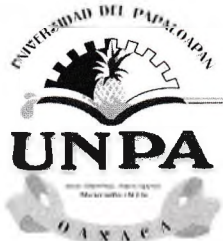


C.c.p. Dr. Alma Xóchil Ávila Alejandre – Director de tesis.  
C.c.p. Dra. Delia Ester Paramo Calderón – Coordinadora del Doctorado en Biotecnología  
C.c.p. M. E. Yesenia Barrientos Arenal – Jefa del Departamento de Servicios Escolares.  
C.c.p. Archivo

CAMPUS TUXTEPEC  
C. Circuito central No. 200, Col. Parque Industrial.  
C.P. 38301, Tuxtepec, Oax.  
Tel. 01(287)8759240

[www.unpa.edu.mx](http://www.unpa.edu.mx)

CAMPUS LOMA BONITA  
Av. Ferrocarril S/N, Ciudad universitaria.  
C.P. 68400, Loma Bonita, Oax.  
Tel. 01(281)8729230



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

## DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO	DEP-DBV/2024/002
ASUNTO	Jurado para examen de grado

San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, a 10 de enero de 2024

**M EN BE. ALEJANDRO HERNÁNDEZ LÓPEZ**  
**DOCTORADO EN BIOTECNOLOGÍA**  
**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**  
**PRESENTE**

Por este medio le informo que el jurado evaluador de su examen para obtener el grado de **Doctor en Biotecnología** estará integrado por los siguientes investigadores.

Profesor Investigador	Jurado de Examen
Dr. Enrique Villalobos Amador	Presidente
Dra. Tzvetanka Dinkova Dimitrova	Vocal
Dr. Noe Francisco Mendoza Ambrosio	Vocal
Dra. Alma Xóchilt Ávila Alejandre	Vocal
Dra. María de Jesús García Gómez	Secretario
Dr. Oscar Núñez Gaona	Primer Suplente
Dra. Delia Esther Paramo Calderón	Segundo Suplente

Sin más por el momento, le envío saludos cordiales.

Atentamente

*terra uberrima, mens aperta*  
Bou Lo-tama, chí ji jú

  
**Dr. José Abad Zavaleta**  
Jefe de la División de Estudios Posgrado



  
**Dra. Tania Zúñiga Marroquín**  
Encargada del despacho de la **VICE-RECTORIA ACADEMICA**  
Vo. Bo.

C.c.p. Dr. Alma Xóchil Ávila Alejandre – Director de tesis.  
C.c.p. Dra. Delia Ester Paramo Calderón – Coordinadora del Doctorado en Biotecnología  
C.c.p. M. E. Yesenia Barrientos Arenal – Jefa del Departamento de Servicios Escolares.  
C.c.p. Archivo

**CAMPUS TUXTEPEC**  
C. Circuito central No. 200, Col. Parque Industrial.  
C.P. 38301, Tuxtepec, Oax.  
Tel. 01(287)8759240

[www.unpa.edu.mx](http://www.unpa.edu.mx)

**CAMPUS LOMA BONITA**  
Av. Ferrocarril S/N, Ciudad universitaria.  
C.P. 68400, Loma Bonita, Oax.  
Tel. 01(281)8729230

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Papaloapan, por el uso de sus instalaciones durante el desarrollo del presente proyecto. Se agradece a LABIOTT el apoyo técnico, material y el acceso a sus instalaciones para la realización de este trabajo (LABIOTT es un emprendimiento en el modelo business angel con recursos personales de M en BE Alejandro Hernández-López).

Se agradece por su invaluable el apoyo material:

a la M. en C. Teresa Fonseca Favela, Ciencias de la Salud UAM-Iztapalapa

a la Dra. Laura Josefina Pérez Flores, Ciencias de la Salud UAM-Iztapalapa.

Dra. Alma Xochil Avila Alejandre, Instituto de Biotecnología, UNPA- Tuxtepec

También se agradece por el apoyo en la revisión de protocolo, de artículos y la participación en los comités durante el desarrollo de la Tesis:

A la Dra. Antonia Amancio Oliveira, Centro de Biociencias e Biotecnología-Universidad e Estadual do Norte Fluminense, Brazil.; A la Dra. Elda Beltrán Peña, Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México

Dr. Oscar Núñez Gaona, Instituto de Biotecnología, UNPA- Tuxtepec

A la Dra. Estela Sánchez Quintanar, Depto. de Bioquímica, Facultad de Química, UNAM

A la Dra. Tzvetanka Dinkova Dimitrova, Depto. de Bioquímica, Facultad de Química, UNAM

Dr. Fernando Rivera Cabrera, Ciencias de la Salud UAM-Iztapalapa

Dra. Lluvia de Abril Soriano Melgar, Facultad de Ciencias Químicas-UAdeC

Dr. Francisco Noe Mendoza Ambrosio, Instituto de Ciencias Químicas, UNPA- Tuxtepec

Dra. Laura Sánchez Coutiño, Instituto de Biotecnología, UNPA- Tuxtepec

Dra. Ana Karin Navarro Martínez, Instituto de Biotecnología, UNPA- Tuxtepec

Dr. Héctor Hernández López, Depto. de Sistemas Nucleares, ININ

Dr. Enrique Villalobos Amador, Instituto de Biotecnología, UNPA- Tuxtepec

Dra. María de Jesús García Gómez, Instituto de Biotecnología, UNPA- Tuxtepec

Dra. Delia Esther Paramo Calderón, Instituto de Biotecnología, UNPA- Tuxtepec

Dr. Oscar Abelardo Ramírez Marroquín, Instituto de Química, UNPA- Tuxtepec

Dr. Alejandro Aparicio Saguilán, Instituto de Biotecnología, UNPA- Tuxtepec

M en C. Felipe Camacho Mejía, UAEM-Toluca

## DEDICATORIAS

A la memoria de mis padres

A mi eterna compañera Xochil.

A mi hija Mikel

A mis hermanos

A mis profesores en particular a la maestra Teresa Fonseca y a la Dra. Laura Josefina Pérez Flores

A todos los tesisistas de Xochil que fueron mis compañeros

# Contenido

HOJA DE ORIGINALIDAD .....	i
AUTORIZACIÓN DE TESIS .....	ii
COMITÉ DE EVALUACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
DEDICATORIAS .....	v
ABREVIATURAS .....	viii
TABLAS .....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN .....	12
ABSTRACT.....	15
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1 Agricultura y biotecnología agrícola.....	20
2.1.2 Políticas agroalimentarias en México.....	22
2.2 Propuestas metodológicas que hacen más eficiente el manejo agronómico.....	23
2.2.1 Acondicionamiento pre-germinativo ( <i>Primming seed</i> ) .....	24
2.2.2 Bioestimulantes vegetales.....	25
2.3 El chile habanero Jaguar. <i>Capsicum chinense</i> Jacq.....	26
2.3.1 Aspectos agronómicos de <i>Capsicum chinense</i> Jacq. ....	28
2.4 Investigación experimental. ....	30
2.4.1 La estrategia experimental.....	30
2.4.2 Optimización.....	32
<b>3. ANTECEDENTES.....</b>	<b>34</b>
3.1 Glucocininas.....	34
<b>4. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>37</b>
<b>5. OBJETIVOS.....</b>	<b>39</b>
OBJETIVO GENERAL.....	39
OBJETIVOS PARTICULARES.....	39
<b>6. HIPÓTESIS.....</b>	<b>39</b>
<b>6. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>40</b>
EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UNA GLUCOCININA DE ORIGEN ANIMAL (GOA) SOBRE LA GERMINACIÓN, LA EMERGENCIA Y EL ESTABLECIMIENTO DE <i>Capsicum chinense</i> Jacq.....	40

<b>7. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>41</b>
<b>7.1. Análisis matemático y estadístico.....</b>	<b>41</b>
7.1.1 Artículo 1 .....	41
7.1.2 Artículo 2 .....	42
7.1.3 Artículo 3 .....	43
<b>8. RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
<b>8.1 PUBLICACIÓN 1.....</b>	<b>46</b>
8.1.1 Comentarios a la publicación 1.....	46
8.1.2 Resultados adicionales de la publicación 1 .....	58
<b>8.2 PUBLICACIÓN 2.....</b>	<b>63</b>
8.2.1 Resumen de la publicación 2.....	63
.2.2 Resultados adicionales de la publicación 2.....	78
<b>8.3 PUBLICACIÓN 3 (ENVIADO PARA PUBLICACIÓN).....</b>	<b>81</b>
8.3.1 Comentarios a la Publicación 3.....	81
<b>9. DISCUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>100</b>
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>110</b>
<b>11. PERSPECTIVAS.....</b>	<b>112</b>
<b>12. REFERENCIAS.....</b>	<b>113</b>

## ABREVIATURAS

CEDRSSA: Centro de estudios para el Desarrollo Rural sustentable y la soberanía alimentaria

FAO: Food and Agricultural Organization of United Nations

FAOSTAT: Food and Agricultural Organization of United Nations Statistics Division

Goa: Glucocinina de origen animal

Ha: Hectárea

INEGI: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

IPCC: International Panel of Change Climate

ISTA: International Seed Test Agency

OMS: Organización Mundial de Comercio

PND: Plan Nacional de Desarrollo

SENASICA: Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

Ton: Tonelada

## TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clasificación taxonómica de <i>Capsicum chinense</i> Jacq.....	15
<b>Tabla 2.</b> Tipos de variables de acuerdo a las consideraciones de efecto y manipulabilidad.....	33
<b>Tabla 3</b> Especificaciones de los germinadores de acuerdo con los organismos internacionales.....	50
<b>Tabla 4.</b> Comparación de la eficiencia entre el germinador y la incubadora comercial.....	51

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Etapas de desarrollo de los cultivos</b> (Modificado de SENAMHI, 2011).....	13
<b>Figura 2. Aspectos morfológicos de <i>Capsicum chinense</i> Jacq.</b> a) Semillas; b) flor; c) corte transversal de un fruto que muestra las estructuras internas y d) frutos. (Modificado de Ruiz-Lau et al., 2011).....	16
<b>Figura 3. Directrices del diseño de prototipos.</b> (Modificado de Flores-Rentería et al., 2016). ....	47
<b>Figura 4. Composición fotográfica de los elementos del primer prototipo del germinador.</b> Con este primer diseño, existía un aumento en la temperatura debido al calor de la iluminación interna, el cual se pudo determinar mediante el sistema de verificación, en tiempo real, basado en sistema ARDUINO UNO®.....	48
<b>Figura 5. Rediseño de la puerta del germinador.</b> a) Se observa el rediseño de la puerta, basado en el sistema tubo carcasa. Los orificios mediante el efecto Venturi aceleran la velocidad del flujo de aire y generan aspiración, lo que hace más eficiente la salida del calor de las lámparas; b) ejemplo de estabilización de la temperatura tras la implementación de la iluminación con el sistema tubo carcasa.....	59
<b>Figura 6. Efecto de diferentes volúmenes de imbibición de agua sobre el establecimiento de <i>C. chinense</i>.</b> El establecimiento se evaluó diariamente después de la emergencia de las plántulas. a) las semillas se imbibieron con 2.5 y 3.5 mL y b) las semillas se imbibieron con 5 y 10 mL en ambos casos se compararon con el volumen de referencia (7.5 mL). (*) indica diferencias significativas con respecto al volumen de referencia.....	67
<b>Figura 7. Velocidad de establecimiento de las plántulas de <i>Capsicum chinense</i> germinadas con diferentes volúmenes de agua.</b> Las flechas negras indican a los cotiledones y la flecha clara la hoja verdadera (Elaboración propia).....	68
<b>Figura 8. Fechas relevantes del Sistema de germinación y emergencia</b> (Elaboración propia).....	69
<b>Figura 9. Variación anual de la Temperatura histórica en Tuxtepec.</b> La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25º a 75º, y 10º a 90º. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes (Tomado de: <a href="https://es.weatherspark.com/y/8583/Clima-promedio-en-Tuxtepec-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o">https://es.weatherspark.com/y/8583/Clima-promedio-en-Tuxtepec-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o</a> Consultado: 04 de junio de 2023).....	102
<b>Figura 10. Metodología de Mounari</b> .....	103

## RESUMEN

El chile habanero *Capsicum chinense*, es un cultivo de gran importancia a nivel nacional y es uno de los géneros de *Capsicum* más rentables económicamente. En años recientes se ha incorporado su siembra en agricultura protegida. Sin embargo, su cultivo bajo estas condiciones presenta desafíos como son: rápida pérdida de viabilidad en la semilla, bajos niveles de germinación y largos tiempos para establecimiento lo que alarga el tiempo de permanencia de las plántulas en las unidades de producción, a lo que hay que sumarle una alta tasa de mortalidad en las primeras etapas del desarrollo de las plántulas. Se han buscado posibles soluciones y una de ellas es el uso de reguladores del crecimiento.

En este sentido, se ha reportado que algunas proteínas de origen animal, como las glucocininas, aceleran la germinación y el crecimiento de ejes embrionarios de *Zea mays* y *Canavalia ensiformis*. Adicionalmente, se ha descrito en plantas la presencia de un factor semejante a la insulina o ZmIGF (por sus siglas en inglés *Zea mays* Insulin-like growth factor), que muestra efectos similares a las glucocininas en el mismo *Zea mays*. Aunque estos hallazgos se han considerado únicamente como un modelo de estudio, en este trabajo se probó el efecto de la exposición de una Glucocinina de origen animal (Goa) sobre la germinación, la emergencia y el establecimiento de *Capsicum chinense* Jacq. bajo condiciones de agricultura protegida de bajo nivel de tecnificación, acorde al nivel de apropiación de tecnología del estado de Oaxaca-México (Damián-Huato *et al.*, 2013; Damián-Huato *et al.*, 2019; Damián-Huato *et al.*, 2020).

Para lograr el objetivo, se propuso abordar el problema en tres etapas: 1) la construcción, prueba y verificación de germinadores de bajo costo y bajo nivel tecnológico, 2) la implementación de un método de ensayo de la germinación de tipo directo y de corte fisiológico, de bajo costo, bajo nivel de tecnificación, compatible con las especificaciones de la ISTA (International Seed Testing Association). Se probó un pre-acondicionamiento hídrico, con el fin de determinar los mejores niveles de volumen de agua para la imbibición de las semillas. 3) Exposición de las semillas a la Goa y determinar su efecto sobre tres diferentes ventanas del desarrollo (germinación, emergencia y establecimiento) en semillas de *Capsicum chinense*.

Resultados. Etapa 1): Se diseñaron y construyeron varios prototipos. El prototipo útil 3.1 de germinador fue el que se empleó para realizar el presente trabajo. Sus características de estabilidad en el control de la temperatura ( $DE = \pm 0.5^{\circ}C$ ) iluminación de 750 lúmenes y fotoperíodo 12/12 h. Permitieron verificar únicamente el efecto del volumen de agua de imbibición (pre-acondicionamiento hídrico) para lo cual se emplearon cinco niveles: 2.5, 3.5, 5, 7.5 y 10 mL. Todos los experimentos se realizaron por triplicado en lotes de 20 semillas. Por lo que el germinador se diseñó para albergar 300 contenedores individuales.

Etapa 2): Se determinó el efecto del pre-acondicionamiento hídrico sobre el porcentaje de germinación, emergencia y establecimiento de *Capsicum chinense*. Las semillas fueron cultivadas durante ciclo productivo diciembre 2015 a febrero 2016. Para el pre-acondicionamiento, las semillas se imbibieron con 2.5, 3.5, 5, 7.5 y 10 mL de agua. El volumen de 7.5 mL, se usó como referencia puesto que había sido reportado por otro autor (Garruña-Hernández *et al.*, 2014). Los resultados de la germinación con los diferentes volúmenes de agua indicaron que, los tres mejores volúmenes de imbibición fueron 2.5, 3.5 y 5 mL, con una correlación de Pearson de -0.905 ( $p= 0.000$ ) entre el volumen de agua y el porcentaje de germinación acumulada (%GA) a los 9 días posteriores al inicio de la imbibición (DPH). Además, se encontró una disminución del tiempo de germinación 50 (TG50) en 2.5 mL ( $5.19 \pm 1.4$  DPH) y 3.5 mL ( $5.78 \pm 1.6$  DPH) mientras que 5 mL ( $7.35 \pm 1.8$  DPH) no mostró diferencia y 10 mL se retrasó ( $11.19 \pm 2.1$  DPH) comparados con respecto del volumen Testigo 7.5 mL ( $9.78 \pm 2.3$  DPH).

Posteriormente, las mismas semillas se trasplantaron para evaluar el porcentaje de emergencia acumulada (%EA), debido a que la emergencia se realizó con semillas sepultadas, se decidió evaluar todos los valores cuando al menos dos de los tratamientos superaran el 70%, lo cual ocurrió a los 13 DPH. Los mejores volúmenes de imbibición para la emergencia a los 13 DPH fueron, 3.5 mL (88.8%), 5mL (76.1%) y 2.5 mL (74.4%). Se debe hacer notar que al evaluar el %EA el volumen con el mejor desempeño fue 3.5 mL, distinto a lo que ocurrió en la germinación donde 2.5 mL, ocupó el mejor lugar, lo que modificó el coeficiente de Pearson a -0.641 ( $p= 0.01$ ). En cuanto a las velocidades de emergencia se estimó el TE90 (tiempo de emergencia 90), empleando el programa Minitab 15, por las razones antes mencionadas. El menor tiempo de emergencia se observó para 3.5 mL (5.67 DPH), seguido de 5 mL (6.3 DPH) y 2.5 mL (7.48 DPH), mientras que el tiempo más largo fue para 10 mL (10.09 DPH) todos comparados con el Control de 7.5 mL (9.79 DPH).

En cuanto al establecimiento, su porcentaje acumulado (%EA), no mostró diferencias significativas ( $p \geq 0.5$ ) a 22 DPH, con respecto al volumen de referencia 7.5 mL, en ninguno de los volúmenes ensayados debido, sobre todo, a que la desviación estándar del volumen de referencia es tan grande, que sobrelapa a la media de todos los tratamientos. Cabe destacar que a mayor volumen de imbibición también se aumenta la desviación estándar. Sin embargo, en cuanto a la velocidad estimada (mediante regresión lineal), el volumen de 5 mL mostró una mayor velocidad de establecimiento seguido de 3.5, 2.5 y 7.5 y finalmente 10 mL, respectivamente.

Etapa 3): Una vez establecido el mejor volumen de imbibición durante el *hidroprimming*, el siguiente objetivo fue verificar el efecto de la Glucocinina de origen animal (Goa). Los resultados muestran que, al parecer la Goa, la glucosa y la combinación, retrasan la germinación con respecto del control. En la etapa de emergencia, los tratamientos no mostraron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) en el porcentaje total de

emergencia acumulada con respecto al control. Adicionalmente, no se encontraron diferencias entre los tratamientos. Sin embargo, sí hubo diferencias en cuanto a la velocidad de emergencia (VE50) de todos los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al control. Por otro lado, se observó que la Goa tiene un efecto tejido-específico sobre el crecimiento, incrementó significativamente ( $p < 0.05$ ) la longitud de la raíz principal o el número de raíces laterales con respecto a todos los tratamientos y el Control.

Finalmente, en el caso del porcentaje de establecimiento 90, todos los tratamientos mostraron diferencias significativas, con respecto del control ( $p < 0.05$ ), siendo la Goa el mejor tratamiento, seguido de la Glucosa y finalmente la combinación, por lo que el tratamiento con Goa disminuye hasta en 10 días (29.9%), el tiempo de estancia de las plántulas en los germinadores. La glucosa 9 días (26%) y la mezcla 8.8 días (26.3 %).

Los resultados mostraron que, los mejores volúmenes de agua para la imbibición se encuentran en el rango entre 3.5 y 5 mL, siendo 5 mL el óptimo de los volúmenes probados. Es interesante hacer notar que, las concentraciones de Goa y Glucosa utilizadas en este trabajo son muy bajas, sin embargo, fueron suficientes para mantener la sobre regulación en los porcentajes totales de establecimiento durante todas las etapas evaluadas. Estos resultados sugieren que la aplicación de Goa favoreció el desarrollo de las plántulas en *C. chinense*.

## ABSTRACT

The habanero pepper, *Capsicum chinense*, is a crop of great importance in our country and one of the most economically profitable *Capsicum* genera. Actually, this cultivate has been incorporated into protected agriculture. However, its cultivation under these conditions presents challenges such as: fast loss of viability in the seed, low levels of germination and long establishment times, which lengthens the stading time in the greenhouses, add more a high mortality rate in the early stages of seedling development a possible solutions is the use of growth regulators.

In this sense, has been reported some animal origin proteins, such as glucokinins, which accelerate the germination and growth of embryonic axes of *Zea mays* and *Canavalia ensiformis*. Additionally, the presence of an insulin-like factor or ZmIGF (*Zea mays* Insulin-like growth factor) has been described in plants, which shows similar effects to glucokinins in *Zea mays* itself. Although these findings have been considered only as a study model, in this work the effect of exposure to a Glucokinin of animal origin (Goa) on the germination, emergence and establishment of *Capsicum chinense* Jacq was tested under protected agriculture conditions with a low level of technology, in accordance with the level of Mexico's technology appropriation (Damián-Huato et al., 2013; Damián-Huato et al., 2019; Damián-Huato et al., 2020).

We was to achieve the goal, it was proposed to fractionated the problem in three stages: 1) construction, testing and verification of low-cost and low-tech germinators, 2) implementation of a direct germination test method with physiological cutting, low cost, low level of technology, compatible with the ISTA (International Seed Testing Association) specifications. A water pre-conditioning was tested, in order to determine the best water volume levels for the imbibition of the seeds. 3) Exposure of the seeds to Goa and determine its effect on three different windows of development (germination, emergence and establishment) in *Capsicum chinense* seeds.

Results. Stage 1): Several prototypes were designed and built. Germinator prototype 3.1 was the best and was used in this work. Characteristics: stability in temperature control (SD =  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ), lighting = 750 lumen and photoperiod 12/12 h . Only the effect of the volume of imbibition water (water pre-conditioning) to be verified, for which five levels were used: 2.5, 3.5, 5, 7.5 and 10 mL. All experiments were carried out in triplicate in batches of 20 seeds. So the germinator was designed to hold 300 individual containers.

Stage 2): The effect of water pre-conditioning on the percentage of germination, emergence and establishment of *Capsicum chinense* was determined. The seeds were grown during the productive cycle from December 2015 to February 2016. For pre-conditioning, the seeds were imbibed with 2.5, 3.5, 5, 7.5

and 10 mL of water. The volume of 7.5 mL was used as a reference because had been reported by another author (Garruña-Hernández *et al.*, 2014). The results of germination with the different volumes of water indicated that the three best imbibition volumes were 2.5, 3.5 and 5 mL, with a Pearson correlation of -0.905 ( $p= 0.000$ ) between the volume of water and the percentage of cumulative germination (%GA) at 9 days after the start of imbibition (DPH). In addition, a decrease in germination time 50 (TG50) was found in 2.5 mL ( $5.19 \pm 1.4$  DPH) and 3.5 mL ( $5.78 \pm 1.6$  DPH) while 5 mL ( $7.35 \pm 1.8$  DPH) showed no difference and 10 mL was delayed ( $11.19 \pm 2.1$  DPH) compared to the Control volume 7.5 mL ( $9.78 \pm 2.3$  DPH).

Subsequently, the same seeds were transplanted to evaluate the percentage of accumulated emergence (%EA). Since the emergence was carried out with buried seeds, it was decided to evaluate all the values when at least two of the treatments exceeded 70%, which it occurred at 13 DPH. The best imbibition volumes for emergence at 13 DPH were 3.5 mL (88.8%), 5 mL (76.1%) and 2.5 mL (74.4%). It should be noted that when evaluating the %EA, the volume with the best performance was 3.5 mL, different from what occurred in germination where 2.5 mL occupied the best place, which modified the Pearson coefficient to -0.641 ( $p= 0.01$ ). Regarding emergency speeds, TE90 (emergency time 90) was estimated using the Minitab 15 program, for the reasons mentioned above. The shortest emergence time was observed for 3.5 mL (5.67 DPH), followed by 5 mL (6.3 DPH) and 2.5 mL (7.48 DPH), while the longest time was for 10 mL (10.09 DPH) all compared to the Control of 7.5 mL (9.79 DPH).

Regarding the establishment, accumulated percentage (%EA) did not show significant differences ( $p \geq 0.5$ ) at 22 DPH, with respect to the reference volume of 7.5 mL, in any of the volumes tested, mainly due to the fact that the standard deviation of reference volume is so large that it overlaps the average of all treatments. Should be noted, that the higher the imbibition volume, the standard deviation also increases. However, regarding the estimated velocity (using linear regression), the 5 mL volume showed a higher establishment velocity followed by 3.5, 2.5 and 7.5 and finally 10 mL, respectively.

Stage 3): Once the best imbibition volume was established during hydropriming, the next objective was to verify the effect of Glucokinin of animal origin (Goa). The results show that Goa, glucose and the combination apparently delay germination compared to the control. In the emergence stage, the treatments did not show significant differences ( $p \geq 0.05$ ) in the total percentage of accumulated emergence with respect to the control. Additionally, no differences were found between treatments. However, there were differences in the emergence speed (VE50) of all treatments ( $p \leq 0.05$ ) compared to the control. On the other hand, it was observed that Goa has a tissue-specific effect on growth, it significantly increased ( $p < 0.05$ ) the length of the main root or the number of lateral roots with respect to all treatments and the Control.

Finally, in the case of establishment percentage 90, all treatments showed significant differences with respect to the control ( $p < 0.05$ ), with Goa being the best treatment, followed by Glucose and finally the combination, so the treatment with Goa reduces the stay time of seedlings in the germinators by up to 10 days (29.9%). Glucose 9 days (26%) and the mixture 8.8 days (26.3%).

The results showed that the best water volumes for imbibition are in the range between 3.5 and 5 mL, with 5 mL being the optimal volume tested. It is interesting to note that the concentrations of Goa and Glucose used in this work are very low, however, they were sufficient to maintain overregulation in the total establishment percentages during all the stages evaluated. These results suggest that the application of Goa favored the development of seedlings in *C. chinense*.

# 1. INTRODUCCIÓN

La capacidad de producir alimentos en el mundo se ha visto afectada por las prácticas y políticas agrícolas inadecuadas, a lo que hay que sumarle el cambio climático, que a su vez, afecta la agricultura debido al estrés que generan en las plantas las variaciones de temperatura, el cambio en la frecuencia de las precipitaciones pluviales o los eventos extremos de las condiciones climáticas (IPCC, 2021). Con el planteamiento de los objetivos del desarrollo sostenible en 2015, se ha iniciado una reconversión hacia agricultura sustentable (FAO, 2015), lo que ha diversificado las prácticas agrícolas en los países en desarrollo. Con la adhesión de México a los Objetivos del Desarrollo Sostenible en 2018, el gobierno ha establecido algunas políticas, entre las que destacan: la Ley de Fomento Agropecuario para la Autosuficiencia Alimentaria, del Centro de estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA), la cual “impulsa la investigación que genere alternativas tecnológicas adecuadas a la diversidad de sistemas de producción agropecuaria y de los ecosistemas y facilite que se adopten prácticas agroecológicas sostenibles [sic]”, mediante los Programas Sectoriales, derivados del Plan Nacional de desarrollo 2019-2024, pretende lograr la autosuficiencia alimentaria, a través del rescate de los sectores agrícolas, pecuarios, pesqueros y acuícolas, eliminando la visión de que el mercado sustituye al estado y en cambio, asumiendo el principio de economía para el bienestar para disminuir la desigualdad en el desarrollo agropecuario del país.

Para lograrlo, se busca apoyar directamente a los productores con asistencia técnica, insumos, recursos, procesos y bienes colectivos, desde un punto de vista sostenible ([www.dof.gov.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5595549](http://www.dof.gov.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5595549)). Sin embargo, para lograr el éxito de estas políticas se debe considerar la transferencia de conocimientos (*Know-how*) y la tecnología aplicable al productor para ello se requiere de equipos humanos calificados en el diseño de protocolos pero también en la construcción de equipos automatizados, de fácil acceso, bajo nivel de sofisticación técnica y a precios competitivos; a fin de que su uso sea integrado con facilidad, en las prácticas agrícolas actuales (Figueroa-Rodríguez *et al.*, 2019).

Actualmente, las prácticas agrícolas, abarcan dos grandes categorías, la agricultura a campo abierto y la agricultura protegida. Se sabe que la primera, promueve la generación de gases de efecto invernadero (aproximadamente 10–12 GtCO<sub>2</sub>eq/año), el cambio de uso de suelo y la liberación masiva al ambiente de agroquímicos (Xia *et al.*, 2024; Hirt *et al.*, 2023). La segunda, se realiza bajo estructuras construidas que, aíslan a los cultivos del impacto de las variaciones climáticas, plagas, enfermedades sobre los cultivos y facilitan el control ambiental, nutricional y sanitario (Moreno-Reséndiz *et al.*, 2011; Shi *et al.*, 2019). La agricultura protegida es un modo altamente eficiente de la agricultura moderna incrementa la productividad creando

condiciones ambientales optimas dentro de los espacios de cultivo, lo que permite aumentar los márgenes de ganancia y reducir el impacto ambiental debido a que permite una mejor gestión del espacio y los recursos disponibles, como el agua, los fertilizantes y los plaguicidas, sin embargo, se requieren grandes montos de inversión, lo que es incompatible con el status socioeconómico y de apropiación de tecnología de la mayoría de los productores del sureste del país (Shi, *et al.*, 2019).

El chile (*Capsicum spp*), es una hortaliza de gran importancia económica y cultural a nivel mundial. En los últimos años su producción se ha incrementado a un ritmo de 3.3 % anual (SIAP, 2021; FAOSTAT, 2014). En 2019, China, ocupó el primer lugar en producción de chile con el 57 %, con un total de 18.1 toneladas métricas (TM). En ese mismo año, en México, se produjeron en promedio 2.7 millones de toneladas de chile, lo que lo ubicó en el segundo lugar de la producción mundial de chile verde, con el 8 % (SIAP-SAGARPA, 2020).

En el mundo, se cultivan cinco especies: *C. chinense Jacq.*, *C. frutescens L.*, *C. annum L.*, *C. pubescens.*, *C. baccatum L.*, las cuatro primeras están presentes en México (Montes-Hernández *et al.*, 2010). Los principales estados productores son Sinaloa (40 ton/ha) y Chihuahua (20 ton/ha). En Oaxaca, en 2020, se cosecharon 2,472 ton/ha de chile verde, desafortunadamente, en este estado no se cuenta con estimaciones confiables al respecto de las especies (SIAP-SAGARPA, 2020).

El valor comercial de las diferentes especies varía sensiblemente. Para la primera quincena de 2021 el margen de comercialización promedio al mayoreo del chile verde jalapeño fue de 27 pesos/kg, mientras que el chile habanero fue de 85 pesos/kg (SIAP, 2022). A pesar de sus precios competitivos, la producción de chile habanero no se ha masificado, debido a aspectos, culturales, económicos e intrínsecos al propio cultivo. Entre esos están: las semillas de variedades de alto rendimiento son caras y pierden viabilidad con rapidez, por ejemplo, las semillas de *Capsicum chinense* expedidas por el Instituto Nacional de Investigación Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) “Las Huastecas”, solamente garantizan dos semanas de viabilidad. Adicionalmente, el tiempo de emergencia en campo es muy variable, va desde 29 hasta 38 días, bajo diversas técnicas. Las etapas del desarrollo temprano (germinación y establecimiento) que son críticas para el buen desarrollo posterior son muy sensibles a los cambios ambientales y no han sido bien estudiadas. Entre las opciones con las que se cuenta para mejorar los porcentajes de emergencia se encuentran: la fertilización temprana, o el uso de uno o varios inductores del crecimiento (hidrofóbicos), lo que puede encarecer los costos de producción, en este sentido, en años recientes se ha propuesto el uso de inductores del crecimiento de tipo peptídico como una alternativa a los reguladores tradicionales, en este trabajo se propone el uso de glucocininas (hidrosolubles).

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Agricultura y biotecnología agrícola

La palabra agricultura, tiene sus raíces etimológicas en *agri*: campo y *cultura*: cultivo o crianza, por lo que se denomina agricultura al conjunto de técnicas, conocimientos y saberes para cultivar la tierra. La agricultura satisface las necesidades de alimentación, es la base de la estructura social y fundamenta la generación de riqueza y desarrollo de los pueblos, por lo tanto, es una actividad de importancia estratégica en todos los países (Dethier & Effenberger, 2012). Sin embargo, existen grandes diferencias entre las técnicas agrícolas, en países desarrollados se encuentran altamente tecnificadas y se han convertido en una rama de la ciencia, que se encuentra más relacionada con la biotecnología que con la agronomía. La biotecnología agrícola, es el conjunto de técnicas que utiliza organismos vivos o sustancias aisladas de estos organismos para generar bienes relacionados con el agro, susceptibles de generar riqueza (FAO, 2003). Los productos de la biotecnología agrícola, tienen un alto valor económico y muchos países desarrollados deben su éxito económico a la comercialización de estos productos o al cobro de regalías derivadas de patentes de procesos biotecnológicos (Altieri, 2001).

El peso de algunas economías basadas en la biotecnología agrícola, ha obligado a otros países, con desarrollo tecnológico menor, a depender de la importación de alimentos. Este fenómeno ha agudizado las diferencias económicas y los países menos favorecidos han tenido que implementar políticas que permitan monitorear y mejorar el balance comercial de sus economías con respecto de sus socios comerciales, con este tenor, se acuñó el término: Soberanía Alimentaria. Este concepto, define que cada país debe tener la capacidad para diseñar sus propias políticas agrarias y alimentarias de acuerdo con los objetivos de desarrollo sostenible y garantizando su seguridad alimentaria (FAO, 2021). Lo que implica, el establecimiento de políticas de protección del mercado doméstico y contra las prácticas de comercio desleal (*dumping*). El concepto, fue introducido a escrutinio, durante la cumbre mundial de la alimentación realizada en Roma en 1996, convocada por la organización para la alimentación y la agricultura (FAO), como contraparte a la visión establecida por la Organización Mundial de Comercio (OMC).

México, es un país deficitario en sus balances comerciales (aunque los últimos tres años han sido pequeños pero positivos) y aunque existen diversas causas de este déficit, Medina-Ramírez (2004) señala que es un proceso histórico en donde existe una falta de inversión privada y pública en investigación, desarrollo tecnológico e innovación.

La dependencia tecnológica, genera un círculo vicioso, porque se dejan de producir los insumos y artefactos necesarios para la producción, al existir en el mercado opciones más baratas y/o más eficientes (Velázquez-Valadez y Salgado-Jurado, 2016). Por lo que, los esfuerzos empresariales por manufacturar bienes o servicios relacionados con la producción agrícola, se topan con la realidad de que sus productos tienen un costo mayor que los importados o que no tienen las características tecnológicas y de calidad, los que los hace menos competitivos. Estos empresarios, ven más lucrativo pasar de manufactureros a importadores, con la consecuente disminución en las fuentes de trabajo (Mac-Carte, 2017, Foladori, 2022).

Las prácticas agrícolas sostenibles deben utilizar al máximo la tecnología, la investigación y el desarrollo, aunque con mucha mayor integración de los conocimientos ancestrales locales que en el pasado. Esto exigirá nuevas y más sólidas alianzas entre las organizaciones técnicas y aquellas orientadas hacia la inversión (FAO, 2015). Con base en la discusión anterior, se puede proponer el desarrollo de la agricultura moderna mexicana con un nuevo enfoque hacia la Biotecnología Agrícola, que a diferencia de la Biotecnología vegetal, no se base exclusivamente en la mejora de las especies vegetales por Ingeniería Genética, sino que, integre también el uso de organismos o partes de organismos, de manera directa o indirecta, la automatización o robótica, la Agricultura de precisión, los Sistemas de riego y drenaje, la fertilización, el control de malezas, la Agricultura protegida e incluso el Fitomejoramiento Clásico con el fin de mejorar los rendimientos de los cultivos ( Shi *et al.*, 2019; Pedro y Rocha, 2019).

La razón de esta diferencia de postura, entre la Biotecnología Agrícola y la Biotecnología Vegetal frente a los mismos retos ambientales a los que se enfrentan los cultivos, es que, la primera considera que en realidad existe ya, una gran variabilidad genética, que permitiría hacer frente a estos retos, solo es cuestión de caracterizar esta variabilidad y optimizar los procesos agronómicos.

En la Biotecnología Agrícola, la caracterización de la resistencia a factores ambientales específicos, intrínseca de las variedades o cultivares de las especies agronómicas (algunas variedades realmente muy antiguas), es fundamental para mejorar los rendimientos. Pero también lo es, la producción de aditivos de origen biotecnológico, que permitan a los cultivos resistir al estrés generado por la variabilidad climática y que se aplican como tratamientos permitiendo aumentar los rendimientos o abatir los costos.

## 2.1.2 Políticas agroalimentarias en México.

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024, busca alcanzar la Autosuficiencia Alimentaria rescatando los sectores agrícolas, pecuarios, pesquero y acuícola, al mismo tiempo eliminar la visión de que el mercado sustituye al Estado asumiendo el principio de economía para el bienestar, apoyando directamente a los productores en sus requerimientos de asistencia de insumos y recursos (Foladori, 2022).

El principio de economía para el bienestar, de la política agroalimentaria, asume la relevancia de los productores de pequeña y mediana escala, quienes constituyen el 85% del total de productores agroalimentarios, generan más del 60% del empleo contratado y son poseedores y garantes de la agrobiodiversidad (SADER, 2020).

El PND reconoce que lograr la autosuficiencia alimentaria requiere del despliegue del potencial productivo de los pequeños y medianos productores, que se caracterizan por una baja productividad, asociada al bajo nivel de activos y a la falta de acceso a tecnología, insumos y servicios estratégicos. Por ejemplo, las grandes Unidades Productivas (UP) pueden llegar a tener un nivel de activos 13.5 veces más grande que las pequeñas, por otra parte, del total de las UP agrícolas únicamente el 28.1 % cuentan con sistemas de riego y sólo el 41.2 % cuenta con asistencia técnica.

Finalmente, es preciso señalar que el bajo nivel de capitalización y de innovación tecnológica es resultado también del insuficiente financiamiento que se destina al sector. Así que, el PND propone seis estrategias prioritarias para el cumplimiento de este objetivo, que están vinculadas al objetivos del desarrollo sostenible, de la Agenda 2030 aprobada por la Organización de las Naciones Unidas: de entre ellas, la tercera, propone la generación de la agricultura del conocimiento, mediante un sistema mejorado de acompañamiento técnico y asistencia especializada, considerando que es necesaria la coordinación entre productores y entidades académicas y de investigación a fin de que las acciones puntuales promuevan la investigación y la generación de conocimiento científico apropiado y relevante para las necesidades de las UP y los productores.

En este contexto, se vuelve relevante el estudio del uso de tecnologías de bajo costo en los procesos agrícolas, a fin de generar transferencia de tecnología accesible y relevante para los productores de pequeña y mediana escala.

## 2.2 Propuestas metodológicas que hacen más eficiente el manejo agronómico.

El manejo agronómico se define como las actividades (labores culturales) que se hacen en un cultivo específico para mejorar la producción y rendimiento por unidad de área, incluye también a las llamadas Buenas Prácticas Agrícolas las cuales, a su vez, son un conjunto de principios, normas y recomendaciones técnicas aplicables a la producción, procesamiento y transporte de alimentos, orientadas a cuidar la salud humana y proteger al medio ambiente (Ferratto *et al.*, 2007)

Usualmente, un ciclo de cultivo, desde el punto de vista fisiológico, cuenta con 4 etapas fenológicas (Figura 1).

- a. Germinación *sensu stricto*- La definición de los fisiólogos considera a la germinación, como el momento de la protrusión de la radícula, tras la ruptura de los tegumentos (Ranal y García, 2006). Por otro lado, los agrónomos consideran que la germinación se completa al momento de la salida de los cotiledones por encima del sustrato.
- b. Emergencia. -Los fisiólogos la consideran como un evento separado de la germinación. Inicia con la exposición de los cotiledones de la testa de la semilla y concluye con la salida de los cotiledones por encima del sustrato de siembra.
- c. Desarrollo vegetativo. -Comienza a partir de la salida de las hojas verdaderas (establecimiento) hasta la aparición del primer botón floral (floración).
- d. Desarrollo reproductivo. – Comienza con la floración y concluye con la aparición de los primeros frutos de la planta (fructificación y llenado).
- e. Maduración y cosecha del fruto. – Se inicia cuando el fruto adquiere la forma, tamaño y color de la variedad.



**Figura 1. Etapas de desarrollo de los cultivos** (Modificado de SENAMHI, 2011).

Existen diferentes técnicas para incrementar el rendimiento de los cultivos en campo abierto, por ejemplo, la fertilización, el manejo adecuado de malezas, el verificado de la calidad de las semillas, el cuidado del suelo y aunque éstos son aplicables para los cultivos en agricultura protegida, en esta última, las técnicas de siembra y tratamientos pre-siembra toman una importancia fundamental, entre ellas el acondicionamiento pregerminativo *priming seed* es una de las más simples y accesibles (Pawar y Laware, 2018).

### 2.2.1 Acondicionamiento pre-germinativo (*Priming seed*)

El *priming seed* (acondicionamiento o pre- acondicionamiento germinativo), son un grupo de técnicas que permiten exponer de manera controlada a las semillas a diversos factores que mejoran la germinación o el establecimiento de las plántulas. El acondicionamiento revigora, acelera y uniforma la germinación (Hacisalihoglu y Rose, 2010), mejora el establecimiento y la productividad de los cultivos en campo (Farooq *et al.*, 2006).

Hay varios tipos de *priming* de semillas que incluyen: i) *hidropriming*, ii) *halopriming*, iii) *osmopriming*, iv) *priming* de matriz sólida, v) *biopriming*, vi) *nutripriming* y vii) *priming* con hormonas, bioestimulantes o reguladores del crecimiento de las plantas (Sher *et al.*, 2019). Sin embargo, es importante señalar que se desconocen los mecanismos de acción exactos de cada una de las estrategias por separado y no existe consenso en las condiciones experimentales entre los autores que han investigado su efecto en *Capsicum chinense*.

### 2.2.2 Bioestimulantes vegetales.

Dentro del *primming* mediado con hormonas, se ha propuesto el uso de bioestimulantes. Para distinguir los bioestimulantes de otros productos reguladores existentes, Yakhin *et al.*, (2017) propusieron la siguiente definición: "un producto formulado de origen biológico que mejora la productividad de la planta como consecuencia de las propiedades nuevas o emergentes del complejo de constituyentes y no como una única consecuencia de la presencia de nutrientes vegetales esenciales conocidos, reguladores del crecimiento de las plantas o compuestos protectores de las plantas ". La definición proporcionada aquí, enfatiza el principio de que la función biológica se puede modular positivamente mediante la aplicación de moléculas o mezclas de moléculas, para las cuales no se ha definido un modo de acción explícito. Por otro lado, el término reguladores de crecimiento o fitoreguladores engloba a cualquier compuesto orgánico natural o de síntesis que, en pequeñas cantidades, promueva, inhiba o modifique cualitativamente el crecimiento y desarrollo de la planta de forma similar a como lo hacen las fitohormonas.

Los bioestimulantes tienen una composición muy heterogénea y pueden incluir hormonas vegetales o sustancias similares a las hormonas, sustancias húmicas, compuestos fenólicos, glicósidos de furostanol, esteroides, etc. (Yakhin *et al.*, 2017). Sin embargo, en general, de acuerdo a su origen se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- a) Ácidos húmicos y fúlvicos
- b) Extractos de algas y de plantas
- c) Quitosanos y otros biopolímeros
- d) Microorganismos (bacterias y hongos)
- e) Aminoácidos y mezclas de péptidos

En particular, los aminoácidos y mezclas de péptidos, se obtienen a partir de la hidrólisis química o enzimática de proteínas procedentes de productos agroindustriales, tanto vegetales (residuos de cultivos) como animales (colágenos, tejidos epiteliales, etc.). Otras moléculas nitrogenadas también consideradas bioestimulantes incluyen a las betaínas, poliaminas y aminoácidos no proteícos, que son muy diversas en el mundo vegetal y muy poco caracterizados sus efectos beneficiosos en los cultivos (García, 2017; Du Jardin, 2015). Estos compuestos pueden ser tanto sustancias puras como mezclas que es lo más habitual.

### 2.3 El chile habanero Jaguar. *Capsicum chinense* Jacq.

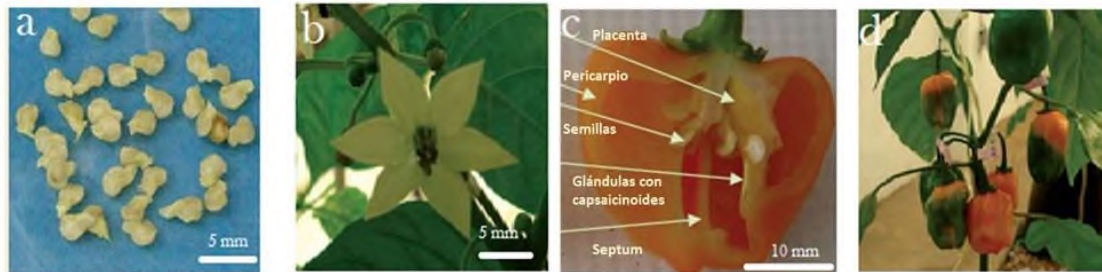
El género *Capsicum*, está constituido por alrededor de 35 especies (Carrizo-García *et al.*, 2013), todas son originarias de América; junto con el maíz, el frijol y la calabaza, es una de las plantas cultivadas más antiguas en América (Hernández-Verdugo *et al.*, 2010). Este género se extendió desde la época precolombina desde el borde más meridional de los Estados Unidos, a la zona templada-cálida del sur de Sudamérica (Heiser, 1964). Los datos disponibles sobre la domesticación dentro del complejo *C. annum*, indican que la especie, se domesticó en México, mientras que *C. chinense* (chile habanero) en la Amazonía. Ésta última especie, aparentemente, prosperó en un área con características ambientales parecidas a las de *C. frutescens* (chile manzano), de allí su similitud. Estos datos, se refuerzan con el hecho, de que no se registran materiales silvestres de *C. chinense* en México, éstos se encuentran en Perú, Ecuador y Brasil (Pickersgill, 1984). La distribución del chile habanero desde su centro de origen ha sido estudiada y se han encontrado registros arqueológicos de entre los 250 a 1000 D.C, esta especie estaba distribuida entre lo que hoy es Puerto Rico, Haití, República Dominicana y Venezuela (Andrews, 1995). El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq), específicamente, fue caracterizado por Smith y Heiser en 1957 (Tabla 1).

**Tabla 2 Clasificación taxonómica de *Capsicum chinense* Jacq**

<b>Reino:</b> Plantae.
<b>Sub reino:</b> Tracheobionta.
<b>Super division:</b> Spermatophyta.
<b>División:</b> Magnoliophyta
<b>Subclase:</b> Asteridae
<b>Orden :</b> Solanales
<b>Familia :</b> Solanaceae
<b>Género:</b> <i>Capsicum</i>
<b>Especie:</b> <i>chinense</i>

El chile habanero, es una planta de ciclo anual, que puede alcanzar hasta 12 meses de vida adicionales, dependiendo del manejo agronómico. Su altura oscila de 75 y 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. Las flores se presentan solitarias o en grupos de dos o más en cada una de las axilas y son blancas, los pétalos de la corola usualmente rectos; anteras de color violeta a azul, raramente amarillas. Su tamaño varía entre 1.5 y 2.5 centímetros de diámetro de la corola (Smith y Heiser, 1957).

El fruto del chile habanero es una baya hueca en forma de trompo, poco carnosa, con dos y hasta ocho hojas modificadas, que constituyen el aparato reproductor femenino de la flor y se denominan carpelos. Los frutos son pendientes, persistentes, de colores café rojo, melocotón, amarillo naranja, amarillo limón, de varias formas. Las semillas son de color crema a amarillo (Figura 2) (Pickersgill, 1984; Ruíz-Lau *et al.*, 2011).



**Figura 2. Aspectos morfológicos de *Capsicum chinense* Jacq.** a) Semillas; b) flor; c) corte transversal de un fruto que muestra las estructuras internas y d) frutos. (Modificado de Ruiz-Lau *et al.*, 2011).

En México, el tipo más representativo de *Capsicum chinense* es el chile "habanero", que se siembra principalmente, en la Península de Yucatán (FAOSTAT, 2014; Medina-Martínez, 2002). En el 2010, se obtuvo la denominación de origen para dos de sus variedades: Jaguar y Mayapam (SNICS, citado en: Pérez, 2015). También se encuentra incorporado a las gastronomías tradicionales de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, por lo que eventualmente, se convirtieron en los mayores productores nacionales de esta hortaliza. Sin embargo, la demanda ha promovido su cultivo en Tabasco, Jalisco, Veracruz, Baja California Sur, San Luis Potosí, Chiapas, Sonora, Michoacán, Nayarit, Sinaloa, Chihuahua y Colima.

El chile habanero tiene un gran potencial económico (SIAP, 2021) a diferencia de otros cultivos no tiene fluctuaciones de precio muy marcadas (Castellanos y Borbón, 2009). Entre el 2008 y el 2010, mantuvo un precio promedio de \$37.48MXN/kg (SIAP) y durante el año 2019, el precio al mayoreo, del chile habanero, fluctuó entre los \$35-\$45.00 MXN y en los primeros meses del 2020 se ha mantenido entre \$45 y \$160 MXN (SIAP, 2021). En años recientes, se ha incrementado la demanda de chile habanero fresco y procesado en el mercado local, nacional y extranjero especialmente por su alto contenido de capsaicina, que permite su uso en aplicaciones alimentarias, farmacológicas, militares, etc. (Cardona *et al.*, 2006).

En México, el estado de Yucatán ocupa el primer lugar como productor de chile habanero (González *et al.*, 2006). El sistema tradicional de siembra es a cielo abierto, sin embargo, numerosos factores afectan la rentabilidad del cultivo, principalmente las plagas (Lugo-Jiménez *et al.*, 2010) y los eventos meteorológicos.

Debido a esto, en los últimos años, se ha estimulado su producción en agricultura protegida (Macías-Rodríguez *et al.*, 2013).

### 2.3.1 Aspectos agronómicos de *Capsicum chinense* Jacq.

El óptimo desarrollo del cultivo de chile habanero (*C. chinense*), se presenta en zonas templadas, subtropicales y tropicales con altitudes que oscilan entre 0 y 2700 msnm (Macías-Rodríguez *et al.*, 2013). Se desarrolla en un rango de precipitación óptima de 600 a 1250 mm (FAOSTAT, 2014). Sin embargo, estos valores cambian de acuerdo a la variedad que se cultive y la adaptabilidad que presente (FAOSTAT, 2014). El chile habanero es una hortaliza de clima caliente, los rangos de temperatura en que se desarrolla de forma normal son: mínima 10°C, máxima 35°C y óptima de 30 °C. Las temperaturas menores de 10°C y mayores a 35°C limitan el desarrollo del cultivo (Villa-Castorena *et al.*, 2014).

Este sistema implica un aumento en los gastos de producción debido a que se siembra una gran cantidad de semillas que luego de la emergencia o establecimiento pueden ser seleccionadas por despunte o eliminación de las plántulas retrasadas. De acuerdo con lo anterior, se deduce que la germinación de la semilla y la emergencia de la plántula, son etapas críticas para el desarrollo de *C. chinense*. El éxito, sobrevivencia y productividad del cultivo depende del crecimiento y una adecuada diferenciación de su sistema radicular durante las primeras etapas fenológicas. Adicionalmente, durante este período, casi cualquier daño ocurrido a la plántula incrementa la mortalidad (Pascual-Morales *et al.*, 2012; Córdoba-Rodríguez *et al.*, 2011; Misti-Fertilizantes, 2010).

Algunos autores mencionan que, las semillas en general, muestran diferencias en su capacidad germinativa entre poblaciones y aún entre individuos. Algunas de estas variaciones, son atribuidas a características genéticas (Moo-Muñoz *et al.*, 2016; Garruña-Hernández *et al.*, 2014) y otras son inducidas por el medio ambiente (Gamboa-de Buen *et al.*, 2006; Moo-Muñoz *et al.*, 2016; Ayala-Villegas, 2012; Ranal y García de Santana, 2006), por lo que la tasa de germinación y el establecimiento de la plántula en el campo se consideran indicadores de desempeño agronómico.

En especies silvestres, los indicadores tasa de germinación y establecimiento, se mantienen altos debido a que muestran una amplia diversidad genética, que les proporciona a las plántulas, una gran adaptabilidad ambiental. Sin embargo, cuando se emprende su domesticación esta variabilidad se acota, por lo que, al enfrentar modificaciones en las condiciones ambientales, se alarga el tiempo de germinación y la tasa de

germinación disminuye (Hernández-Verdugo *et al.*, 2010; Medina-Martínez *et al.*, 2002; Medina-Martínez *et al.*, 2010). Este aumento en el tiempo o la disminución en la capacidad para germinar, aún bajo condiciones nutricionales o ambientales favorables, se denomina latencia (Foley y Fennimore, 1998).

Durante el proceso de domesticación, se ha procurado seleccionar semillas con niveles de latencia reducidos de acuerdo a ciertas condiciones medio ambientales. Sin embargo, aunque estas semillas germinan más rápido que sus antecesores semi-silvestres (Kilian *et al.*, 2009), las plantas resultantes generan semillas de menor calidad o están expuestas al brotado precosecha, lo que puede causar la pérdida del cultivo (Gubler *et al.*, 2005), por lo que, cierto grado de latencia, puede ser una característica deseable.

Existen diferentes clases de latencia en las semillas: la latencia física, fisiológica, morfológica y morfofisiológica (Graeber *et al.*, 2012). Las semillas pueden liberarse de la latencia física y morfológica removiendo los tejidos que cubren al embrión y le impiden el ingreso de agua, esto se logra mediante tratamientos físicos (escarificación), químicos, una combinación de ambos o la exposición a fitohormonas (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006).

No se han reportado los volúmenes de hidratación o el tiempo exacto de imbibición (completa hidratación de la semilla) de *C. chinense*, pero, en *C. annuum*, Cano-Vázquez *et al.*, en 2015, determinaron el porcentaje de humedad e infirieron que la imbibición máxima se alcanza a las 24 horas. Si se toma este dato como referencia y se le resta al tiempo necesario para la germinación de la semilla de *C. chinense*, (8 a 12 días, a 30°C) el tiempo necesario para salir de la latencia sería entre 7 y 12 días.

En varios cultivos, se ha observado que semillas provenientes de frutos almacenados durante periodos largos, se incrementa la latencia fisiológica y que los mejores porcentajes de germinación se obtienen de semillas de frutos cosechados recientemente. En *C. chinense*, una gran cantidad de productores han reportado, que después de almacenar a las semillas, la velocidad y el porcentaje final de germinación disminuyen considerablemente (Garruña-Hernández *et al.*, 2014). Además, algunas variedades, presentan asincronía en la germinación, aunque se utilicen planta mejoradas por hibridación (Santos *et al.*, 2015) y la pérdida de viabilidad en las semillas durante el almacenamiento y el manejo es uno de los principales problemas de este cultivo y existen escasos estudios enfocados a resolverlo (Garruña-Hernández *et al.*, 2014) aunque los autores reconocen que en el cultivo del género *Capsicum*, la calidad de la semilla representa el inicio de un cultivo rentable (Moo-Muñoz *et al.*, 2016; Ayala-Villegas, 2012; Garruña-Hernández *et al.*, 2014). Estos académicos o investigadores han generado algunas alternativas para resolver los problemas antes mencionados, entre

ellos se encuentra el uso de semilla certificada de las principales variedades. En este sentido, el INIFAP y SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas), se han abocado a la recolección y resguardo de variedades e híbridos de gran vigor, aunque su siembra se concentra en la península de Yucatán.

Otra alternativa es la implementación de estrategias de agricultura protegida. La agricultura protegida es aquella que se realiza bajo estructuras construidas con la finalidad de evitar las restricciones que el medio impone al desarrollo de las plantas cultivadas (Huerta-Hernández, 2010). En este sentido, la agricultura protegida, proporciona a las plantas, un ambiente protegido contra la alta intensidad de la luz solar, lluvias torrenciales y vientos intensos; así como la exclusión de los insectos y de otro tipo de plagas del área de crecimiento (Vara-Moreno, 2012). Estos atributos convierten a este sistema, en una buena opción de cultivo en climas tropicales y sub tropicales.

Macías-Rodríguez *et al.* (2013), analizaron los resultados de un programa que, implementó áreas de agricultura protegida, en los estados de Yucatán y Quintana Roo. Concluyeron que los precios eran suficientes para amortizar la inversión inicial. Aunque, enfatizaron que hace falta estudiar, la optimización de los espacios y los mecanismos de producción, sin aumentar demasiado los costos.

Lo mencionado anteriormente es sumamente importante, debido a que en los espacios destinados a agricultura protegida el tiempo es literalmente dinero, por lo que se deben generar estrategias que permitan optimizar la producción y estandarizar los costos y los tiempos de ocupación de los módulos de agricultura protegida, de tal manera que los ciclos productivos se reduzcan y permitan maximizar las ganancias obtenidas en las áreas de producción (Macías-Rodríguez *et al.*, 2013; Vara-Moreno, 2012).

Otra alternativa, consiste en el uso de promotores de la germinación. Sin embargo, se requiere de un grado de capacitación muy alto en la dosificación y aplicación, ya que algunos promotores tienen efectos diferentes a concentraciones diferentes, adicionalmente, los productos pueden generar daños toxicológicos a los cultivos y/o al personal ocupacionalmente expuesto.

## 2.4 Investigación experimental.

### 2.4.1 La estrategia experimental.

La estrategia experimental es una serie de acciones planificadas, que permiten determinar el efecto de entre las variables de un fenómeno estudiado, mediante, la manipulación directa de las variables independientes,

midiendo su efecto sobre las variables dependientes y ejerciendo control sobre aquellas potencialmente contaminadoras de los resultados (variables extrañas).

En esta estrategia se deben incluir los mecanismos de control de variables extrañas, así como las herramientas de análisis matemático o estadístico que permitan probar las relaciones causales entre las variables. Dentro de estas herramientas se encuentra el diseño experimental (DoE).

El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una (DoE unifactorial) o más variables (DoE multifactorial), vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés.

### **Diseños experimentales de comparación de grupos.**

En este diseño experimental están implicados los supuestos básicos del método experimental, pero su estructura concreta y por tanto las diferentes denominaciones, varían en función de los procedimientos concretos que haya escogido el investigador.

La estructura interna de los diseños experimentales surge por las decisiones tomadas en torno a cuatro dimensiones básicas que se combinan entre sí:

1. Estrategia univariada o multivariada
2. Estrategia simple (unifactorial) o multifactorial
3. Estrategia inter-sujeto o intra-sujeto.
4. Estrategia de aleatorización completa (simple) o con restricciones

La disyuntiva entre univariada o multivariada está vinculada a la variable dependiente, es decir a la variable en la que se constata, a través de su medida, el efecto de la variable independiente. Si la variable dependiente es única, se trata de un diseño univariado o univariable. Si la influencia o el efecto de la variable independiente se realiza a través de las medidas de distintas variables dependientes, entonces hablamos de un diseño mutivariado o multivariable.

Otro elemento crítico para la diferenciación entre los diseños experimentales está marcado por el número de variables manipuladas (variables independientes o factores), distinguiéndose básicamente entre diseños simples o unifactoriales y diseños multifactoriales. El diseño unifactorial, sólo se manipula solo una variable independiente, mientras se controlan las variables que pudieran contaminar los resultados, el efecto de esta variable única se operativizará en un número determinado de valores o niveles, que a su vez generan el mismo número de condiciones experimentales o de tratamientos a aplicar a los sujetos del estudio. En su

forma más sencilla incluye sólo dos condiciones experimentales diferentes, una que incorpora la presencia o actuación de la variable independiente y otra con la ausencia de la misma que actúa como control o testigo.

En los diseños multifactoriales, se manejan simultáneamente dos o más variables independientes. Estas proporcionan información no sólo sobre los efectos específicos de cada una de las variables manipuladas, sino de su posible efecto combinado o de interacción.

El tercer criterio, si sometemos grupos diferentes de sujetos a las distintas condiciones experimentales, para poder comparar sus medidas en la variable dependiente y de esa forma valorar el efecto de la variable independiente, estamos utilizando la estrategia intersujeto. Esta estrategia se basa en el supuesto de que estos grupos son inicialmente equivalentes (antes de aplicar las condiciones experimentales), de forma que sus diferencias después de los tratamientos se puedan atribuir inequívocamente a la variable independiente. La estrategia básica para conseguir esta equivalencia inicial de los grupos es la aleatorización.

En la estrategia intrasujeto, la igualdad o equivalencia inicial de las condiciones se garantiza, debido que todos y cada uno de los sujetos de la muestra recibe la aplicación de forma sucesiva de todas las condiciones experimentales. Cada sujeto actúa como control o referencia de sí mismo, de forma que el mismo grupo de sujetos nos proporciona una serie de medidas cuyas diferencias podrán ser atribuidas inequívocamente al efecto de los distintos niveles de la variable independiente. Esta aplicación en serie de todos los tratamientos a cada sujeto puede generar por sí misma efectos contaminantes que distorsionen el efecto de la variable independiente y deberán ser controlados con los procedimientos adecuados.

#### 2.4.2 Optimización.

Optimización hace referencia a la acción y efecto de optimizar. En términos generales, se refiere a la capacidad de hacer o resolver alguna cosa de la manera más eficiente posible y en el mejor de los casos, utilizando la menor cantidad de recursos.

El sentido de optimización se presenta aquí como maximización, pero también podría ser minimización, con el cambio apropiado en el significado de solución óptima.

En el caso de la optimización, este también se puede realizar con una perspectiva unifactorial o multifactorial.

#### **Optimización en una variable.**

DEFINICIONES BÁSICAS Si  $f(x)$  tiene dominio  $D$  entonces:

$c$  es un máximo de  $f(x) \Leftrightarrow f(x) \leq f(c)$  para todo  $x \in D$ .

$D$  es un mínimo de  $f(x) \Leftrightarrow f(x) \geq f(d)$  para todo  $x \in D$ .

Se conocen como puntos óptimos y valores óptimos, indistintamente

Definición:

$x_0$  es un punto estacionario de  $f$  si  $f'(x_0) = 0$

### **CONDICIONES NECESARIA Y SUFICIENTE DE ÓPTIMO**

Puntos extremos de una función

Si una función  $f$  está definida y es continua en un intervalo acotado  $I$ , sus puntos extremos serán uno de los tres tipos siguientes:

1. Puntos interiores de  $I$  donde  $f'(x) = 0$ .
2. Los dos extremos de  $I$ , si éste los incluye.
3. Puntos de  $I$  en los que no exista  $f'$

Definición

$x_0$  es un punto estacionario de  $f$  si  $f'(x_0) = 0$

#### **Teorema (El test de la primera derivada).**

Sea  $f$  definida y continua en un intervalo  $I$ ,

Si  $c \in I$  es un máximo o un mínimo local entonces  $f'(c) = 0$

#### **Teorema (El test de la derivada segunda)**

Sea  $f$  una función derivable dos veces en un intervalo  $I$ .

Supongamos que  $c$  es un punto interior de  $I$ .

1. Si  $f'(c) = 0$  y  $f''(c) < 0$  entonces  $c$  es un máximo local estricto.
2. Si  $f'(c) = 0$  y  $f''(c) > 0$  entonces  $c$  es un mínimo local estricto
3. Si  $f'(c) = 0$  y  $f''(c) = 0$  entonces no tenemos bastante información

### Cálculo de los puntos óptimos

Por tanto, para calcular los valores máximo y mínimo que toma la función  $f(x)$  en un intervalo  $[a, b]$  se procedería siguiendo el esquema:

1. Se calculan los puntos interiores de  $I$  donde  $f'(x) = 0$  y se clasifican en máximos y mínimos utilizando el criterio de la derivada segunda.
2. Se calculan los valores  $f(a)$  y  $f(b)$ , si el intervalo es cerrado.
3. Se calcula el valor de  $f$  en los puntos de  $I$  en los que no exista  $f'$ .
4. El valor más alto de todos ellos sería el máximo absoluto de la función y el menor sería el mínimo absoluto de la función

## 3. ANTECEDENTES.

Se ha reportado que existe respuesta germinativa de diversos chiles silvestres y criollos bajo estrés por sequía simulada con polietilenglicol (osmopriming), entre los que se encuentra, *C. chinense* (Bernau *et al.*, 2020). En otros estudios se determinó que el acondicionamiento con  $KNO_3$  de semillas de *C. chinense* incrementó el porcentaje de germinación y permitió obtener plántulas adecuadas para el trasplante (Meneses-Lazo *et al.*, 2018); Garruña-Hernández *et al.*, 2014). Adicionalmente, en este mismo estudio se verificó que el Ácido abscísico (ABA), una hormona involucrada en la respuesta a estrés hídrico, también tenía un efecto sobre el establecimiento de las plántulas.

Por ejemplo, en el paquete tecnológico “Tecnología comercial de chile habanero” (Prado, 2006), se sugiere, para reducir los efectos del deterioro por mal manejo (envejecimiento), el acondicionamiento de las semillas con BIOZYME® TF, un regulador del crecimiento vegetal de uso comercial que contiene Zeatina (0,0094%) p/v, Giberelinas (0,0036%) p/v y Auxinas (0,0036%) p/v, puede inducir una germinación de entre el 22 y el 24%.

### 3.1 Glucocininas.

Las glucocininas fueron descubiertas en mamíferos, son pequeños péptidos que regulan diferentes actividades metabólicas, entre ellas la translocación de carbohidratos. El nombre glucocinina, fue sugerido por su descubridor el doctor J.B. Collip, como un término más apropiado para referirse a estas moléculas, basándose en su actividad metabólica y no en su origen. En el artículo titulado “Glucokinine, a new hormone

present in plant tissue” se describen experimentos en conejos normales y perros sin páncreas, obteniendo una disminución apreciable en los niveles de glucosa en la sangre de estos animales (Collip, 1923).

En cambio, el efecto de las glucocininas animales en plantas, no se encuentra bien caracterizadas, pero se sabe que, en espinaca y en soya se encontró un péptido de aproximadamente 4 KDa (Collier *et al.*, 1987; Hanada y Hirano, 2004) que se sabe que participa en la conversión de grasas a carbohidratos, mediante la activación de enzimas glioxisomales en girasol, melón y calabaza (Goodman y Davis, 1993). Posteriormente se demostró que, regulan la expresión de genes relacionados con la proliferación a través de vías específicas de señalización celular (Sánchez de Jiménez *et al.*, 1999; Oliveira *et al.*, 2004; Sangeetha y Vasanthi, 2009; Pascual-Morales *et al.*, 2012; Avila-Alejandre *et al.*, 2013).

También se han realizado estudios en semillas de frijol, donde se caracterizó un IGF que participa en el transporte de azúcares en la semilla durante la germinación (Oliveira *et al.*, 2004). La glucocinina aislada de maíz se denominó ZmIGF (por siglas en inglés *Zea mays* insulin-like growth factor). Se encuentra ubicado principalmente en las zonas meristemáticas, lo que sugiere que participa en la división celular y el crecimiento (Rodríguez-López *et al.*, 2011).

Los primeros estudios acerca del efecto de las glucocininas, se realizaron en maíz por lo que hay mayor información disponible. Las semillas de maíz expuestas a glucocininas mostraron que, durante la germinación, estimulan el crecimiento de las raíces y las puntas, al parecer, con un mecanismo relacionado con un uso más eficiente del endospermo (Eyster y Ellis, 1924) y con la estimulación de la proliferación celular por la vía de TOR (Avila-Alejandre *et al.*, 2013). Aunque, también se han localizado glucocininas, en los cloroplastos de *Bauhinia variegata*, por lo que se les atribuye un papel en la hidrólisis del almidón y en su conversión a hexosas, que son transportadas al citosol mediante un traslocador de glucosa (Azevedo *et al.*, 2006).

Las glucocininas de origen animal (Goa), también estimulan el crecimiento de la raíz primaria, el número de pelos radiculares tanto de raíz primaria como de las raíces laterales y el desarrollo vegetativo y reproductivo en *Arabidopsis thaliana* (Pascual-Morales *et al.*, 2012).

El grupo de trabajo de la Dra. Sánchez de la UNAM, a partir de embriones de maíz, aisló una glucocinina denominada ZmIGF, la cual estimula la germinación y la biogénesis de ribosomas (Rodríguez-López *et al.*, 2011). Adicionalmente, demostraron que una Goa, estimula en maíz, el crecimiento, la germinación y la fosforilación de la proteína ribosomal S6 y que esta fosforilación se puede inhibir con la adición de los inhibidores wormanina y rapamicina (Sánchez de Jiménez *et al.*, 1999; Pascual-Morales *et al.*, 2012; Avila-Alejandre *et al.*, 2013). Adicionalmente, estudios en *Arabidopsis thaliana*, han mostrado que se pueden usar

los inhibidores LY294002 o a UO126, con el fin de evidenciar la participación de la vía de transducción de señales MAP cinasa-cinasa la participación de la vía IP3K/AKT en la inducción de la germinación y el desarrollo del sistema radicular (Pascual-Morales *et al.*, 2012).

En semillas de maíz, el ZmIGF también acelera la germinación y el crecimiento de las plántulas y promueve el paso de la fase G1 a S en de células de maíz en cultivo, lo que se puede correlacionar con el incremento en la expresión de genes que participan en esta fase como: PCNA, Ciclina D1 y el factor de transcripción E2F (Rodríguez-López *et al.*, 2011; Sotelo *et al.*, 2010; García Flores *et al.*, 2001). Este efecto está acompañado de la estimulación de la síntesis *de novo* de proteínas (Paz Lemus, 2005).

## 4. JUSTIFICACIÓN

La agricultura protegida (AP) es un método de producción altamente eficiente, proporciona a las plantas, un ambiente protegido contra la alta intensidad de la luz solar, lluvias torrenciales y vientos intensos; así como la exclusión de los insectos y de otro tipo de plagas (Vara-Moreno, 2012). Desafortunadamente, su implementación es cara y requiere de un nivel técnico muy alto; por lo que la apropiación de esta tecnología por parte del pequeño productor se dificulta.

El planteamiento de los objetivos del desarrollo sostenible en 2015, promovió una reconversión de los sistemas productivos hacia una agricultura sustentable (FAO, 2015), lo que ha diversificado las prácticas agrícolas en los países en desarrollo. En México, el Plan de Desarrollo Nacional 2019-2024, propone la agricultura del conocimiento como estrategia prioritaria para el desarrollo agrícola nacional y la Seguridad alimentaria.

El chile (*Capsicum*) es una de las hortalizas más importantes en México. En particular, *Capsicum chinense* o chile habanero es una de las especies más rentables. Sin embargo, su cultivo presenta diversos desafíos, entre los que destacan: la pérdida de viabilidad de las semillas, los bajos niveles de establecimiento de las plántulas, lento desarrollo temprano y la susceptibilidad a plagas en todas las etapas de desarrollo. En los últimos años, el cultivo del chile habanero ha migrado al sistema de cultivo bajo cubierta. Entre las tecnologías utilizadas de AP para el cultivo de *Capsicum chinense* reportadas en la literatura especializada se incluyen: el uso de semillas de alta calidad y productividad, la siembra en módulos de cultivo y la adición de reguladores del crecimiento. Sin embargo, aún no se ha profundizado del todo en la optimización de los factores del cultivo en la AP, tales como la caracterización de los tiempos en que se completan las diferentes etapas fenológicas, las exigencias hídricas para cada una de estas etapas y los efectos específicos de los reguladores del crecimiento en las etapas fenológicas, así como el impacto que tendrán sobre la productividad final del cultivo.

En el presente trabajo se desarrolló una propuesta de paquete tecnológico, que incluya algunos elementos de AP que favorezcan el óptimo tiempo de desarrollo, pero que no requieran de un alto grado de tecnificación, con el objeto de que se incorpore con facilidad a las prácticas de los agricultores del sureste del país. La propuesta para la siembra de *Capsicum chinense* incluyó la construcción y uso de germinadores los cuales, en principio, se usaron para caracterizar las etapas fenológicas de *C. chinense* bajo diferentes regímenes de imbibición durante la germinación (*priming* hídrico) con el fin de obtener las condiciones

óptimas de crecimiento y finalmente para después de la adición del bioestimulante glucocinina de origen animal (Goa) y verificar su impacto en la producción de plántulas establecidas.

## 5. OBJETIVOS.

### OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el efecto de una glucocinina de origen animal (Goa) en la Germinación, Emergencia y Establecimiento de *Capsicum chinense* Jacq var Jaguar.

### OBJETIVOS PARTICULARES.

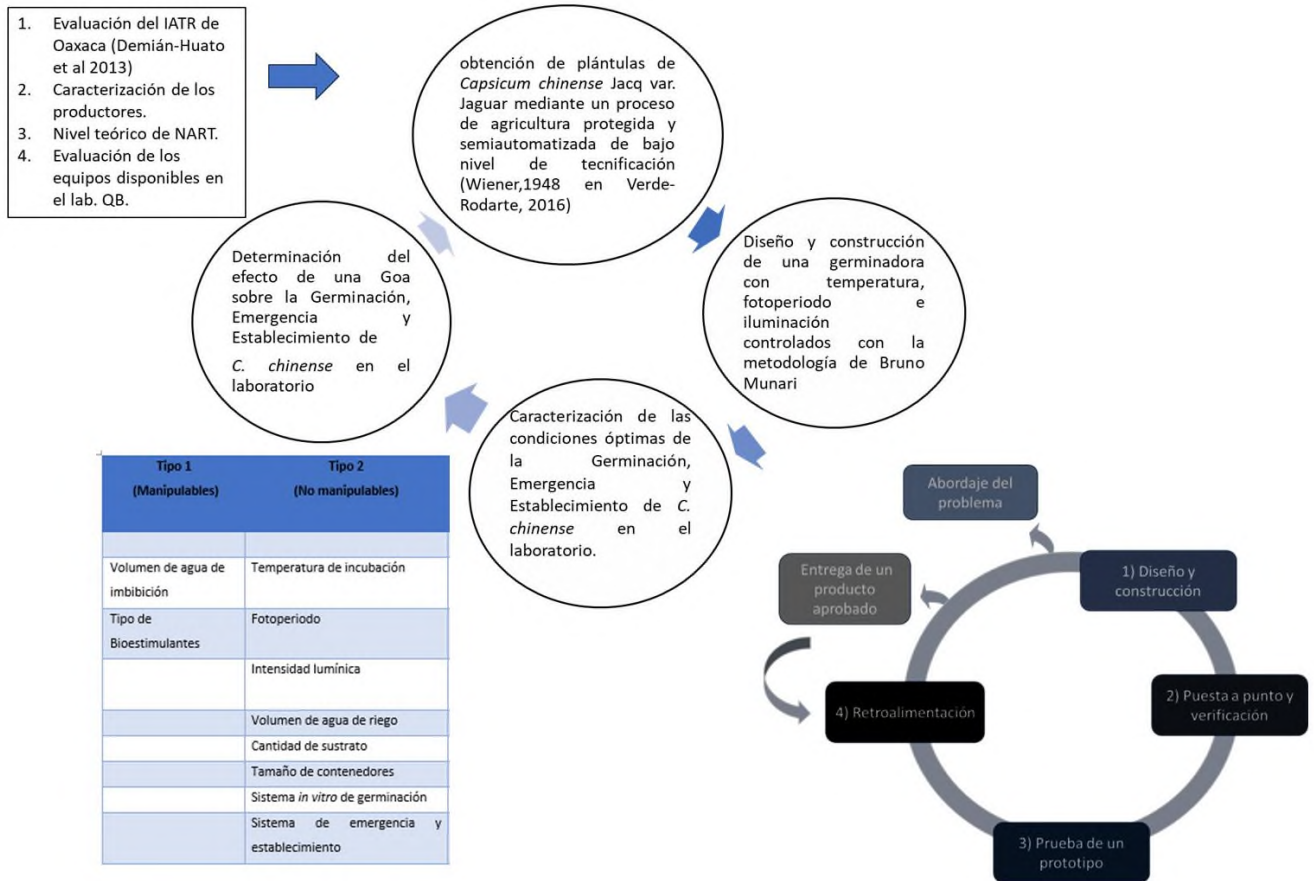
1. Diseñar una propuesta teórica para el desarrollo de una estrategia de cultivo acorde a las condiciones de apropiación tecnológica de la Cuenca del Papaloapan que permita disminuir el tiempo de obtención de plántulas de *Capsicum chinense* Jacq var. Jaguar.
2. Diseñar, construir y verificar un germinador con temperatura, fotoperiodo e iluminación controlados.
3. Caracterizar de las condiciones óptimas de Germinación, Emergencia y Establecimiento de *C. chinense* bajo condiciones de agricultura protegida.
4. Determinar el efecto de una Goa sobre la Germinación, Emergencia y Establecimiento de *C. chinense* bajo condiciones de agricultura protegida.

## 6. HIPÓTESIS

La aplicación de un tratamiento combinado de 'hidroprimming' y exposición a glucocininas permitirá reducir de manera significativa el tiempo al cual el 90% de las plantas de *Capsicum chinense* Var. Jaguar se han establecido (TEst90) bajo condiciones de agricultura protegida

## 6. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UNA GLUCOCININA DE ORIGEN ANIMAL (GOA) SOBRE LA GERMINACIÓN, LA EMERGENCIA Y EL ESTABLECIMIENTO DE *Capsicum chinense* Jacq.



## 7. MATERIALES Y MÉTODOS.

Los materiales y métodos utilizados en cada caso se describen ampliamente en el artículo publicado o borrador correspondiente, aunque, se hacen pequeñas especificaciones en los comentarios previos de cada artículo.

### 7.1. Análisis matemático y estadístico.

#### 7.1.1 Artículo 1

Para determinar la utilidad de los diferentes prototipos, se estableció previamente que el rango de temperatura debía estar entre los 27.5 y 30 °C. Por lo que, los esfuerzos de diseño se dirigieron a mantener la operación en este rango de temperaturas y todas las modificaciones se encaminaron a esto, por lo que se evaluó la variación, mediante desviación estándar, de la temperatura en este rango.

Para evaluar el desempeño del germinador se calculó:

El rendimiento energético durante el arranque mediante el cálculo del calor del sistema (Q), con la siguiente fórmula.

$$Q = m C_s (T_2 - T_1)$$

Donde: m= masa promedio del aire dentro del germinador; Cs= calor específico del aire a 34.5 °C; T2= temperatura final; T1= temperatura inicial.

El valor de Q se relacionó con la potencia eléctrica consumida por la resistencia del elemento calefactor (bombilla para el germinador, resistencia enchaquetada para la incubadora Felisa) de la siguiente forma:

$$Q_{abs}/W(\text{suministrado}) = \text{rendimiento}$$

Donde:  $Q_{abs}$ = es el calor necesario que se suministra a la masa de aire dentro de la incubadora o el germinador para elevar su temperatura;  $W(\text{suministrado})$ = es la potencia eléctrica que se necesita para generar el calor  $Q_{abs}$ .

Para determinar la eficiencia del germinador (Eta), se calculó la razón entre la potencia obtenida y la potencia suministrada.

$$\text{Eta} = p_o / p_s$$

$$\text{Eta} [\%] = (p_o / p_s) * 100$$

Donde:  $p_o$  = es la potencia obtenida;  $p_s$  = es la potencia suministrada.

Para probar su desempeño se realizó un ensayo piloto de germinación con el prototipo útil 3.1, con las siguientes condiciones: temperatura de  $29 \pm 0.5$  °C, la intensidad de luz en 700 lux, fotoperíodo en 12 h luz/12 h oscuridad y la fuente de variación fue el volumen de agua de imbibición en el tratamiento de pre-acondicionamiento.

Se calculó el promedio y la desviación estándar de la germinación acumulada y se compararon las medias mediante ANOVA de una sola vía ( $p \leq 0.5$ ) y se determinó el mayor efecto de la fuente de variación (volúmenes de agua), sobre el porcentaje máximo de germinación mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.5$ ) y se calculó el coeficiente de correlación de Pearson ( $p \leq 0.5$ ) al 9 día posterior al inicio de la imbibición (DPII).

#### 7.1.2 Artículo 2.

Se calculó el promedio y desviación estándar de la Capacidad total de germinación o porcentaje total acumulado de germinación (CTG%).

$$CTG \% = (nFPR/n) * (100)$$

Donde: nFPR= radícula saliente final al 9 DPII; n=número de semillas utilizadas por repetición.

Tiempo inferido para alcanzar 50% de germinación ( $GT_{50}$ ) y 90% de germinación ( $GT_{90}$ ). Se calculó mediante la prueba PROBIT utilizando el valor de germinación acumulada.

Porcentaje total de emergencia o porcentaje acumulado de emergencia (CE%).

$$CE \% = (Ntsec/ N) * (100)$$

Donde: nTSEC= número de plántulas totales con cotiledones emergidos a 15 DPII; n= número de semillas utilizadas por repetición.

El ET90: momento en que ha emergido el 90% de las plántulas, se calculó mediante la prueba PROBIT utilizando los valores de emergencia acumulados.

Longitud acumulada de la radícula (CRL).

$$CRL = \sum RL/n$$

Donde:  $\sum RL$  = suma de la longitud de la radícula en el tiempo determinado; n= número de semillas con al menos 1 mm de longitud de radícula saliente.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, se compararon las medias mediante ANOVA de una sola vía ( $p \leq 0.5$ ) y se determinó el mayor efecto de la fuente de variación (volúmenes de agua), sobre el porcentaje máximo de germinación mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.5$ ) al día 9DPH para la germinación, al 15 DPH para emergencia. Adicionalmente se calculó el coeficiente de correlación de Pearson ( $p \leq 0.5$ ), al día 9 DPH para la germinación, al 15DPH para emergencia ( $p \leq 0.05$ ). Todos los análisis estadísticos se realizaron en el software Minitab® (Minitab 17 Inc. para Windows 2007), State College, Pennsylvania, EE. UU. Los gráficos se hicieron utilizando Office Excel 2016 (ver. 1611).

Se analizan los resultados de germinación, emergencia y establecimiento en función de los niveles de volumen de agua de imbibición durante el pre-acondicionamiento. Esto se realizó con el cálculo de la primera derivada (velocidad de germinación o la pendiente germinación diaria promedio).

### 7.1.3 Artículo 3.

El diseño experimental fue completamente al azar, los datos de cada fase del experimento se convirtieron a porcentaje, considerando las 20 semillas como el 100%, con el fin de simplificar el análisis. Los resultados expresados como porcentaje se graficaron con respecto a los días para determinar diferencias significativas entre los tratamientos. Se realizó un ANOVA de una vía, comparando las medias, con la prueba de Tukey con respecto al Testigo. Y la regresión con PROBIT para los tiempos inferidos. Estos análisis se realizaron en Minitab® (Minitab Inc. 2007). Versión 15 para Windows, State College, Pennsylvania, USA. Las gráficas se obtuvieron con el programa Office Excel 2016 (ver. 1611).

## 8. RESULTADOS.

Los resultados se presentan en forma de los artículos o borrador de artículo por cada uno de los objetivos contemplados. Así mismo, se agregó en cada publicación una sección de comentarios con aclaraciones y resultados adicionales no publicados.

Previo a la primera etapa, se investigó bibliográficamente el índice de apropiación de tecnologías innovadoras, Damián-Huato *et al.*, en el 2013, caracterizaron a los agricultores en Oaxaca, por lo que se utilizaron como marco de referencia para determinar el nivel tecnológico de las innovaciones incorporables al cultivo de *Capsicum chinense*. Con esta información se esbozó una estrategia de proyecto que estableció tres tipos de variables: tipo 1: las que parecieran tener un efecto sobre el cultivo y se podían manipular, tipo

2: las que tenían un efecto sobre el cultivo y no se podían manipular, tipo 3: las que no tenían un efecto claro y tampoco se podían manipular, estas dos últimas se dejaron constantes (Tabla 2).

**Tabla 2. Tipos de variables de acuerdo a las consideraciones de efecto y manipulabilidad.**

Tipo 1 (Manipulables)	Tipo 2 (No manipulables)	Tipo 3 (Sin efecto y no manipulables)
Volumen de agua de imbibición	Temperatura de incubación	Calidad de la luz (considerada)
Tipo de Bioestimulantes	Fotoperiodo	Desinfestación de semillas
	Intensidad lumínica	Concentración de gases (Considerada)
	Volumen de agua de riego	
	Cantidad de sustrato	
	Tamaño de contenedores	
	Sistema <i>in vitro</i> de germinación	
	Sistema de emergencia y establecimiento	

Con respecto a la caracterización de los productores, como se mencionó anteriormente, *Damián-Huato et al., 2013* tomaron en consideración el nivel medio de escolaridad, el tiempo de dedicación a las labores del campo, las condiciones socioeconómicas y la integración de tecnologías utilizadas por los agricultores (CIMMYT, 2018). Los datos estadísticos proporcionados por el INEGI de Oaxaca no distinguen con claridad el grado de escolaridad de los productores, pero en 2015, en los habitantes en todo el estado de Oaxaca tuvieron un grado promedio de escolaridad de 7.5 años (por debajo del promedio nacional que es de 9.1 años) y un alto índice de analfabetismo (13.3%) en comparación con el total nacional (5.5%). Así mismo, la población rural ha sido caracterizada como de alta marginación (*Damián-Huato et al., 2013*) y su apropiación de tecnologías de acuerdo a CIMMYT (2018) fue el segundo más bajo del país. Por lo que en la estrategia se propuso que el diseño del germinador, fuese de bajo costo y bajo nivel de sofisticación en su construcción, manejo y mantenimiento a fin de que se adaptase a las necesidades de la población objetivo.

Con respecto al cultivo, el chile habanero, se siembra por voleo a campo abierto y una vez germinadas las plantas se realiza el “aclareo” para seleccionar a las más vigorosas. Existen diversos paquetes tecnológicos propuestos por diversas instituciones que incorporan innovaciones tecnológicas. Las características del proceso de germinación que son consideradas como importantes para los tecnólogos y fisiólogos de semillas incluyen: el tiempo, la velocidad y la germinación máxima (Ranal y García-Santana, 2006) adicionalmente, en todos los casos se indica que uno de los puntos clave se encuentra en el desarrollo temprano de las plántulas y el establecimiento de las mismas. Para garantizar un buen porcentaje y uniformidad en la germinación se ha propuesto como alternativa el uso de charolas de germinación y la agricultura bajo cubierta (Fundación PRODUCE, 2012).

En este trabajo, se propuso integrar estrategias de agricultura protegida, huertos verticales y agricultura de precisión, para optimizar el rendimiento de las semillas, el tiempo de establecimiento, la gestión del agua y el *primming* hídrico sobre las plantas. La primera meta que se debía abordar fue el diseño, la construcción y verificación de germinadores de bajo costo y bajo nivel técnico para disminuir las variaciones térmicas. Posteriormente, dividir y caracterizar las etapas fenológicas con el fin de proporcionarles las condiciones necesarias para cada una, pero al mismo tiempo monitorear cuantitativamente cada una de ellas. El desarrollo temprano se subdividió en tres etapas a saber: germinación *sensu stricto*, emergencia y establecimiento.

## 8.1 PUBLICACIÓN 1.

**Hernández-López, A\*.,** Avila-Alejandre, AX, Mendoza-Francisco, N., Hernández-López, H. (2019). Diseño, construcción y verificación de un germinador de bajo costo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9 (8). 1703- 1714. \*autor de correspondencia.

### 8.1.1 Comentarios a la publicación 1.

El proceso de la germinación de las semillas está ligado al inicio de la civilización humana (Moreno- Casasola, 1996), permitió domesticar y seleccionar especies como *Zea mays* (7000 AC) y *Phaseolus vulgaris* (5000 AC) (Hirst, 2017; McDonald y Copeland, 1997), resultando en variedades vigorosas y con una acelerada velocidad de germinación.

Sin embargo, el proceso de la germinación de semillas de interés comercial se estudió de manera sistemática desde las décadas de los 50's, 60's y 70's, del siglo XX. Con la "revolución verde", se abrió la necesidad de tener un control estricto del efecto de las variables ambientales en la caracterización de semillas de variedades mejoradas, capaces de alcanzar altos rendimientos (FAO, 2003; Borlaug y Dowsell, 2011).

Los ensayos de germinación, análisis de viabilidad y vigor en pequeños lotes de semillas, se realizan de acuerdo con normas internacionales como las de la *International Seed Testing Association* (ISTA, 2017) o la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2003). Los laboratorios cuentan con instalaciones y equipo *ad hoc*, para la realización rutinaria de estos ensayos, con el fin de caracterizar los atributos deseables en condiciones estándar de germinación (ISTA, 2017; FAO, 2003). Entre las características deseadas en estos equipos se incluyen: sistemas de monitoreo automatizados, uniformidad en la temperatura, iluminación y fotoperiodo. Sin embargo, estos equipos empleados son costosos y por su precio, inalcanzables para pequeños productores interesados en el manejo eficiente de sus recursos.

El objetivo del presente trabajo fue, diseñar, construir y verificar un prototipo de germinador de bajo costo, bajo las directrices de diseño de un prototipo que permita a productores entusiastas, con conocimiento básicos en electrónica y electricidad o a laboratorios de escuelas de agronomía en países en desarrollo, su diseño, construcción y validación. En el texto del artículo se describe a detalle el diseño útil, la construcción, la conexión de los circuitos controladores, verificadores y los costos, así como los resultados de la verificación del equipo, el porcentaje de germinación de nueve réplicas con tres repeticiones cada una. En resumen, el germinador construido, cuenta con un volumen interno de 225 L, control automático de fotoperiodo, temperatura y control manual de iluminación. La variación de temperatura es de solo 0.567 °C, el costo

total fue de US\$58, lo que lo hace competitivo con respecto a otros germinadores comerciales que pueden llegar a tener un costo de entre US\$1 000 a US\$2 500 y el tiempo de construcción máximo fue de 4 días.

## Diseño, construcción, verificación y prueba de un germinador de bajo costo

Alejandro Hernández López<sup>1§</sup>

Alma Xochil Avila Alejandre<sup>1</sup>

Noé Mendoza Francisco<sup>1</sup>

Héctor Hernández López<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Papaloapan-*Campus* Tuxtepec. Circuito Central 200, Col. Parque Industrial, San Juan Bautista, Tuxtepec, Oaxaca, México. CP. 68300. Tel. 01(287) 8759240. (axavila@unpa.edu.mx; fmendoza@unpa.edu.mx). <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares-Departamento de Sistemas Nucleares. Carretera México-Toluca s/n, La marquesa, Ocoyoacac, México. CP. 52750. Tel. 01(55) 53297200, ext. 12497. (hector.hernandez@inin.gob.mx).

§Autor para correspondencia: alehz74@yahoo.com.mx.

### Resumen

Los germinadores automatizados, son una herramienta indispensable para optimizar los procesos agrícolas. Sin embargo, tienen altos costos, por lo que se requiere el diseño, construcción y operación de aparatos con precios accesibles para pequeños productores. El objetivo del presente trabajo fue, diseñar, construir y verificar un prototipo de germinador de bajo costo, bajo las directrices de diseño de un prototipo. Dicho germinador, se construyó usando materiales disponibles en la región y es capaz de controlar automáticamente la temperatura y fotoperiodo mediante los circuitos W1401 y Tem-8 48386 respectivamente. Además, mediante conmutadores simples se puede controlar la intensidad lumínica. Adicionalmente, se construyó un verificador de temperatura con una tarjeta Arduino Uno. El sistema de verificación permitió el monitoreo de los cambios de temperatura en tiempo real (cada minuto). El prototipo se probó germinando semillas de *Capsicum chinense*, usando distintos volúmenes de agua de imbibición. De acuerdo con los resultados obtenidos, el prototipo construido se ajusta a los requerimientos recomendados tanto por la International seed testing association (ISTA), como por la Food and Agriculture Organization (FAO) para la evaluación de semillas, pero, además mostró un rendimiento mayor, en comparación con una incubadora comercial y aun costo de construcción y operación muy menor.

**Palabras clave:** arduino, bajo costo, germinación.

Recibido: enero de 2019

El proceso de la germinación de las semillas se encuentra ligado al inicio de la civilización humana (Moreno-Casasola, 1996). El estudio de la germinación permitió domesticar y seleccionar especies de plantas, como *Zea mays* L. (7 000 AC.) y *Phaseolus vulgaris* L. (5 000 AC.) (McDonald y

Copeland, 1997; Hirst, 2017). A comienzos del siglo XX, se comenzó a estudiar de manera sistemática la germinación de semillas de interés comercial, pero hasta las décadas de los 50's, 60's y 70's, con la denominada 'revolución verde' (FAO, 1996; Borlaug y Dowsell, 2011) se alcanzó el desarrollo tecnológico que permitió tener un control estricto de las variables ambientales.

Los primeros germinadores, tipo armario, fueron desarrollados por Oomen-Koppe (1969) y Justice (1972). Actualmente, las recomendaciones de la FAO, se basan en estos autores y los equipos deben satisfacer los requisitos que se listan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Especificaciones de los germinadores de acuerdo con los organismos internacionales.**

Características	FAO/ISTA	Incubador comercial
Humedad [%]	70-90	Amb-99
Rango de temperatura [°C]	10-35	0-50
Variación de temperatura [°C]	± 1	± 1
Luz [lx]	750-1 250	0-15 000
Movimiento del aire	Mínimo	Continuo
Suministro de aire fresco	1 recambio hr <sup>-1</sup>	No especificado
Ciclo día/noche [hr]	8-12/16-12	Programable
Condensación	Nula	Nula

Construido con datos de Oomen y Koppe (1969) y el manual de operaciones del germinador Kenton PQH-150S.

Actualmente, en las empresas agrícolas hay laboratorios, donde se analiza la viabilidad y vigor, de acuerdo a las normas de la International Seed Testing Association (ISTA, 2017) o la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2003). Dichos laboratorios, cuentan con instalaciones y equipo *ad hoc*, para la realización rutinaria de estos ensayos, con el fin de garantizar las condiciones óptimas de caracterización de la germinación (FAO, 2003; ISTA, 2017).

Los ensayos de germinación, permiten detectar lotes de semillas con bajos niveles de germinación, ya sea a excesivo tiempo de almacenamiento o la falta de atributos genéticos necesarios para hacer frente a los retos ambientales de las parcelas donde se van a sembrar. Dichos ensayos, permiten tomar decisiones sin exponer el dinero, tanto del costo de las semillas, como de las operaciones de siembra, gasto en combustibles y jornales (Rodríguez *et al.*, 2008).

Los equipos empleados en estos ensayos, indispensables para la agrícola moderna, son costosos y por su precio, inalcanzables para pequeños productores, interesados en el manejo eficiente de sus recursos (FAO, 2003). Por lo que, existe la necesidad de contar con germinadores, con sistemas de monitoreo automatizados que controlen la temperatura, iluminación y fotoperiodo, pero, de bajo costo y bajo nivel de tecnificación (Tapia, 2002; Urquía, 2014), que permita a productores entusiastas, con conocimiento básicos en electrónica y electricidad o a laboratorios de escuelas de agronomía en países en desarrollo, su diseño, construcción y validación.

Actualmente, la electrónica ha tenido un desarrollo muy acelerado y ha generado una amplia variedad de circuitos digitales de última generación, que van desplazando a circuitos más sencillos, los cuales siguen siendo robustos y sus costos son cada vez más accesibles. Es el caso de los circuitos W1401 y W1209, pueden tener en México precios promedio al menudeo de \$10.50 y \$5.50 USD, respectivamente. Existen, además, temporizadores analógicos (TEM-8 48386) y digitales (DK-C-02) con un precio promedio de \$7.20 y \$7.75 USD, respectivamente.

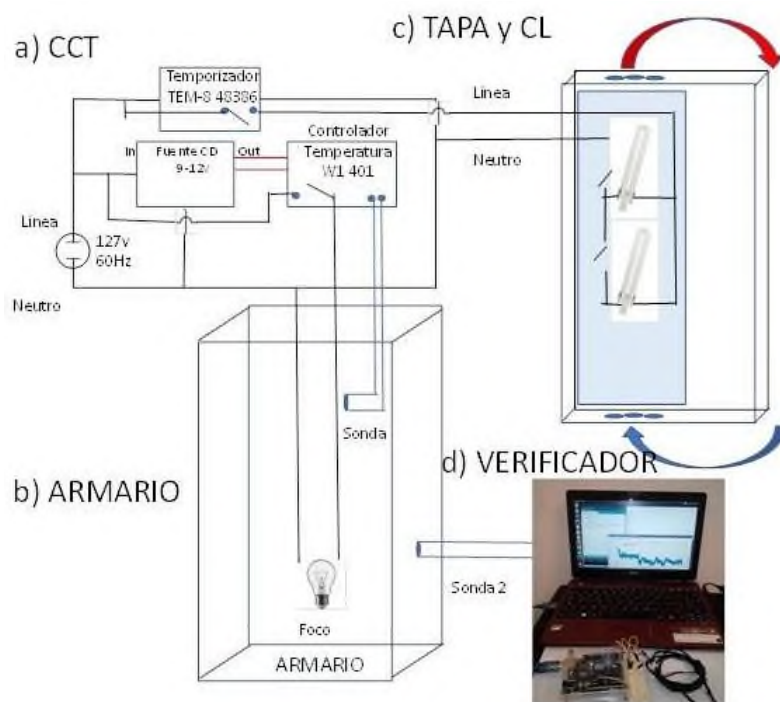
Adicionalmente, existen circuitos como la placa Arduino Uno, que funciona como una plataforma de prototipos de código abierto, que cuenta con su propio ambiente de programación y que puede tener un costo en México, al menudeo de \$12.80 USD. En el caso de Arduino, tiene la ventaja de ser una plataforma muy versátil y de contar con una gran variedad de periféricos, sensores y actuadores. Además, cuenta con una gran cantidad de programas o rutinas (sketch's) de libre acceso y en algunos casos, ya probados, que le permiten por sí misma, ser capaz de controlar todos los factores, ya que se puede conectar a una computadora y funcionar como una tarjeta de control (McRoberts, 2009; Monk, 2010; Timmis, 2011).

Sin embargo, en caso de la placa Arduino Uno, requiere que el sketch funcione adecuadamente y en caso de que falle o requiera ajustes, es necesario tener conocimientos en programación y electrónica, relativamente especializados para poder manejarlo. En cambio, se puede establecer una conexión sencilla que le permita funcionar como una tarjeta de adquisición de datos y los resultados se pueden procesar en hojas de cálculo comunes, como Microsoft Excel u Office Libre con el fin de analizarlos y verificar el funcionamiento de una incubadora en tiempo real (McRoberts, 2009; Monk, 2010).

El objetivo del trabajo fue diseñar, construir y verificar un germinador, de bajo costo y bajo nivel técnico que se pueda utilizar rutinariamente en trabajos de investigación y que se preste para realizar transferencia de tecnología al medio rural, basado en las directrices del diseño, construcción, verificación y prueba de un prototipo.

El diseño del germinador se realizó de tal forma que su construcción resultase simple. El equipo consta de dos partes principales, la incubadora y el equipo verificador. A su vez, la incubadora se subdividió en tres secciones: a) el circuito del control de temperatura (CCT); b) armario; y c) la tapa o puerta del armario con control de luminosidad (CL). En la Figura 1, se muestra el diagrama esquemático del germinador y el equipo verificador. Cabe destacar que, todos los materiales, incluidos los circuitos, la madera de triplay, la tornillería, los herrajes, los bastidores y las lámparas, así como los materiales empleados en el equipo verificador, tuvieron un costo total \$54.8 USD.

El CCT (Figura 1a) está diseñado para usar una fuente de alimentación a 12 V, un controlador de fotoperiodo y un circuito controlador de temperatura. El armario de la incubadora se construyó con bastidores removibles con el fin de permitir el flujo de aire caliente desde la zona inferior. Los bastidores removibles se construyeron de triplay usando como fondo malla de alambre, con una separación de 2 cm, con respecto a cada uno de los cuatro lados internos del armario. Con esto, se logró generar la convección del aire y la temperatura se uniformizó de manera pasiva evitándose el uso de ventiladores, por un lado, aumentan la desecación de las plantas o los sustratos y por otro, hacen más complicado el circuito.

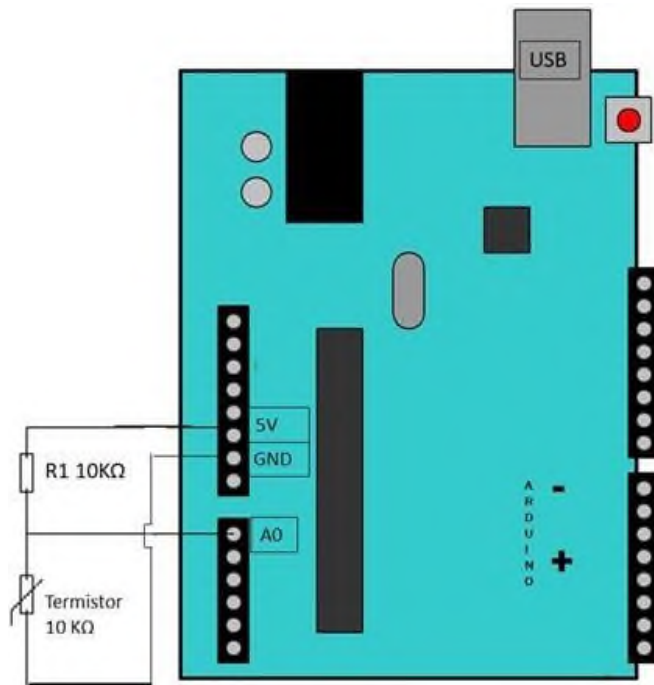


**Figura 1. Esquema y diagrama eléctrico. Se muestran los circuitos eléctricos generales desde la alimentación a 127 V al controlador de foto periodo y la reducción del voltaje a 12 V de corriente continua (líneas rojas), que alimentaría al circuito controlador de temperatura.**

El circuito del control de temperatura se conecta a la carcasa y la bombilla incandescente velada, que suministra calor. La intensidad de la iluminación se logra mediante un simple circuito de encendido/apagado de las lámparas fluorescentes compactas (LFC).

La puerta o tapa, contiene un compartimento, que contiene LFC's que proporcionan la iluminación. Con el fin, de que las lámparas no introdujeran energía calorífica al interior de la cámara, las lámparas fueron aisladas, permitiendo solo el paso de luz difusa y el calor generado se extrae mediante un sistema pasivo tipo carcasa-tubo. Donde, el aire, por convección fuerza el eficiente el intercambio de calor. Un temporizador, controla el encendido de las LCF's, colocadas en la tapa.

El circuito del verificador se diseñó y construyó empleando una tarjeta Arduino Uno, con un procesador ATmega 328 a 16 MHz y 0.5 KB de memoria interna. La tarjeta se programó en su propio entorno de trabajo (versión 1.7.11, <http://www.arduino.org/downloads>), mediante el puerto USB de una Notebook Acer One procesador AMD E1 a 1 GHz con 2 GB de RAM. El circuito electrónico, emplea una resistencia de  $22\text{ K}\Omega \pm 5\%$  y un termistor de  $10\text{ K}\Omega$  valor nominal ( $7.8\text{ K}\Omega$  reales  $35\text{ }^\circ\text{C}$ ) tal y como se muestra en la Figura 2. El código se desarrolló en ambiente Arduino y fue modificado para ajustarlo a los valores reales del termistor (Monk, 2010).



**Figura 1.** Circuito del verificador, se empleó la salida a 5V, la entrada análoga 0 y la tierra.

### Cálculo del rendimiento energético

El consumo eléctrico del germinador, se contrastó con el de una incubadora comercial (Felisa mod. FE-132AD), midiendo la temperatura con el verificador y el consumo eléctrico mediante el multímetro Fluke 377, por 15 min. Con los resultados, se calculó el rendimiento de ambos aparatos, en función del volumen de aire dentro de la cámara de trabajo de los aparatos, en el rango de los 33 a los 36 °C, los resultados se dividieron en dos etapas: el arranque y la operación.

El arranque se consideró de 33-36 °C (aproximadamente 6 min). La etapa de operación se midió desde el minuto 6, hasta los 15 min. Para el cálculo del rendimiento energético, se consideró al sistema como de flujo estacionario. La relación entre calor y cambio de temperatura se expresa normalmente en la forma que se muestra en la ecuación 1, donde  $C_s$  es el calor específico. Mientras que la potencia suministrada por la resistencia eléctrica puede ser evaluada por la expresión matemática de la ley de Joule (ecuación 2).

Para los cálculos del calor del sistema ( $Q$ ), se usó la siguiente fórmula.

$$Q = m C_s (T_2 - T_1) \quad 1)$$

Donde:  $m$ = masa promedio del aire;  $C_s$ = calor específico del aire a 34.5 °C;  $T_2$ = temperatura final 36 °C;  $T_1$ = temperatura inicial 33 °C.

El valor de  $Q$  se relacionó con la potencia eléctrica consumida por la resistencia del elemento calefactor (bombilla vs resistencia encaquetada) de la siguiente forma.

$$Q_{\text{abs}}/W(\text{suministrado}) = \text{rendimiento} \quad 2)$$

Donde:  $Q_{\text{abs}}$  = es el calor necesario que se suministra a cierta masa para elevar su temperatura;  
 $W(\text{suministrado})$  = es la potencia eléctrica que se necesita para generar el calor  $Q_{\text{abs}}$ .

Para determinar la eficiencia del germinador ( $E_{\text{ta}}$ ), se calculó la razón entre la potencia obtenida entre la potencia suministrada.

$$\begin{aligned} E_{\text{ta}} &= p_o/p_s \\ E_{\text{ta}} [\%] &= (p_o/p_s) * 100 \end{aligned} \quad 3)$$

Donde:  $p_o$  = es la potencia obtenida;  $p_s$  = es la potencia suministrada.

### Prueba de ensayo de germinación

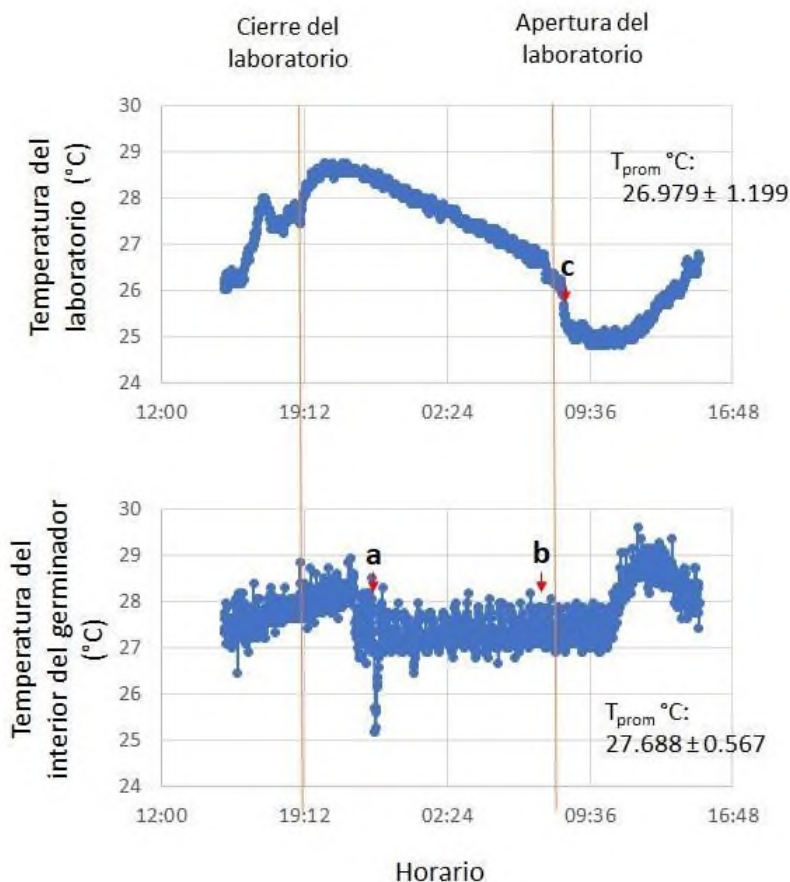
Se usaron semillas de *C. chinense*, variedad Jaguar, provenientes del Campo Experimental Las Huastecas del INIFAP. Las semillas fueron tratadas por el proveedor con Pirimifos y Thiram 42% y empacadas en una bolsa oscura y al vacío. Posteriormente, se iniciaron los experimentos de pre acondicionamiento para la evaluación del porcentaje de germinación.

El pre acondicionamiento y la germinación se realizaron, en caja Petri de 10 cm de diámetro, en donde se colocaron 2 capas de papel rustico (estruza), grado alimenticio (sin tratamiento químico) y se distribuyeron 20 semillas de manera equidistante, encima de las dos capas de papel y las semillas se colocó una capa de franela previamente lavada con agua destilada por tres ocasiones y secada, sobre de la cual, se vertieron los volúmenes respectivos de agua destilada. En este caso, fueron: 2.5, 3.5 y 7.5 mL. Se eligieron estos volúmenes porque se encontraban alrededor del volumen usado por otros autores para realizar la imbibición de las semillas (Garruña-Hernández, 2014). Se determinó el número de semillas germinadas diariamente, por nueve días. Los resultados se expresaron como porcentaje diario de semillas germinadas

Se construyó el prototipo, con base en el diseño descrito anteriormente, en el laboratorio químico-biológico de la UNPA ubicado en San Juan Bautista, Tuxtepec. Los materiales en su totalidad fueron adquiridos en la región o a través de páginas nacionales no especializadas en componentes electrónicos.

Mediante el sistema de validación basado en Arduino, se monitoreó la temperatura ambiental del laboratorio y al interior del germinador, cada minuto, durante 24 h. El comportamiento de las variaciones de temperatura en un día de trabajo estándar se muestra en la Figura 3.

El promedio de la temperatura diaria dentro del germinador fue de  $27.68 \pm 0.567$  °C, mientras que en el laboratorio fue de  $27.97 \pm 1.199$  °C. Es decir, que la variación de temperatura al interior del germinador se redujo 32% con respecto a la variación de la temperatura ambiental y se logró un mejor control y ajuste a la temperatura deseada. Por otro lado, la variación está dentro del rango de las especificaciones para un germinador de laboratorio exigidas por la ISTA (2017) y de la FAO (2003). Y es similar al reportado para otros germinadores comerciales (Cuadro 1).



**Figura 3. Comparación de variaciones de temperatura entre el interior del germinador y el ambiente.**

**a) corresponde al momento de la apertura de la incubadora para la toma de datos experimentales; b) el momento en el que se encienden las lámparas de iluminación; y c) corresponde al encendido del aire acondicionado del laboratorio.**

### Comparación de rendimiento energético con una incubadora comercial

El objetivo de diseñar aparatos de bajo costo implica una disminución en los gastos de fabricación y mantenimiento, así como también en los gastos de consumo de energía. Fabricar sistemas eficientes, diseñados para aprovechar al máximo la energía suministrada, tiene una enorme importancia si queremos ahorrar energía. En términos del consumo de energía, un sistema energéticamente eficiente es aquel que tiene un rendimiento máximo; es decir, aprovecha al máximo la energía que le suministramos (Bautista-Guevara, 2013).

Para el cálculo del calor se procedió de la siguiente manera, el germinador tiene un volumen de 225 L (0.225 m<sup>3</sup>) de aire, usando el valor promedio de la densidad de aire entre 33 y 36 °C (1.135 kg m<sup>-3</sup>) y una atmósfera de presión, se calculó la masa del aire del interior del germinador que fue de 0.2554 Kg. El cambio de temperatura fue de 3 °C (3 °K), usando la ecuación (1) el cálculo de calor nos arroja un valor de 0.775 KJ que es la energía necesaria para pasar de 33 a 36 °C la masa de aire, suponiendo que las paredes del germinador no absorben calor.

Para calcular el rendimiento del germinador, se calculó primero, la potencia de consumo de una resistencia de una bombilla de 100 w nominales para la evaluación de la etapa de arranque. El tiempo que tomó completar el arranque es el mismo para la incubadora comercial y fue de 5 minutos. Con la fórmula para circuitos eléctricos.

$$P = V * I$$

Donde: P= es potencia en watts; V= es voltaje; I= es corriente en amperes.

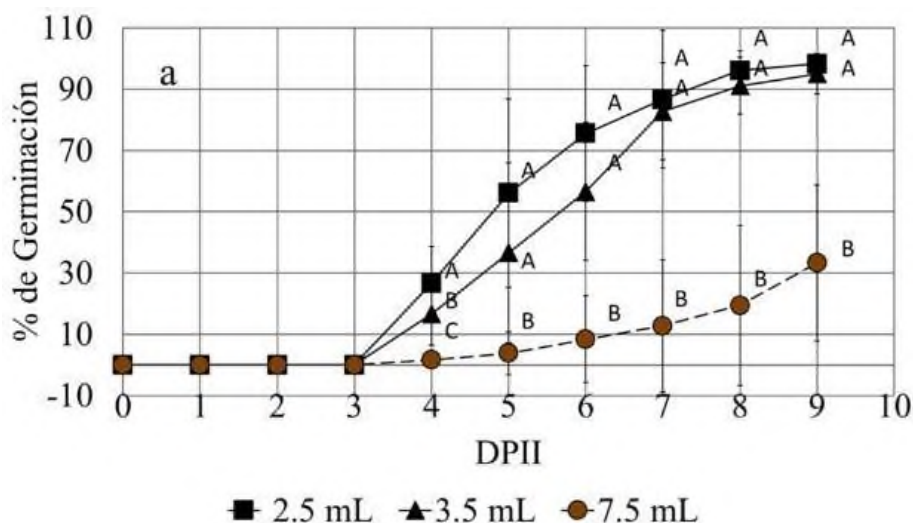
La potencia está relacionada con la corriente eléctrica que se utiliza a una diferencia de potencial constante, de esta forma, la corriente total del periodo de arranque fue de 3.4 amperes y el voltaje de 120 volts da una potencia de 408 watts usados para elevar la temperatura de una cierta masa de aire en un periodo de tiempo de 6 minutos, su potencia en el tiempo de arranque fue de 2.448 KJ por lo que el rendimiento para el germinador fue de 31.67%.

Para la incubadora comercial se hicieron las mismas mediciones de corriente eléctrica y calentamiento de su masa de aire interna y con los mismos intervalos de temperatura. El volumen usado fue de 84.6 L (0.0846 m<sup>3</sup>); es decir, una masa de 0.096 kg y con esto el calor necesario para calentar esa masa de aire fue de 0.2915 KJ. Para el cálculo del rendimiento se midió la corriente total utilizada que fue de 6.2 Amperes, la potencia usada fue de 744 watts y el rendimiento fue de 6.53%.

La diferencia en el rendimiento entre la incubadora comercial y el germinador construido fue 25% favoreciendo al germinador, a pesar de la diferencia de masas de aire. El consumo de corriente fue mayor para la incubadora, 6.2 Amperes, mientras que para la germinadora fue de 3.4 Amperes. Finalmente, para probar su funcionamiento el germinador se empleó para determinar el tiempo de germinación para semillas de chile habanero (*Capsicum chinense*) var Jaguar. El cuál es muy apreciado, pero se considera que asincrónico, en su germinación Garruña-Hernández *et al.* (2014).

La germinación se ensayó programando a 28 °C y con diferentes regímenes de suministro de agua 2.5, 3.5 y 7.5 ml de agua (Figura 4). Las diferencias en el porcentaje de germinación observada en los tiempos analizados dependen de el volumen de imbibición y no de la temperatura ( $p \leq 0.05$ ), se encontró además una relación directamente proporcional entre el porcentaje de germinación y el volumen de agua de imbibición con un coeficiente de Pearson = -0.905 y una  $p = 0$ .

En resumen, se construyó un germinador, con un volumen interno de 225 L, con control automático de fotoperiodo, temperatura y control manual de iluminación. La variación de temperatura es de solo 0.567 °C, el costo total fue de US\$58, lo que lo hace competitivo con respecto a otros germinadores comerciales que pueden llegar a tener un costo de entre US\$1000 a US\$2 500 y el tiempo de construcción máximo fue de 4 días.



**Figura 4.** Efecto de diferentes volúmenes de agua de imbibición sobre la germinación de *C. chinense*. Las semillas fueron imbibidas con 2.5 y 3.5 ml de agua destilada, respecto al volumen de referencia (7.5 ml). La germinación se evaluó diariamente.

## Conclusiones

En el presente trabajo se construyó un germinador con un costo total de fabricación muy competitivo (\$54.8 USD), aun frente a equipos comerciales no científicos y que no han sido verificados. El elemento verificador, conformado por la tarjeta Arduino y la computadora, permite recoger datos en tiempo real, lo que permite monitorear el funcionamiento y hacer cálculos del desempeño del germinador.

El germinador mostró, tener una alta eficiencia energética, lo que se puede atribuir a factores de diseño, pero también se pueden atribuir a los elementos calefactores. Se propone que, las bombillas incandescentes, son elementos calefactores más eficientes que las resistencias eléctricas encaquetadas, quizá debido a que el filamento de tungsteno requiere menos energía para alcanzar la temperatura umbral y esta temperatura es más alta en el tungsteno (de la bombilla) que en níquel (de la resistencia encaquetada).

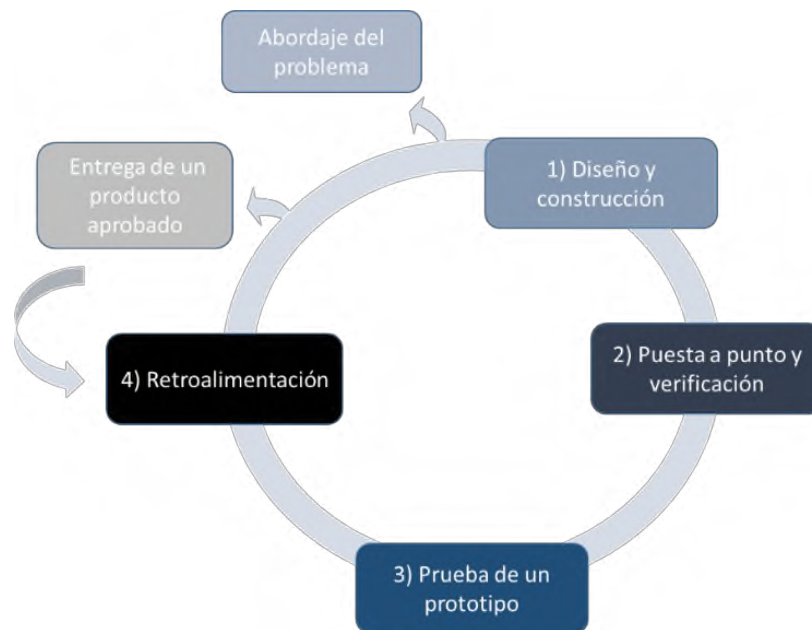
## Literatura citada

- Bautista, G. F. 2013. Eficiencia energética y conservación de energía: perspectiva para un desarrollo sostenible. *Revista peruana de energía*. 3(1):57-87.
- Borlaug, N. E. y Dowsell, C. 2011. La inacabada Revolución Verde- el futuro rol de la ciencia y la tecnología en la alimentación del mundo en desarrollo. Agbioworld USA. <http://www.agbioworld.org/biotech-info/articles/spanish/desarrollo.html>.
- FAO. 1996. Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde, Cumbre mundial sobre la alimentación. <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612s06.htm>.
- FAO. 2003. Semillas de calidad declarada. <http://www.fao.org/docrep/3/a-a0503s.pdf>.

- Garruña, H. R.; La Tournerie, M. L.; Ayala, G. O.; Santamaría, J. y Pinzón, L. L. 2014. Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia*. 48(4):413-423.
- Hirst, K. H. 2017. Plant domestication. Table of dates and places. thought Co. <https://www.thoughtco.com/plant-domestication-table-dates-places-170638>.
- ISTA. 2017. International rules for seed testing. International seed testing assositing. [www.seedtest.org/en/internationalrules-content-1-1083.html](http://www.seedtest.org/en/internationalrules-content-1-1083.html).
- Justice, O. L. 1972. Essentials of seed testing. *In: seed biology*. Ed. Kozlowski, T.T. Academic Press New York and London. 3:301-370.
- McDonald, M. B. and Copeland, L. O. 1997. Seed production: principles and practices. Springer US. 749 p.
- McRoberts, M. 2009. Earthshine design arduino starters kit manual - a complete beginners guide to the Arduino earthshine design. <http://math.hws.edu/vaughn/cpsc/226/docs/askmanual.pdf>.
- Monk, S. 2010. 30 Arduino™ projects for the evil Genius™. The McGraw-Hill. USA. 3<sup>ra</sup>. rev. <http://www.honfablab.org/wordpress/alexandria/technology/30Arduino-Projects-EviGenius.pdf>.
- Moreno, C. P. 1996. Vida y obra de granos y semillas. Col. La ciencia para todos. 2<sup>a</sup> (Ed.). Fondo de Cultura Económica (FCE). México DF.
- Oomen, W. A. and Koppe, R. 1969. Germination cabinets with day and night cycles. *Proc. Int. Seed Test. Ass.* 34(1):103-114.
- Rodríguez, I.; Adam, G. y Durán, J. M. 2008. Agricultura. tecnología. España. 912:836-842. <http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf-Agri%2FAgri-2008-912-completa.pdf>.
- Tapia, A. 2002. El proceso de investigación y transferencia de tecnología en el sector agrícola. La experiencia del INIFAP. *Aportes*. Benemérita Universidad de Puebla (BUAP). Puebla-México. 20(7):179-183.
- Timmis, H. 2011. Practical Arduino engineering. 1<sup>ra</sup>. (Ed). Apress. USA. 328 p. <http://www.apress.com/us/>.
- Urquía, N. 2014. Transferencia de tecnología en el desarrollo rural. FAO. México, DF. <https://coin.fao.org/coinstatic/cms/media/20/13941367738530/fao-transferencia-de-tecnologa-en-el-desarrollo-ganadero.pdf>.

### 8.1.2 Resultados adicionales de la publicación 1

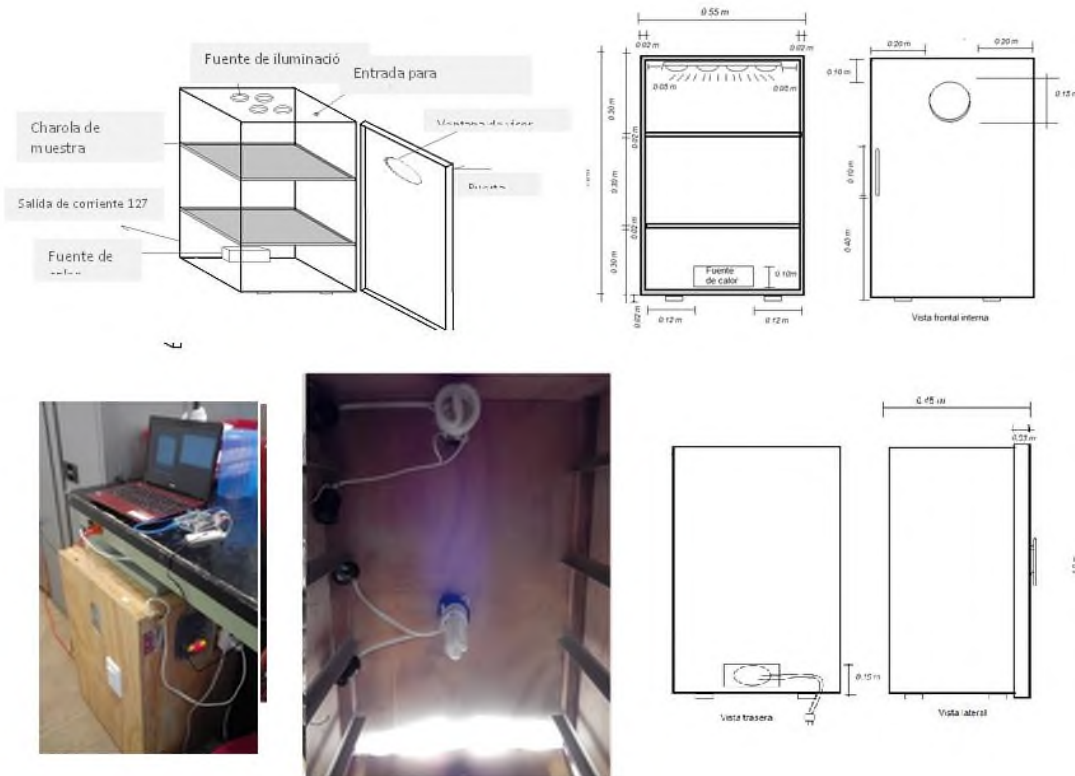
Antes de obtener un diseño útil de la incubadora, se realizaron tres prototipos secuenciales, los cuales, mostraron diferentes comportamientos (1.0, 2.0, 3.0). Como se mencionó previamente, el diseño del equipo, se realizó de acuerdo con las directrices del diseño de prototipos, esquematizadas en la Figura 3.



**Figura 3. Directrices del diseño de prototipos.** (Modificado de Flores-Rentería et al., 2016).

El primer prototipo de germinador, se basó en un diseño 2D, que combina los requerimientos de la ISTA y la experiencia del autor en la construcción de incubadoras biológicas para climas templados. Se construyó un gabinete de madera contrachapada, debido a que este material es económico, tiene un buen coeficiente de transferencia de calor y es resistente al clima húmedo (a diferencia de la madera maciza o el aglomerado). Se realizó un circuito eléctrico, basado en el circuito electrónico W140, con el fin de controlar automáticamente la temperatura y la iluminación se dispuso al interior de los anaqueles (Figura 4). Este primer diseño, presentó algunas dificultades, entre ellas: el bajo número de germinación y la alta mortandad de plántulas, probablemente debido a las altas temperaturas alcanzadas durante los periodos de iluminación. Por lo que se procedió a construir un sistema de monitoreo continuo, que permitiera verificar y registrar la temperatura a lo largo del día. Para verificar al sistema, se construyó un circuito electrónico basado en el sistema ARDUINO UNO®,

el cual se programó en su propio ambiente de trabajo (Monk, 2010) con el que se pudo monitorear la temperatura en tiempo real por 24 h (cada minuto).

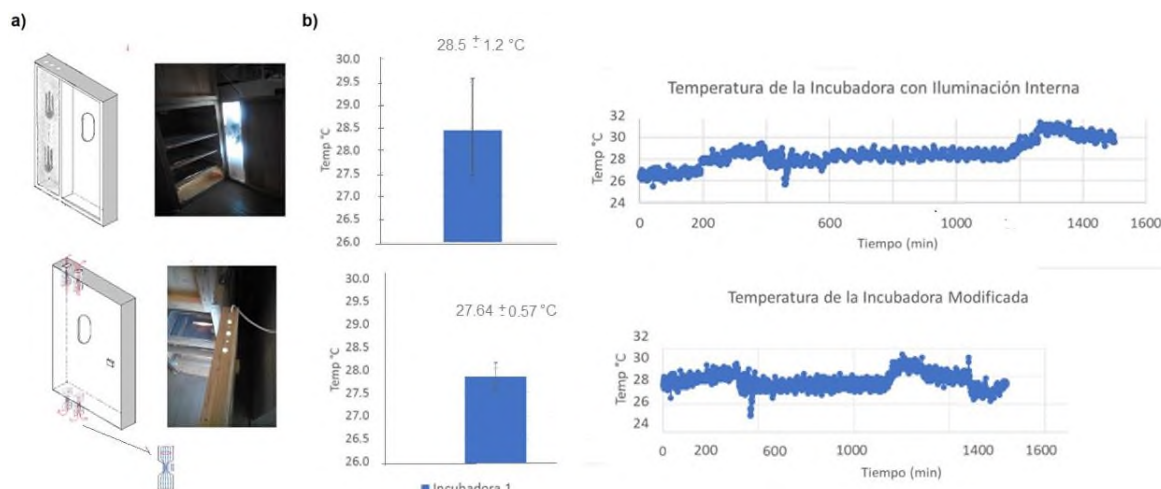


**Figura 4. Composición fotográfica de los elementos del primer prototipo del germinador.** Con este primer diseño, existía un aumento en la temperatura debido al calor de la iluminación interna, el cual se pudo determinar mediante el sistema de verificación, en tiempo real, basado en sistema ARDUINO UNO®.

Observando las gráficas y los síntomas de las plantas, se dedujo que el problema era generado por las lámparas. Con éste primer diseño, las plántulas morían con síntomas de estrés por calor. El sistema de monitoreo de la temperatura, permitió observar el aumento de la temperatura durante el horario diurno, debido al calor desprendido por las lámparas de iluminación, la variación de temperatura  $\pm 1.2$  °C en promedio, fue suficiente para detener el desarrollo de las plantas. Por lo que fue necesario rediseñar el sistema de iluminación.

Se rediseño la puerta del germinador y la iluminación se introdujo dentro de un sistema carcasa-tubo, que permitía la ventilación acelerando la velocidad del aire de forma pasiva, aprovechando el efecto Venturi (Figura 5a). En la gráfica del monitoreo de temperatura se puede observar un mejor

control con una temperatura promedio de  $27.64^{\circ}\text{C}$  y una desviación estándar de  $0.57^{\circ}\text{C}$ , además, las plantas ya no presentaron síntomas de estrés. Con las modificaciones, se logró disminuir el efecto de las lámparas sobre la temperatura de la cámara de trabajo y estabilizar la temperatura.



**Figura 5. Rediseño de la puerta del germinador.** a) Se observa el rediseño de la puerta, basado en el sistema tubo carcasa. Los orificios mediante el efecto Venturi aceleran la velocidad del flujo de aire y generan aspiración, lo que hace más eficiente la salida del calor de las lámparas; b) ejemplo de estabilización de la temperatura tras la implementación de la iluminación con el sistema tubo carcasa.

Es importante destacar, que durante todo el tiempo que duraron los ensayos, desde noviembre de 2015, hasta octubre de 2020 el germinador fue usado rutinariamente en el laboratorio. Dicho lo anterior, se considera que el presente objetivo fue de gran interés, ya que es importante que las universidades y los centros de investigación generen soluciones para ellas y para los productores nacionales, que permitan resolver sus limitaciones tecnológicas y de infraestructura, con planteamientos reales y de bajo costo de construcción, operación y mantenimiento.

Mediante el equipo verificador basado en Arduino, se monitoreó la temperatura ambiental del laboratorio y al interior del germinador, cada minuto, durante 24 h. El comportamiento de las variaciones de temperatura en un día de trabajo estándar se muestra en la Figura 3 de la publicación 1 (Hernández-López *et al.*, 2019). El promedio de la temperatura diaria dentro del germinador fue de  $27.68 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , mientras que en el laboratorio fue de  $27.97 \pm 1.199^{\circ}\text{C}$ . Es decir, que la variación de temperatura al interior del germinador se redujo 42% (errata en la publicación 1) con respecto a la variación de la temperatura ambiental y se logró un mejor control y ajuste a la temperatura

deseada. Por otro lado, la variación está dentro del rango de las especificaciones para un germinador de laboratorio exigidas por la ISTA (2017), la FAO (2003) y es similar al reportado para otros germinadores comerciales (Tabla 3)

**Tabla 3. Especificaciones de los germinadores de acuerdo con los organismos internacionales.**

Características	FAO/ISTA	Incubador comercial
Humedad [%]	70-90	Amb-99
Rango de temperatura [°C]	10-35	0-50
Variación de temperatura [°C]	± 1	± 1
Luz [lx]	750-1 250	0-15 000
Movimiento del aire	Mínimo	Continuo
Suministro de aire fresco	1 recambio hr <sup>-1</sup>	No especificado
Ciclo día/noche [hr]	8-12/16-12	Programable
Condensación	Nula	Nula

Construido con datos de Oomen y Koppe (1969) y el manual de operaciones del germinador Kenton PQH-150S.

Fabricar sistemas eficientes, diseñados para aprovechar al máximo la energía suministrada, tiene una enorme importancia si queremos ahorrar energía. En términos del consumo de energía, un sistema energéticamente eficiente es aquel que tiene un rendimiento máximo; es decir, aprovecha al máximo la energía que le suministramos (Bautista-Guevara, 2013).

El consumo eléctrico del germinador, se contrastó con el de una incubadora comercial (Felisa modelo FE-132AD), midiendo la temperatura con el verificador y el consumo eléctrico por 15 min. Con los resultados, se calculó el rendimiento de ambos aparatos, en función del volumen de aire dentro de la cámara de trabajo, en el rango de los 33 a los 36 °C, ya que ésta es la temperatura intermedia de los diferentes diseños, los resultados se dividieron en dos etapas: el arranque y la operación (Tabla 4). La diferencia en el rendimiento entre la incubadora comercial y el germinador construido fue 24.67% favoreciendo al germinador, a pesar de la diferencia de masas de aire.

**Tabla 4. Comparación de la eficiencia entre el germinador y la incubadora comercial.**

<b>Equipo</b>	<b>Germinador</b>	<b>Incubadora Felisa</b>
Volumen de aire	225 L (0.225 m <sup>3</sup> )	84.6 L (0.0846 m <sup>3</sup> )
Masa de aire al interior*	0.2554 Kg.	0.096 kg
Potencia obtenida (po)		
Energía necesaria para pasar de 33 a 36 °C	0.775 KJ	0.2915 KJ
Potencia suministrada (ps)		
P= Voltaje * Amperes	2.448 KJ	4.46 KJ
Gasto al arranque		
Consumo de corriente (Amp)	3.4	6.2
<b>Eficiencia energética (Eta)</b>		
<b>Eta [%] = (po/ps) *100</b>	<b>31.2%</b>	<b>6.53%</b>

Una vez que se verificó la estabilidad térmica de la cámara, se utilizó para los ensayos con semillas de *Capsicum chinense*. El primer reto fue homogeneizar la germinación, debido a que *C. chinense* tiene de por sí una gran variabilidad en la germinación y porque se planeó que los bioestimulantes se aplicarán durante la imbibición. Adicionalmente, un problema de las semillas de *C. chinense*, que se ha evidenciado durante su uso agronómico, es la pérdida de viabilidad de las semillas por efecto del almacenamiento (envejecimiento) y como resultado, los altos costos de las semillas que se reflejan en un aumento en los costos de producción Garruña-Hernández *et al.*, (2014); Moo-Muñoz *et al.*, (2016). Algunos autores atribuyen estos problemas a las características fisiológicas de *C. chinense* (Garruña- Hernández *et al.*, 2014), mientras que otros los asocian con un manejo deficiente durante el cultivo o el secado y almacenamiento de las semillas (Moo-Muñoz *et al.*, 2016). Por otro lado, los tiempos de germinación y establecimiento son largos, oscilando desde los 12 días y hasta 33 días para un establecimiento completo. Estos tiempos tan prolongados exponen a la pérdida de un gran número de plántulas antes del establecimiento definitivo, lo cual no es deseable ya que el costo de la semilla es bastante alto (alrededor de \$ 5400 MXN/libra, en el año 2020) en comparación con otras.

## 8.2 PUBLICACIÓN 2.

**Hernández-López, A\***, Beltrán-Peña, EG, Amancio-Oliveira, AE., Núñez Gaona, O., Avila-Alejandre, AX. (2018). Water preconditioning on germination and emergence of *Capsicum chinense* Jacq. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9 (8). 1703- 1714. \*autor de correspondencia.

### 8.2.1 Comentarios a la publicación 2.

El objetivo de este trabajo, fue determinar el efecto del pre-acondicionamiento hídrico sobre el porcentaje de germinación y la emergencia de *Capsicum chinense*. Las semillas fueron cultivadas durante el ciclo productivo diciembre 2015 a febrero 2016. Para el pre-acondicionamiento, las semillas se imbibieron con 2.5, 3.5, 5, 7.5 y 10 mL de agua. El volumen de 7.5 mL, se usó como referencia. Los resultados de germinación indican que, los tres mejores volúmenes de imbibición fueron 2.5, 3.5 y 5 mL, con una correlación de Pearson de -0.905 ( $p= 0.000$ ) entre el volumen de agua y el porcentaje de germinación acumulada, así como la disminución del tiempo de germinación 50. Posteriormente, las mismas semillas, se trasplantaron para evaluar la emergencia. Los mejores volúmenes de imbibición para la emergencia fueron, en ese orden, 3.5, 5 y 2.5 mL. En la emergencia, el volumen con el mejor porcentaje de germinación (2.5 mL), ocupó el tercer lugar, lo que modificó el coeficiente de Pearson a -0.641 ( $p= 0.01$ ). Los resultados sugieren que, un cierto grado de estrés, generado por la disminución en el aporte de agua, favorece la germinación y el establecimiento, lo que podría estar relacionado con la síntesis y acumulación de etileno dentro del sistema de germinación. Por otro lado, el aumento en el diámetro de la película de agua genera disminución en la disponibilidad de oxígeno. La contribución del presente trabajo fue evidenciar que la correcta hidratación de las semillas influencia etapas posteriores de la germinación, sin adicionar reguladores del crecimiento.

## Preacondicionamiento del agua en la germinación y emergencia de *Capsicum chinense* Jacq.

Alejandro Hernández-López<sup>1§</sup>

Elda Guadalupe Beltrán-Peña<sup>2</sup>

Antonia Elenir Amancio Oliveira<sup>3</sup>

Oscar Nuñez Gaona<sup>1</sup>

Alma Xochil Avila-Alejandre<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Papaloapan Tuxtepec. Circuito central 200, Parque Industrial, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca. CP. 68300. (oscarng@unpa.edu.mx; axavila@unpa.edu.mx). <sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. (eldabelt@umich.mx). <sup>3</sup>Centro de Biociencias e Biotecnología-Universidade Estadual do Norte Fluminense. Av. Alberto Lamego 2000, Parque California, Campos dos Goytacazes, RJ Brazil. CEP. 28013-600. (elenir@uenf.br).

§Autor para correspondencia: alehz74@yahoo.com.mx.

### Resumen

El objetivo de este trabajo, fue determinar el efecto del pre-acondicionamiento hídrico sobre el porcentaje de germinación y la emergencia de *Capsicum chinense*. Las semillas fueron cultivadas durante ciclo productivo diciembre 2015 a febrero 2016. Para el pre-acondicionamiento, las semillas se imbibieron con 2.5, 3.5, 5, 7.5 y 10 ml de agua. El volumen de 7.5 ml, se usó como referencia. Los resultados de germinación indican que, los tres mejores volúmenes de imbibición fueron 2.5, 3.5 y 5 mL, con una correlación de Pearson de -0.905 ( $p= 0.000$ ) entre el volumen de agua y el porcentaje de germinación acumulada, así como la disminución del tiempo de germinación 50. Posteriormente, las mismas semillas, se trasplantaron para evaluar la emergencia. Los mejores volúmenes de imbibición para la emergencia fueron, en ese orden, 3.5, 5 y 2.5 ml. En la emergencia el volumen con el mejor porcentaje de germinación (2.5 ml), ocupó el tercer lugar, lo que modificó el coeficiente de Pearson a -0.641 ( $p= 0.01$ ). Los resultados sugieren que, un cierto grado de estrés, generado por la disminución en el aporte de agua, favorece la germinación y el establecimiento, lo que podría estar relacionado con la síntesis y acumulación de etileno dentro del sistema de germinación. Por otro lado, el aumento en el diámetro de la película de agua genera disminución en la disponibilidad de oxígeno. La contribución del presente trabajo fue evidenciar que la correcta hidratación de las semillas influencia etapas posteriores de la germinación, sin adicionar reguladores del crecimiento.

**Palabras clave:** *Capsicum chinense*, germinación, pre-acondicionamiento hídrico.

Recibido: agosto de 2018

Aceptado: octubre de 2018

## Introducción

El cultivo de *Capsicum sp.* tiene relevancia cultural y económica en México; en los últimos años, ha comenzado a adquirir una importancia económica considerable en todo el mundo. A pesar de que México es considerado uno de los centros de origen y diversificación del chile, Montes *et al.* (2010); Pérez-Castañeda *et al.*, 2015) este cultivo se cultiva con éxito en China, Turquía, Indonesia, España y Estados Unidos de América; según la FAO (2014), estos países junto con México son los seis mayores productores de chile en todo el mundo. En 2013, China fue el primer país productor con 15 800 000 t, seguido de México con una producción de 2 294 400 t, lo que equivale al 56 y al 8% de la producción mundial, respectivamente, FAO (2014). También hay especies locales que tienen éxito comercial y su cultivo está protegido por denominación de origen. En particular, para *Capsicum chinense* Jacq (mejor conocido como chile habanero), el sector agrícola de la Península de Yucatán, México, obtuvo la denominación de origen en 2005 y en 2012, su producción anual alcanzó 2 615 t con un valor de \$28 487 070.00 pesos (SIAP, 2012; Moo-Muñoz *et al.*, 2016).

Desafortunadamente, los productores de *C. chinense* han reportado importantes problemas asociados con su cultivo, como las semillas de baja calidad, la pérdida de viabilidad debido al tiempo de almacenamiento y, como resultado, los altos costos de las semillas que se reflejan en un aumento en los costos de producción Garruña-Hernández (2014); Moo-Muñoz *et al.* (2016). Algunos autores atribuyen estos problemas a las características fisiológicas de *C. chinense* Garruña-Hernández (2014), mientras que otros los asocian con un manejo deficiente durante el cultivo o el secado y almacenamiento de las semillas (Moo-Muñoz *et al.*, 2016). Para superar estas desventajas, se han explorado diferentes estrategias: i) aseguramiento de la calidad fisiológica durante el desarrollo de la semilla mediante la optimización del proceso de secado; ii) uso de fitorreguladores para mejorar la producción de frutos viables y, por lo tanto, la viabilidad de las semillas Zárate-García *et al.* (2014); y iii) analizar el efecto del precondicionamiento del agua complementado con ácido giberélico (GA3) y ácido abscísico (ABA) para mejorar la germinación y disminuir la pérdida de viabilidad de la semilla (Moo-Muñoz *et al.*, 2016).

La investigación ha demostrado que la calidad de la semilla está determinada genéticamente (procesos fisiológicos de acondicionamiento), aunque hay otros factores involucrados, como la nutrición y la salud de la planta madre y las condiciones de almacenamiento. Sin embargo, dado que la disminución de la viabilidad y la pérdida de la capacidad de germinación aún no están claramente explicadas, es interesante investigar si este comportamiento puede revertirse con tratamientos antes de la siembra que reduzcan el tiempo requerido para la radicación de la protuberancia (germinación) y la emergencia de las plántulas, y que juntos se denominan precondicionamiento (Nicasio-Arzeta *et al.*, 2011). Existen varios métodos de precondicionamiento que pueden clasificarse en a) osmóticos; b) matricial; c) estrés hídrico (Heydeker *et al.*, 1973; Taylor, 1981; Iqbaar y Ashraf, 2005; Artola *et al.*, 2010; Hacisalihoglu y Ross, 2010; Mavi *et al.*, 2010; Sánchez y Muñoz, 2010; Moo-Muñoz *et al.*, 2016). En el precondicionamiento por estrés hídrico, la disponibilidad de agua para la germinación se regula limitando la cantidad y/o el tiempo de hidratación (Nicasio-Arzeta *et al.*, 2011).

Estos estudios se centraron en una etapa fenológica específica y no brindan detalles sobre el efecto de los tratamientos evaluados en las etapas de desarrollo posteriores, sino solo en la germinación, emergencia y establecimiento (brote de la primera hoja verdadera), lo que significa que no se ha

investigado. Si el efecto de los tratamientos de precondicionamiento en el desarrollo de la planta es duradero. Dado que una imbibición adecuada permite la reactivación de procesos metabólicos como la activación de enzimas, mecanismos para la reparación de membrana, ADN y proteínas, elongación celular y la aparición de la radícula, se ha informado ampliamente que la disponibilidad de agua es esencial para la germinación de semillas Dubreocq *et al.* (2000); Maldonado *et al.* (2003), por lo tanto, las plantas deben sincronizar sus ciclos de crecimiento con un suministro de agua adecuado (Foley y Fenhimoe, 1998; Maldonado *et al.*, 2003). No hay información sobre los requisitos de agua para *Capsicum chinense*; El objetivo de esta investigación fue determinar si el precondicionamiento del agua de *Capsicum chinense* Jacq var. Jaguar es suficiente para mejorar los porcentajes de germinación y emergencia.

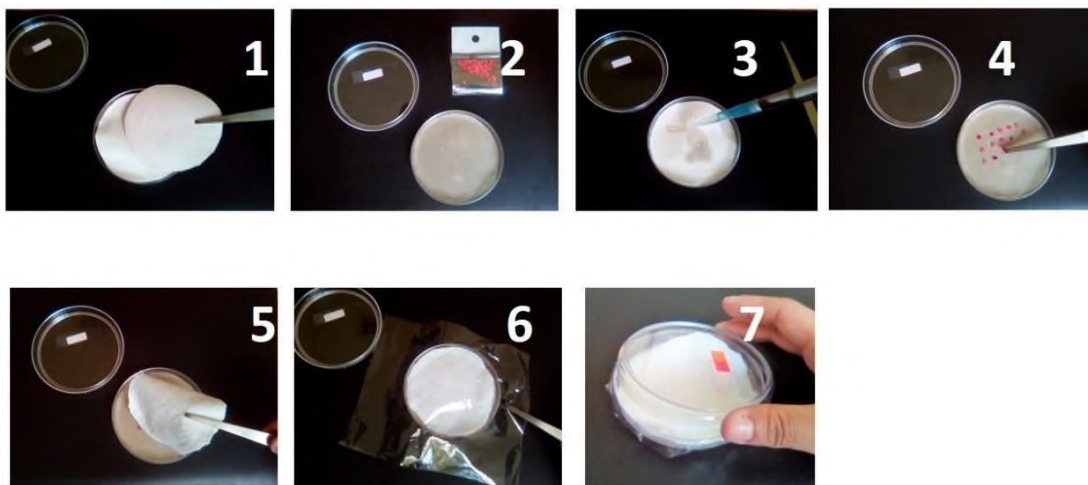
## Materiales y métodos

### Material biológico

Las semillas maduras de *Capsicum. chinense*, var. Jaguar se obtuvieron del campo experimental de INIFAP Las Huastecas, Tampico, Tamaulipas, México. Las semillas se sembraron en el ciclo productivo de diciembre de 2015 a febrero de 2016. Las semillas fueron tratadas con PIRIMFOS y THIRAM 42% por el proveedor y luego envasadas al vacío en una bolsa oscura. En el laboratorio, las semillas se dividieron en subconjuntos de 300 mg de semillas, se empaquetaron en bolsas de polietileno transparente de 7 x 5 cm y se almacenaron a aproximadamente 25 °C.

### Experimento de precondicionamiento y evaluación de germinación

Primero, realizamos la prueba de germinación utilizando papel de enrollar, según los criterios de ISTA (2016, capítulo 5, subsección 5.6.2.1.1, ‘Between paper’) y notamos que los porcentajes máximos de germinación eran muy bajos. Además, al realizar las evaluaciones morfométricas, las raíces solían lesionarse y, finalmente, era difícil controlar la cantidad de agua suministrada. Luego, optamos por realizar otro método ISTA, ‘Top of paper’ en placas de Petri, la secuencia se ilustra en la Figura 1.



**Figura 1.** Precondicionamiento de la cápsula de Petri de *Capsicum chinense*. Los números se describen en el texto.

El preacondicionamiento y la germinación se realizaron en placas de Petri de 8.5 cm de diámetro (ISTA, 2016 cap. 5 subsección 5.6.2.1.1), con las siguientes modificaciones: dos círculos de grado alimenticio de papel (estruza) se colocaron dentro (1) y se humedecieron con los diferentes volúmenes de agua: 2.5, 3.5, 5, 7.5 y 10 ml (3), se distribuyeron 20 semillas de manera equidistante en este círculo de papel (4). Más tarde, una capa de franela blanca, previamente lavada tres veces con agua destilada y seca, se colocó sobre las semillas (5). El volumen de agua de 7.5 ml se utilizó como control. Este volumen de agua se ajustó al diámetro empleado de la placa de Petri (8.5 cm de diámetro), considerando que Garruña-Hernández (2014) empleó el volumen de 8 ml en la placa de Petri de 9 cm de diámetro. Finalmente, las placas se sellaron con una capa de película de poli (cloruro de vinilo) de calidad alimentaria (Egapack®) (6) y se incubaron en una cámara de germinación durante 4 días a  $29 \pm 0.5$  °C, con control de fotoperíodo a 12 h de luz/12 h de oscuridad (7). Desde el día 4 después del inicio de la imbibición (DPII), el sello se abrió rápida y cuidadosamente, para verificar la germinación diaria.

Se evaluaron cuatro variables en los experimentos de preacondicionamiento: 1) porcentaje de germinación acumulativa; 2) porcentaje acumulativo de emergencia; 3) longitud de la radícula; y 4) período de latencia de la semilla (días transcurridos hasta la primera semilla germinada).

La germinación acumulada se registró diariamente hasta el día 9 después del inicio de la imbibición (9 DPII) porque en el experimento piloto, cuando el porcentaje de germinación en 7.5 ml fue similar al reportado por Garruña-Hernández (2014), el tratamiento rápido se completó en la emergencia dentro de placa de Petri. El criterio de germinación fue que la raíz saliente alcanzó 1 mm de largo. Las semillas germinadas a 9 DPII se trasplantaron a macetas de poliestireno con 5 g de Miracle-Gro (The Scotts Lawn Company, Ohio, EE. UU.), 0.21 N -0.11 P -0.16 K. Las semillas se colocaron a una profundidad de 2.5 cm y las macetas se incubaron en una cámara de crecimiento en las condiciones descritas anteriormente, se riega diariamente con 3 ml de agua destilada y se observa durante los siguientes 10, 13, 14 y 15 DPII, para registrar la aparición de los cotiledones del sustrato. Se realizaron tres réplicas independientes con tres repeticiones cada una para cada volumen evaluado (n= 9). Los valores cuantitativos se calcularon de la siguiente manera:

Capacidad total de germinación o porcentaje total acumulado de germinación (CTG%).

$$CTG \% = \frac{nFPR}{n} (100)$$

Donde: nFPR= radícula saliente final a los 9 días después del inicio de la imbibición (DPII); n= número de semillas utilizadas por repetición.

Tiempo inferido para alcanzar 50% de germinación (GT50) y 90% de germinación (GT90). Se calculó mediante la prueba PROBIT utilizando el valor de germinación acumulativa.

Porcentaje total de emergencia o porcentaje acumulativo de emergencia (CE%).

$$CE \% = \frac{nTSEC}{n} (100)$$

Donde: nTSEC= número de plántulas totales con cotiledones emergidos a 15 DPII; n= número de semillas utilizadas por repetición.

Momento en que ha emergido 90% de las plántulas (ET90). Se calculó mediante la prueba PROBIT utilizando los valores de emergencia acumulados.

Longitud acumulada de la radícula (CRL).

$$CRL = \frac{\sum RL}{n}$$

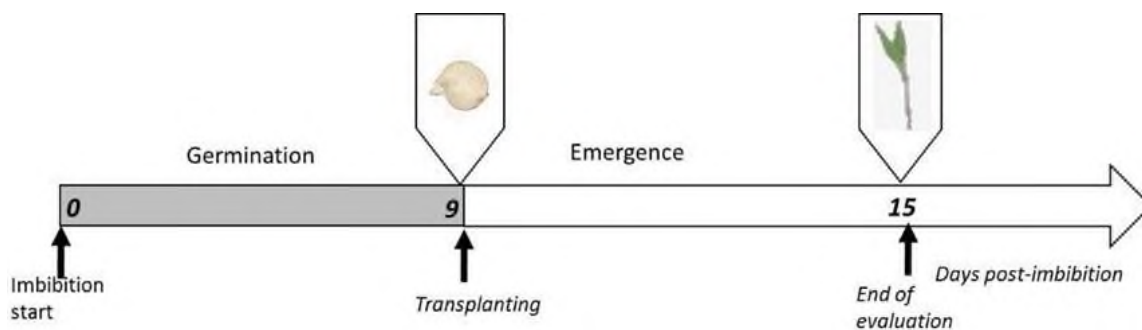
Donde:  $\sum RL$ = suma de la longitud de la radícula en el tiempo determinado; n= número de semillas con al menos 1 mm de longitud de radícula saliente.

Los valores de semillas germinadas por placa de Petri se convirtieron a porcentaje considerando 20 semillas como 100%. Los valores del porcentaje de germinación acumulativa se graficaron y analizaron para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Los datos se analizaron de una manera Anova seguido de la prueba de Tukey. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson en 9 DPII,  $p \leq 0.05$ . Todos los análisis estadísticos se realizaron en el software Minitab® (Minitab Inc. 2007), versión 15 para Windows, State College, Pennsylvania, EE. UU. Los gráficos se hicieron utilizando Office Excel 2016 (ver. 1611).

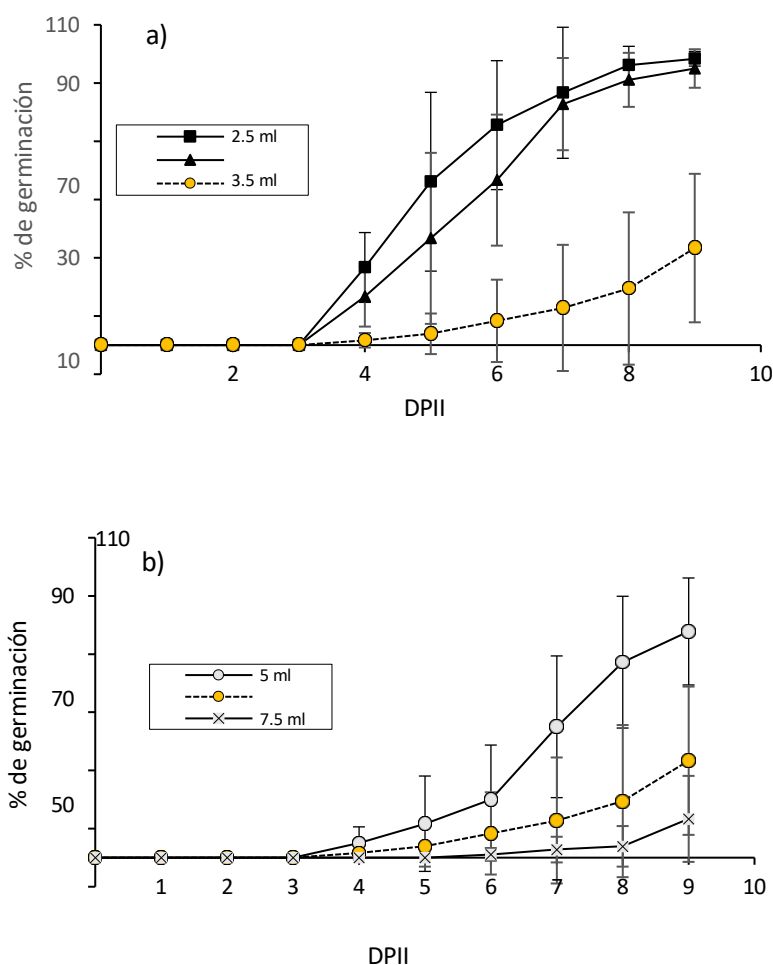
## Resultados y discusión

El conjunto de semillas utilizado para el estudio se evaluó de acuerdo con los criterios ISTA; todas las repeticiones alcanzaron más del 70% de germinación; por lo tanto, se consideraron adecuados para los ensayos de Garruña-Hernández *et al.* (2014). En el presente trabajo, estudiamos el efecto del precondicionamiento del agua en la germinación y emergencia de las semillas; el porcentaje de germinación se cuantificó en placas de Petri, mientras que el porcentaje de emergencia se determinó después de que las semillas germinadas se trasplantaron en macetas con sustrato (Figura 2).



**Figura 2. Estrategia experimental.** Línea de tiempo que indica los días después del inicio de la imbibición (DPII). La germinación se evaluó diariamente hasta el trasplante a 9 DPII y la emergencia hasta 15 DPII.

La germinación se cuantificó hasta las 9 DPII, ya que en un ensayo piloto se observó que en este momento, las semillas de dos tratamientos alcanzaron al menos 70% de la germinación. Los resultados del porcentaje de germinación acumulativa con respecto al tiempo se muestran en la Figura 3a, donde se puede observar que 2.5 y 3.5 ml de agua de imbibición aumentaron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) el porcentaje de germinación acumulada en comparación con 7.5 ml (volumen de referencia). Esta diferencia aparece desde el cuarto día después del inicio de la imbibición y, excepto en este momento, no hubo diferencias significativas entre 2.5 y 3.5 ml ( $p > 0.05$ ). La Figura 3b muestra los resultados del porcentaje de germinación acumulativa en respuesta al acondicionamiento con agua con 5 y 10 ml en comparación con 7.5 ml (volumen de referencia). El porcentaje de germinación acumulativa aumentó solo en el tratamiento de imbibición de agua de 5 ml desde 7 DPII ( $p \leq 0.05$ ).



**Figura 3. Efecto de diferentes volúmenes de imbibición de agua sobre la germinación de *C. chinense*.** a) las semillas se embebieron con 2.5 y 3.5 ml en comparación con el volumen de referencia (7.5 ml); y b) las semillas se embebieron con 5 y 10 ml en comparación con el volumen de referencia (7.5 ml). La germinación se evaluó diariamente después del inicio de la imbibición.

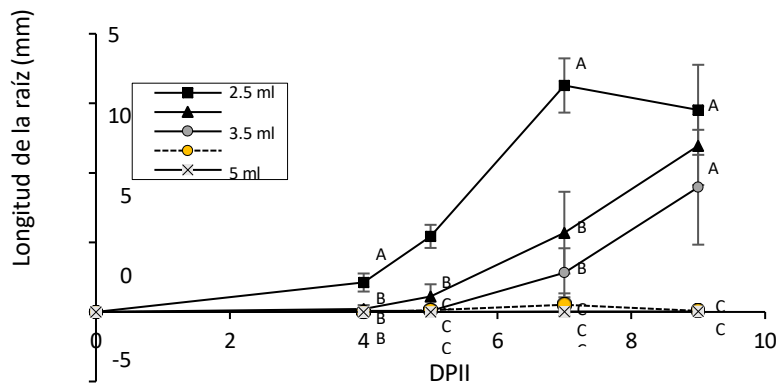
La capacidad de germinación o el porcentaje máximo acumulado de germinación a 9 DPII mostró una relación inversamente proporcional a la cantidad de agua utilizada para la imbibición de semillas. El coeficiente de correlación de Pearson fue -0.905,  $p=0.000$ . No hubo diferencias significativas en el porcentaje máximo de germinación acumulativa a 9 DPII entre los tratamientos 2.5, 3.5 y 5 ml de agua ( $p>0.05$ ), aunque mostraron diferentes promedios que pueden ser debidos a la alta variabilidad biológica inherente a las semillas de *Capsicum chinense* (SIPRUFO, 2009; Zárate-García y Sánchez-Azcorra, 2014; Garruña-Hernández *et al.*, 2014; Moo-Muñoz *et al.*, 2016). Además, hubo una disminución significativa en el porcentaje máximo de germinación acumulativa en 10 ml con respecto a 7.5 ml (el volumen de referencia) a 9 DPII ( $p\leq 0.05$ ) (Cuadro 1). En la Figura 2, se puede observar que a medida que aumenta el volumen de imbibición, también aumenta la variabilidad, lo que no permite demostrar estadísticamente las diferencias observadas entre todos los resultados.

**Cuadro 1. Capacidad de germinación a los 9 DPII y período de latencia que muestra la desviación estándar, así como comparaciones de prueba de Tukey en pares.**

Volumen de preacondicionamiento	N	Capacidad de germinación o porcentaje de germinación final*	Período de latencia*	Inferido GT50 (DPII)**
2.5	9	98.3 ±2.5 <sup>A</sup>	3.2 ±0.4 <sup>A</sup>	5.19 ±1.4 <sup>A</sup>
3.5	9	95 ±6.6 <sup>A</sup>	3.7 ±2.5 <sup>A</sup>	5.78 ±1.6 <sup>A</sup>
5	9	78 ±18.3 <sup>A</sup>	5 ±1.2 <sup>A</sup>	7.35 ±1.8 <sup>AB</sup>
7.5	9	33.3 ±25.5 <sup>B</sup>	7 ±2.3 <sup>B</sup>	9.78 ±2.3 <sup>BC</sup>
10	9	13.3 ±14.8 <sup>B</sup>	8.7 ±1.9 <sup>B</sup>	11.19 ±2.1 <sup>C</sup>

\*= las medias con letras diferentes son significativamente diferentes,  $p\leq 0.05$ ; \*\*= datos inferidos por el método Probit utilizando Minitab.

Las radículas de las plántulas se midieron durante la imbibición mostrando resultados similares al patrón de germinación; el estrés por agua limitada favoreció el aumento en la longitud de la radícula (Figura 4), con un coeficiente de correlación de Pearson a 9 DPII de -0.85,  $p=0.001$ . Sin embargo, el tratamiento con 2.5 ml, hay una disminución en los valores de longitud en 9 DPII, lo que puede indicar que una disminución excesiva del agua afecta el crecimiento. Estos resultados podrían explicarse, ya que las raíces son el órgano clave para la adaptación a la sequía Maldonado *et al.* (2003); Foolad, (2007); Florido y Fundora (2014) y por lo tanto, el crecimiento y arquitectura responden a las necesidades de los órganos aéreos. Heydecker *et al.* (1973); Petruzelli *et al.* (2003). En otras especies vegetales, se ha determinado que un aumento temprano en la longitud de la raíz es un indicador de resistencia al estrés (Florido y Fundora, 1998; Farooq *et al.*, 2008).



**Figura 4. Efecto de diferentes volúmenes de imbibición de agua en la longitud de la radícula de *C. chinense*.** Las semillas se embebieron con 2.5, 3.5, 5, 7.5 y 10 ml de agua destilada y la longitud de la radícula se midió a 4, 5, 7 y 9 DPH. El volumen de referencia fue de 7.5 ml.

Para determinar el efecto del volumen de agua en la tasa de germinación, el GT50 se calculó utilizando el método Probit que permite hacer inferencias, asumiendo una distribución normal de los datos. Este enfoque se adoptó por dos razones: a) el aumento del volumen de imbibición produce una mayor variabilidad en los datos; y b) el porcentaje de germinación de 7.5 y 10 ml no alcanzó 50% de germinación en el tiempo evaluado. Los resultados obtenidos permitieron calcular el tiempo necesario para alcanzar 50% de germinación para cada tratamiento de imbibición (Cuadro 1). El volumen de referencia (7.5 ml) tuvo un GT50 de 9.78 días; los volúmenes de 2.5 y 3.5 ml disminuyeron significativamente este tiempo (5.19 y 5.78 días, respectivamente,  $p \leq 0.05$ ), aunque no hubo diferencias significativas entre ellos, mientras que 5 ml no mostraron diferencias significativas en comparación con 7.5 ml. Por el contrario, 10 ml aumentaron significativamente el GT50 (11.19 días). Estos resultados muestran que el estrés por agua limitada, aumenta la tasa de germinación.

Además, el período de latencia en semillas embebidas en volúmenes bajos se reduce significativamente en comparación con el volumen de referencia y 10 ml. El efecto observado es similar a los resultados obtenidos en otros modelos, donde el precondicionamiento de las semillas incrementó la tasa de germinación y el porcentaje final (Mc Donald, 2000; Foolad, 2007; Labate *et al.*, 2007; Morandi-Dezfuli *et al.*, 2008).

En trabajos anteriores, se menciona que las condiciones de estrés relacionadas con la disponibilidad de agua favorecen la germinación de *Capsicum chinense* (Garruña-Hernández *et al.*, 2014), debido a características genéticas que permiten a las semillas adaptarse a limitaciones de agua (Maldonado *et al.*, 2003). En otros modelos, como algunas variedades de *Zea mays* y *Helianthus annuus* L., una limitación controlada de agua favorece la tasa de germinación tanto con osmóticos como con precondicionamiento del agua (Dubreux *et al.*, 2000; Mc Donald, 2000; Ramón y Mendoza, 2002; Rojo, 2005; Zhang *et al.*, 2007; Farooq *et al.*, 2008; Guan *et al.*, 2009; FAOSTAT, 2014).

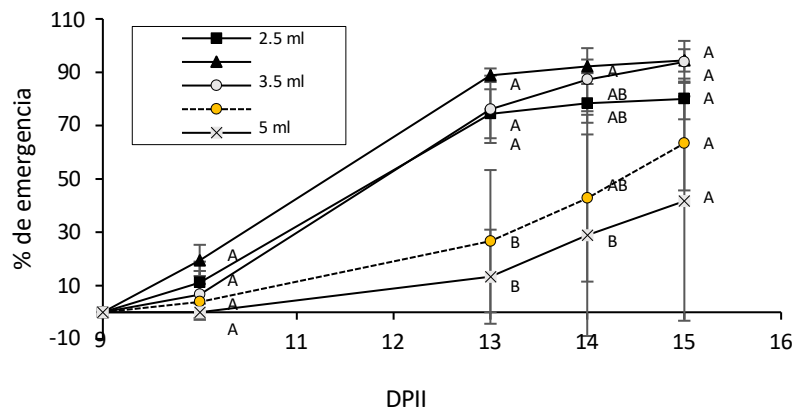
En general, la tendencia de los parámetros evaluados muestra que aumentar la imbibición del agua aumenta el tiempo de germinación, el período de latencia y el GT50 (Tabla 1). Además, otros factores en el sistema deben ser considerados; por ejemplo, oxígeno, que

es esencial para el metabolismo aerobio de las semillas (Prisco *et al.*, 1992; Koorneef *et al.*, 2002; Ramón y Mendoza, 2002) y que podría estar menos disponible al aumentar el volumen de agua, formando una película más gruesa que disminuye difusión de este gas. Además, es importante tener en cuenta algunos elementos de la cubierta de la semilla que cuando se remojan en agua dificultan la entrada de oxígeno al embrión (Rojo, 2005; Doria, 2010).

Otra variable importante a considerar es que el sistema utilizado en el presente trabajo está sellado con una película de cloruro de polivinilo, y esto también debe tomarse en cuenta para la acumulación de gases Mavi *et al* (2010) que son productos del metabolismo de las semillas, como el etileno gaseoso que está estrechamente relacionada con la germinación cuando es inhibida por ABA (Beaudoin *et al.*, 2000). En este sentido, se ha informado que el etileno promueve la germinación de las semillas al antagonizar con ABA (Beaudoin *et al.*, 2000; Limkies *et al.*, 2009; Ghassemian *et al.*, 2014). Además, el etileno induce la expresión de genes que codifican enzimas relacionadas con la protuberancia de la radícula, como la  $\beta$ -1,3-glucanasa (Petruzzelli *et al.*, 2003).

Por otro lado, con respecto al promedio del porcentaje de emergencia acumulativa (Figura 5), se puede observar que los valores más altos corresponden a los volúmenes más bajos (3.5, 5 y 2.5 ml, respectivamente) en comparación con el volumen de referencia (7.5 ml), mientras que Los valores

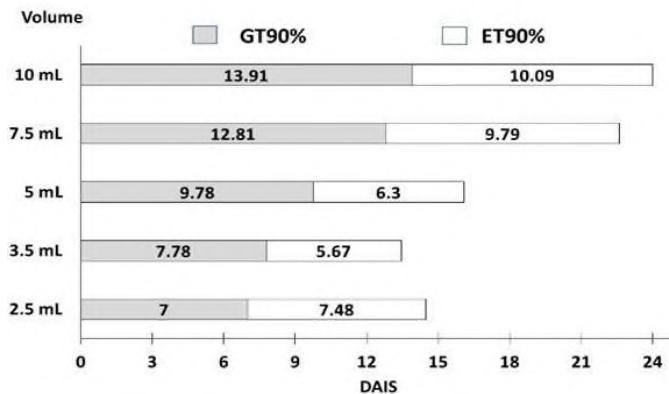
más bajos corresponden a 10 ml. También se observó que cuando el volumen de imbibición aumentaba, la dispersión de los datos también aumentaba a medida que se producía la germinación. Debido a este aumento en la dispersión, solo se encontraron diferencias significativas en 13 DPII. El coeficiente de correlación de Pearson fue de -0.641,  $p=0.01$  para la distribución de los valores del porcentaje de emergencia frente a los volúmenes de imbibición. Se puede observar que los tratamientos con 3.5 y 5 ml se distribuyen por encima de la línea de regresión, mientras que los datos de 2.5 ml del tratamiento se distribuyen por debajo de la línea de regresión. Los datos del volumen de referencia (7.5 ml) y el tratamiento de 10 ml tuvieron una gran dispersión.



**Figura 5.** Efecto del volumen de imbibición sobre la emergencia de *C. chinense*. Las semillas embebidas con 2.5, 3.5, 5 y 10 ml de agua y el volumen de referencia (7.5 ml) se trasplantaron al suelo y la emergencia de la planta se evaluó 1, 4, 5 y 6 días después del trasplante.

Es importante notar que a pesar de que 2.5 ml fue el mejor tratamiento para la germinación, al analizar la emergencia, este tratamiento ocupó el tercer lugar. Este comportamiento puede sugerir que, aunque el estrés hídrico limitado favorece la germinación, cuando es excesivo, tiene un efecto negativo en la emergencia (Heydecker *et al.*, 1973; Sánchez *et al.*, 2001; Rojo, 2005; Stepunh y Raney, 2005; Moradi-Dezfulli *et al.*, 2008; Doria *et al.*, 2010; Nicasio-Arzeta *et al.*, 2011; Florido and Fundora, 2014).

Finalmente, GT90 y ET90 se calcularon mediante el método Probit utilizando el software Minitab. Se trazó un gráfico de barras apiladas con estos valores, para comparar la suma de los tiempos estimados totales en los que se alcanzaría el 90% de emergencia después de trasplantar semillas con 90% de germinación (Figura 6). El tiempo total para las semillas embebidas con el volumen de referencia (7.5 ml) fue de 22.6 días, mientras que para 3,5 ml fue de 13 días, lo que corresponde a aproximadamente la mitad del tiempo (0.59 veces). La suma de GT90 y ET90 de las semillas embebidas con 2.5, 5 y 10 ml fueron 15, 16 y 24 días, respectivamente, y corresponden a 0.68, 0.72 y 1.09 veces la suma de las semillas tratadas con el volumen de referencia. Los resultados muestran que los tratamientos con 3.5 y 5 ml, en ese orden, favorecen la emergencia y aunque 2.5 ml fue el mejor tratamiento para estimular la germinación, ocupó el tercer lugar para la emergencia. Por lo tanto, se puede concluir que una mayor tasa de germinación no necesariamente produce una mejora en el porcentaje de emergencia.



**Figura 6. Gráfico de barras apiladas de las estimaciones de GT90 y ET90 calculadas por el método Probit utilizando el software Minitab.**

## Conclusiones

El preacondicionamiento del agua en las semillas de *C. chinense* fue suficiente para estimular la germinación y disminuir el GT50 y el tiempo de latencia de forma inversamente proporcional, es decir, el mayor porcentaje de germinación y la tasa se obtuvieron con los volúmenes de imbibición de agua más bajos. Sin embargo, cuando se trasplantaron semillas de *C. chinense*, para analizar la emergencia, no hubo una mayor correlación inversa entre el volumen de imbibición y el porcentaje de emergencia, lo que sugiere que una mayor tasa de germinación inducida por bajos volúmenes de agua de imbibición (2.5 ml), no necesariamente resulta en una mejora en la emergencia.

La contribución de este trabajo fue evidenciar que la correcta hidratación de la semilla tiene efecto en etapas posteriores a la germinación, incluso, sin agregar reguladores de crecimiento o inductores. Además, se observó que el preacondicionamiento del agua disminuye el comportamiento errático (grandes desviaciones estándar) de los parámetros analizados durante la germinación.

Se sugiere en estudios futuros el desarrollo de plántulas de *C. chinense*, el preacondicionamiento del agua se debe considerar como la primera opción para optimizar las tecnologías de producción, y GT90 y ET90 se utilizan para predecir tiempos óptimos de germinación y emergencia. Para poder asesorar adecuadamente a los productores, es necesario analizar más etapas fenológicas.

## Literatura citada

- Artola, A.; Carrillo, C. G. and De los Santos, G. 2010. Hydropriming: a strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. *Seed Sci. Technol.* 31(2):455-463.
- Beaudoin, N.; Serizet, C.; Gosti, F. and Giraudat, J. 2000. Interactions between abscisic acid and ethylene signaling cascades. *Plant Cell.* 12(7):1103-1116.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales.* 31(1):74-85.
- Dubreucq, B.; Berger, N.; Vincent, E.; Boisson, M.; Caboche, M. and Lepiniec, I. 2000. The *Arabidopsis Atepr1* extensin-like gene is specifically expressed in endosperm during seed germination. *J. Plant.* 23(5):643-652.
- FAOSTAT. 2014. [Http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries-by-commodity](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries-by-commodity).
- Farooq, M.; Aziz, T.; Basra, A.; Cheema, M. A. and Rehman, H. 2008. Chilling tolerance in hybrid maize induced by seed priming with salicylic acid. *J. Agron. Crop. Sci.* 194(2):161-168.
- Farooq, M.; Wahid, A.; Ahmad, N. and Asad, S. P. 2010. Comparative efficacy of surface drying and re-drying seed priming in rice: changes in emergence, seedling growth and associated metabolic events. *Paddy Water Environ.* 8(1):15-22.
- Florido, M. and Fundora, L. 2014. Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) *Cultivos Tropicales.* 35(3):70-88.
- Foley, M. E. and Fennimore, S. A. 1998. Genetic basis for seed dormancy. *Seed Sci. Res.* 8(2):173-182.
- Foolad, M. 2007. Tolerance to abiotic stresses. *In: Razdan, M. K. y Matoo, A. K. (Eds.). Genetic improvement of solanaceous crops: tomato.* Science Publishers Enfield. 2:521-590.
- Garruña, H. R.; LaTournerie, M. L.; Ayala, G. O.; Santamaría, J. y Pinzón, L. L. 2014. Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense jacq*). *Agrociencia.* 48(4):413-423.
- Ghassemian, M.; Nambara, E.; Cutler, S.; Kawaide, H.; Kamiya, Y. and McCourt, P. 2000. Regulation of abscisic acid signaling by the ethylene response pathway in

- Arabidopsis*. Plant Cell. 12(7):1117-1126.
- Guan, Y. J.; Hu, J.; Wang, X. J. and Shao, Ch. J. 2009. Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. J. Zhejiang Univ. Sci. B. 10(6):427-433.
- Hacisalihoglu, G. and Ross, Z. 2010. The influence of priming on germination and soil emergence of non-aged and aged annual ryegrass seeds. Seed Sci. Technol. 38(6):214-217.
- Heydecker, W.; Higgins, J. and Gulliver, R. L. 1973. Accelerated germination by osmotic seed treatment. Nature. 246(2):42-46.
- Iqbar, M. and Ashraf, M. 2005. Changes in growth, photosynthetic capacity and ionic relations in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) due to pre-sowing seed treatment with polyamines. Plant Growth Regul. 46(1):19-30.
- ISTA. 2017. International rules for seed testing. International rules for seed testing. <http://www.seedtest.org/en/ista-rules-for-2017--content---1--1448.html>.
- Koornneef, M.; Bentsink, L. and Hilhorst, H. 2002. Seed dormancy and germination. Curr. Opin. Plant Biol. 5(1):3-36.
- Labate, J.; Grandillo, S.; Fulton, T.; Munos, S.; Caicedo, A.; Peralta, I.; Ji, Y.; Chetelat, R.; Scott, J.; Gonzalo, M. 2007. Tomato *In*: genome mapping and molecular breeding in plants genome mapping. Springer International Publishing AG. NY. USA. Mol Breed. 5:1-125.
- Linkies, A.; Muller, K.; Morris, K.; Tureckova, V.; Wenk, M.; Cadman, C. S. C.; Corbineau, F.; Strnad, M.; Lynn, J. R.; Finch-Savage, W. E. and Leubner-Metzger, G. 2009. Ethylene interacts with abscisic acid to regulate endosperm rupture during germination: a comparative approach using *Lepidium sativum* and *Arabidopsis thaliana*. Plant Cell. 21 (12):3803-3822.
- Maldonado, C.; Pujado, E. and Squeo, F. A. 2003. Phenotypic response of *Lycopersicon chilense* to water deficit. Rev. Chil. His. Nat. 76 (2):129-137.
- Mavi, K., Light, M. E.; Demir, I.; Staden, V. and Yasar, F. 2010. Positive effect of smoke-derived butenolide priming on melon seedling emergence and growth. J. Crop Hort. 38(2):147-155.
- McDonald, M. B. 2000. Seed priming *In*: seed technology and its biological basis. Black, M. and Bewley, D. (Eds). Academic Press, London. 286-32.pp.[www.seedbiology.de/seedtechnology.asp](http://www.seedbiology.de/seedtechnology.asp)
- Montes, S.; López, P.; Hernández, S. y Ramírez, M. Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género *Capsicum* que crecen y se cultivan en México. INIFAP- bajío. [www.biodiversidad.gob.mx/genes/centrosOrigen/Capsicum/1er-Informe/Primer%20informe%20Capsicum.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/centrosOrigen/Capsicum/1er-Informe/Primer%20informe%20Capsicum.pdf).
- Moo, M. A. J.; Ayala, G. O. J.; Latournerie, M. L.; Tzec, M. Y. A. and Pinzón, L. L. L. 2016. Effect of maturity and drying of *Capsicum chinense* Jacq. seeds. Agroprod. 9(1):63-67.

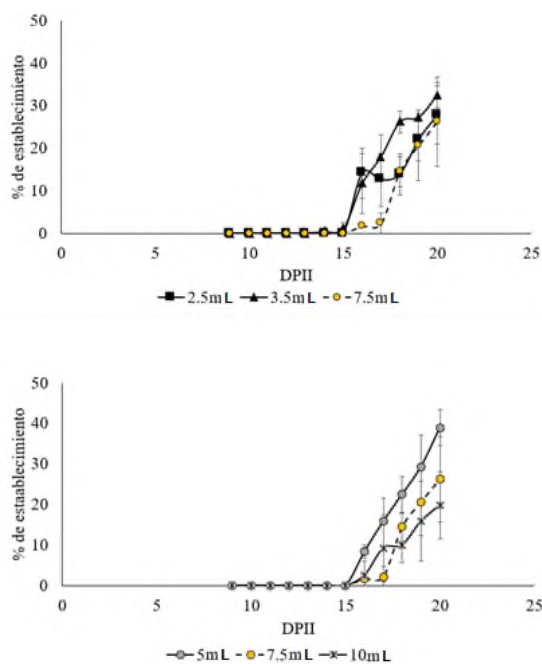
- Moradi, D. P.; Sharif, Z. F.; Janmohammadi, M. 2008. Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines. *ARP. J. Agric. Biol. Sci.* 3(3):22-25.
- Nicasio, A. S.; Sánchez, C. M. E.; Orozco, S. A. y Gamboa, de B. A. 2011. Efecto del preacondicionamiento y el sustrato salino en la germinación y el crecimiento de plántulas de maíz, (*Zea mays*) raza Chalqueño. *Agrociencia.* 45(2):195-205.
- Pérez-Castañeda, L. M.; Castañon, N. G.; Ramírez, M. M. y Mayek, P. N. 2015. Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* sp. *Ecos. Rec. Agrop.* 2(4):117-128.
- Petruzzelli, L.; Muller, K.; Hermann, K. and Leubner, M. G. 2003. Distinct expression patterns of  $\beta$ -1,3-glucanases and chitinases during the germination of *Solanaceous* seeds. *Seed Sci. Res.* 13(2):139-153.
- Prisco, J. T.; Haddad, C. R. and Bastos, J. L. P. 1992. Hydration-dehydration seed pre-treatment and its effects on seed germination under water stress conditions. *Rev. Brasil. Bot.* 15(1):31-36.
- Ramón, M. y Mendoza, C. 2002. Efecto del deterioro post-corte sobre la germinación de la semilla asexual de cinco variedades de caña de azúcar. *Rev. Fac. Agron.* 19(4):264-272. <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0378-78182002000400002>.
- Rojo, C. 2005. Acondicionamiento osmótico de simientes de girasol (*Helianthus annuus* L.) para el avance de la germinación en siembras precoces para zonas áridas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid. España.
- Sánchez, A. J.; Orta, R. y Muñoz, B. 2001. Tratamientos pre germinativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agr. Cost.* 25(1):67-92.
- SIAP.2012.Chile habanero de la península de Yucatán. <http://www.siap.gob.mx/index.php?option=comcontent&view=article&id=338:chilehabanero-de-la-peninsuladeyucatan&catid=91:infogramas&itemid=570>.
- SIFUPRO. 2009. Paquete tecnológico de chile habanero. Sistema de Información de Fundaciones Produce. Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce, AC.
- Stepuhn, H. and Raney, J. 2005. Emergence, height, and yield of canola and barley grown in saline root zones. *Canadian J. Plant Sci.* 85(4):815-827.
- Taylor, G. B. 1981. Effect of constant temperature treatments followed by fluctuating temperatures on the softening of hard seeds of *T. subterraneum* L. *Aust. J. Plant Phys.* 8(6):547-558.
- Zárate, G. A. y Sánchez, A. P. S. 2014. Efecto de reguladores de crecimiento y desarrollo sobre la producción de semillas en chile habanero. *In: informe final de residencia profesional. Ingeniería en Agronomía. Instituto Tecnológico de la Zona Maya. México.*

Zhang, C. F.; Hu, J.; Lou, J.; Zhang, Y. and Hu, W. M. 2007. Sand priming in relation to physiological changes. Seed germination and seedling growth of waxy maize under high salt stress. *Seed Sci. Technol.* 35(3):733-738.

## .2.2 Resultados adicionales de la publicación 2.

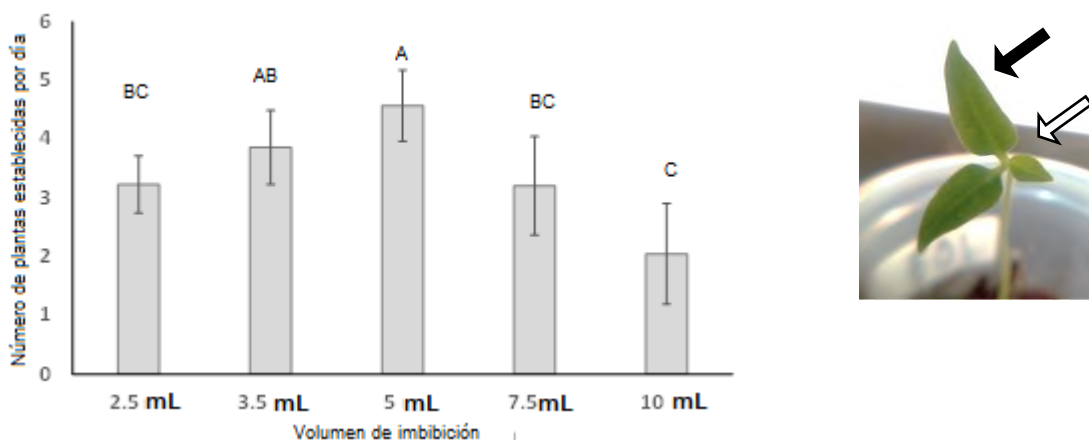
Las características del proceso de germinación que son consideradas como importantes para los tecnólogos y fisiólogos de semillas incluyen: el tiempo y la velocidad (Ranal y García-Santana, 2006). Los resultados de Hernández-López *et al.*, 2018, mostraron que el estrés hídrico por deficiencia de agua incrementa la velocidad de germinación. Asimismo, el periodo de latencia en las semillas imbibidas con volúmenes bajos de agua, se acorta significativamente cuando se compara con el volumen de referencia. Este efecto es congruente con los resultados obtenidos en otros modelos, donde el pre-acondicionamiento de las semillas incrementa la velocidad y el porcentaje final de germinación (Nicasio-Arzeta *et al.*, 2011; Mac-Donald, 2000).

Las plántulas evaluadas para la emergencia se monitorearon hasta alcanzar el establecimiento. Este último parámetro se definió como la aparición de la hoja verdadera en las plántulas. Los resultados se muestran en la Figura 6.



**Figura 6 Efecto de diferentes volúmenes de imbibición de agua sobre el establecimiento de *C. chinense*.** El establecimiento se evaluó diariamente después de la emergencia de las plántulas. a) las semillas se imbibieron con 2.5 y 3.5 mL y b) las semillas se imbibieron con 5 y 10 mL en ambos casos se compararon con el volumen de referencia (7.5 mL). (\*) indica diferencias significativas con respecto al volumen de referencia.

Como se observa en la Figura 6, ninguno de los volúmenes utilizados mostró diferencias significativas ( $p \geq 0.5$ ) en el porcentaje de establecimiento acumulado a los 22 DPII, con respecto al volumen de referencia 7.5 mL, debido a que a mayor volumen de imbibición también se aumenta la desviación estándar. Sin embargo, la tendencia de los promedios indica que los tratamientos con mayor volumen de imbibición disminuyen el porcentaje de establecimiento y aumentan la variación de los resultados, es decir que a mayor volumen de imbibición hay una asincronía mayor en la salida de las hojas verdaderas. Sin embargo, las plántulas de semillas imbibidas con 5 y 3.5 mL tienen un porcentaje de establecimiento acumulado a 22 DPII significativamente mayor (38.9 y 32.5%, respectivamente) al volumen de 10 mL (19%) ( $p \leq 0.05$ ). En la Figura 7, se muestra la velocidad de establecimiento por día, el volumen de 5 mL mostró la mayor velocidad de establecimiento seguido de 3.5, 2.5 y 7.5 y finalmente 10 mL, respectivamente. En cuanto a la velocidad, 5 mL es significativamente más rápido que 2.5, 7.5 y 10 mL, no mostrando diferencias significativas con 3.5 mL, por lo que se puede considerar que el rango de volúmenes óptimos se encuentra entre 3.5 y 5 mL, siendo 5 mL el óptimo de los volúmenes probados. Por lo tanto 2.5 mL está en el rango de deficiencia hídrica y por el otro lado, 10 mL está en el rango del exceso y ambos extremos afectan el desarrollo temprano de *Capsicum chinense*. Cabe destacar que ninguno de los volúmenes subóptimos probados generó un estrés letal, sin embargo, sí retrasaron el crecimiento aun cuando a los nueve días se realizó el trasplante y a partir de ese momento se homogeneizaron los volúmenes de riego a 3 mL diarios.



**Figura 7. Velocidad de establecimiento de las plántulas de *Capsicum chinense* germinadas con diferentes volúmenes de agua. Las flechas negras indican a los cotiledones y la flecha clara la hoja verdadera (Elaboración propia).**

Los resultados obtenidos muestran que la correcta hidratación de las semillas influye sobre etapas posteriores a la germinación aún sin la adición de efectores o inductores del crecimiento. La variación de los volúmenes de imbibición en las semillas de chile, fue suficiente para estimular la germinación, disminuir el TG<sub>50</sub> y el tiempo de latencia, es decir que, el mayor porcentaje y velocidad de germinación corresponden a los tratamientos con volúmenes menores.

La germinación de las semillas se llevó a cabo por 9 días en cajas Petri, usando 5 mL, se determinaron los porcentajes máximos de germinación y posterior al trasplante se estudiaron la emergencia y el establecimiento (definido como aparición de la primera hoja verdadera). En total se completaron 22 días por cada experimento (Figura 8).



**Figura 8. Fechas relevantes del Sistema de germinación y emergencia (Elaboración propia).**

## 8.3 PUBLICACIÓN 3 (ENVIADO PARA PUBLICACIÓN)

### 8.3.1 Comentarios a la Publicación 3

*Capsicum chinense* (chile habanero), es un cultivo de gran importancia económica, pero existen pocos estudios para caracterizar la dinámica de las etapas fenológicas del cultivo y optimizar su cultivo para AP, incluso no existe un consenso sobre el tiempo necesario para alcanzarlas bajo condiciones de estudio estándar (requerimientos de la ISTA), lo que limita el uso de los efectores (hormonas, nutrientes o estrés) para minimizar tiempos y recursos. En modelos de germinación *in vitro*, se ha encontrado que las glucocininas favorecen el crecimiento del sistema radicular y el ciclo celular. Por ello, los objetivos de este trabajo, fueron: 1) evaluar el efecto de una glucocinina de origen animal (Goa), 2) el de la glucosa, 3) así como la combinación de ambos efectores sobre la germinación, la emergencia y el establecimiento. Los resultados mostraron que la glucosa y la combinación parecen retrasar la germinación en comparación con el Testigo. Ningún tratamiento afecta la emergencia, pero si tienen efecto sobre el establecimiento. El porcentaje de establecimiento máximo para la Goa fue el más alto, seguido de Glucosa, que a su vez fue seguido por la combinación. El tratamiento con la Goa, incrementó el largo de la radícula, medido a los 22 días posteriores al inicio de la imbibición (DPII), con respecto a los otros tratamientos, así como el número de raíces laterales con respecto a los tratamientos, mientras que la longitud del hipocótilo en los tratamientos es mayor al Testigo no habiendo diferencia entre ellos. Finalmente, los tratamientos minimizaron el tiempo global requerido para que las plántulas alcanzaran el establecimiento con respecto al Testigo, en un 37% para la Goa y en un 28 y 26% para la glucosa y la combinación, respectivamente.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35

Tipo de manuscrito: artículo científico

**EFFECTO DE LAS GLUCOCININAS EN EL DESARROLLO TEMPRANO DE *Capsicum chinense* Jacq. Var Jaguar**

**Hernández-López Alejandro<sup>1,2</sup>, Ávila-Alejandre Alma Xóchil<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Científicas, Instituto de Biotecnología, Universidad del Papaloapan, Circuito Central 200 Parque Industrial, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México. C.P. 68300.

<sup>2</sup>Labiott. Calle Jesús Carranza, Mz6 Lt. 12, Col. Universidad, San Juan Bautista, Tuxtepec, Oaxaca, México. C. P. 68776.

\*Autor para correspondencia: axavila@edu.mx.

**Citation:** Hernández-López A. Avila-Alejandre A.X 2023. XXX. Agrociencia <https://doi.org/XXXX>  
**Editor in Chief:** Dr. Fernando C. Gómez-Merino

Received: month, year.  
Approved: month, year.  
Published in Agrociencia #: #-#. 2023.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non- Commercial 4.0 International license.



**ABSTRACT**

*Capsicum chinense* (chile habanero), es un cultivo de gran importancia económica, pero pocos estudios han caracterizado las etapas fenológicas del cultivo para Agricultura Protegida (AP), lo que limita el uso de hormonas, nutrientes o estrés para optimizar su cultivo y minimizar tiempos y recursos. En modelos de germinación *in vitro*, las glucocininas favorecen el crecimiento del sistema radicular y el ciclo celular. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de una glucocinina de origen animal (Goa), de la glucosa y la combinación de ambos, en la germinación, la emergencia y el establecimiento. Se analizó el efecto de los tratamientos sobre: el número de plantas en cada etapa, (expresado como porcentaje), la tasa de cambio y el fenotipo. En cada etapa, se calculó la velocidad mediante la primera derivada y a partir de éstas, el tiempo al cual el 50 % de la población alcanzó el criterio de inclusión. Los resultados se analizaron con ANOVA y PROBIT. La glucosa y la combinación parecen retrasar la germinación en comparación con el testigo. Ningun tratamiento afectó la emergencia, pero si al establecimiento. El porcentaje de establecimiento máximo para la Goa fue el más alto, seguido de glucosa, que a su vez fue seguido por la combinación. Los tratamientos disminuyeron el tiempo global al que las plántulas alcanzaron el establecimiento, en un30% para la Goa y en un 26% y 26.3% para la glucosa y la combinación, respectivamente. El tratamiento con la Goa, incrementó el largo de la radícula y el número de raíces laterales con respecto a los tratamientos, mientras que

la longitud del hipocótilo en los tratamientos es mayor al testigo sin diferencia entre ellos. 1  
Se sugiere que la aplicación de Goa es una estrategia que podría ser útil para optimizar el 2  
cultivo de chile habanero en AP. 3

**Palabras clave:** *Capsicum chinense*, glucocinina, Agricultura protegida, semillas, 4  
acondicionamiento, precocidad. 5

## INTRODUCCIÓN 8

En los últimos diez años, se ha incrementado la incorporación de acciones de Agricultura 9  
Protegida (AP) por algunos agricultores mexicanos como una alternativa de los procesos 10  
agrícolas a cielo abierto. La AP, favorece el desarrollo de los cultivos y minimiza los efectos 11  
de las variaciones climáticas o las plagas, pero además se ha perfilado como una alternativa 12  
para reducir el impacto ambiental de las actividades agrícolas convencionales intensivas 13  
(utilizadas desde los años 1940's), sin menoscabo de la productividad en un entorno de 14  
creciente demanda de alimentos de calidad. Además, permite una mejor gestión de los 15  
suelos y el agua (Moreno-Reséndez *et al.*, 2011). Sin embargo, uno de los principales retos 16  
para la implementación de la AP, es el costo de los insumos necesarios y la recuperación de 17  
la inversión en éstos, por lo que los módulos de cultivo no pueden ser extensos. Entre las 18  
estrategias que se proponen para hacer más eficiente la AP se encuentran: seleccionar 19  
cultivos con alta rentabilidad, el uso de semilla certificada, la optimización del riego, la 20  
adecuada fertilización y el uso de reguladores del crecimiento que favorezcan el desarrollo 21  
del cultivo y afrontar el estrés biótico y abiótico. 22

En 2021, el gobierno de México reportó que las hortalizas son el grupo de cultivos que más 23  
se producen mediante AP, con el 59 % de la superficie dedicada a este tipo de cultivo, que 24  
representa alrededor de 28 mil hectáreas, seguida de los frutales, con 35 % y una cobertura 25  
de 16 mil hectáreas (SADER, 2023). 26

Entre las hortalizas susceptibles a la incorporación en AP se encuentra *Capsicum chinense* 27  
(chile habanero), el cual, es un cultivo muy rentable. En 2022, los precios se ubicaron desde 28  
\$65 hasta \$130 MNX/kg (SIAP, 2022). Ya se comercializan semillas certificadas de algunas 29  
variedades Actualmente, su cultivo se realiza primordialmente a campo abierto para lo cual 30  
se requiere de grandes extensiones de terreno donde se dificulta la gestionar 31  
adecuadamente el agua o los fertilizantes y se pueden generar amplias pérdidas debido a 32  
por las plagas y las eventualidades climáticas. 33

Existen pocos estudios sobre el cultivo de chile habanero con miras a caracterizar la 34  
dinámica de sus etapas fenológicas, con el objeto de usarlas como referencias para 35  
optimizar su cultivo para AP, incluso, entre los diferentes autores, no existe un consenso de 36

cuáles son los mejores marcadores de cada una de las etapas fenológicas, ni el tiempo necesario para alcanzarlas bajo condiciones de estudio estándar (requerimientos de la ISTA), lo que impide determinar con certeza la contribución que puedan tener los efectores (hormonas, nutrientes o estrés) sobre la minimización de los tiempos y de los recursos. Por ejemplo, para la variedad Jaguar, se ha reportado que la floración se inicia de 70-85 días y la cosecha se realiza de 115-120 días después de la siembra tanto en el campo como en AP (Ramírez-Meraz *et al.*, 2018), sin embargo, no se proporcionan datos sobre las etapas de desarrollo temprano. En un trabajo previo de nuestro laboratorio, se determinaron las condiciones adecuadas de imbibición para la variedad Jaguar (desarrollada por el INIFAP en el año 2009) (Hernández-López *et al.*, 2018). Adicionalmente, se comprobó que en chile habanero var. Jaguar los tiempos de germinación y emergencia se ven afectados con el volumen de agua de imbibición, en ensayos que se realizaron *in vitro* y sin la adición de efectores o nutrientes a 29 °C. Con el mejor tratamiento (3.5 mL) se requirieron de 7.7 días posteriores al inicio de la imbibición (DPII) para alcanzar un 90 % de germinación (calculados mediante una adaptación del método PROBIT) y 13.1 DPII para alcanzar un 90 % de emergencia (Hernández-López *et al.*, 2018). En otros ensayos donde las semillas (no se reporta la variedad) pasaron por un preacondicionamiento hídrico (totalmente sumergidas y con aire forzado) se requirieron 14 días para alcanzar el 40 % de germinación (Garruña-Hernández *et al.*, 2014); el mismo autor reporta que para alcanzar el 80 % de emergencia se requieren 21 días. A su vez, Cortés-Sánchez *et al.* (2014), reportó que para alcanzar el 41 % de la germinación deben pasar 14 días y 38 días para alcanzar el 80 % de la emergencia (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Comparativo de tiempos del desarrollo temprano para *Capsicum chinense*.

Tipo de semilla	Efactor	Días						Referencia
		Germinación		Emergencia		Establecimiento		
		40%	90%	80%	90%	50%	90%	
<b>Criolla</b>	Agua	14	ND	21	ND	ND	ND	Garruña-Hernández <i>et al.</i> , 2014
	PEG	11	15	18	ND	ND	ND	
	ABA	8	11	18	ND	ND	ND	
	GA3	7	11	19	ND	ND	ND	
<b>Certificada</b>	Agua	ND	ND	35	Nd	ND	ND	SIPRODUCE, 2009
<b>No Certificada</b>	AG3/Micorrizas en laboratorio	14	ND	ND	ND	ND	ND	Cortés-Sánchez <i>et al.</i> , 2014
	AG3/Micorrizas en campo	ND	ND	38	ND	ND	ND	
<b>Certificada</b>	Ninguno	ND	ND	ND		ND	78	Ramírez- Meraz, <i>et al.</i> , 2018
<b>Certificada</b>	Priming hídrico (5mL)	6	9.37	16	17	22	33.4	Hernández-López <i>et al.</i> , 2018

1  
2 En condiciones de cultivo a cielo abierto, se requiere la germinación de una gran cantidad  
3 de semillas, ya que es necesario tener disponibles grandes cantidades de plántulas para  
4 trasplante, por lo cual las plántulas o semillas sobrantes se deshechan cuando se alcanza  
5 la cantidad necesaria; lo cual no es deseable, ya que el costo de la semilla es bastante alto,  
6 alrededor de \$ 5400 MXN/libra (Hernández-López *et al.*, 2019; Hernández-López *et al.*, 2018).  
7 Adicionalmente, las semillas tienen una pérdida de la viabilidad por efecto del  
8 almacenamiento (Bissoli *et al.*, 2022). Las semillas producidas y comercializadas por el  
9 INIFAP, tienen una advertencia de pérdida de la capacidad germinativa 3 semanas después  
10 de adquirida la semilla, lo cual también es una fuente de aumento de los costos de  
11 producción.

12 De lo anterior, se observa que los tiempos de desarrollo temprano indicados, varían  
13 significativamente, adicionalmente, no existe sincronización ni en la germinación, ni la  
14 emergencia o el establecimiento en las semillas *C. chinense*, ni se alcanzan porcentajes de  
15 germinación altos, sobre todo en las variedades criollas, por lo que los datos obtenidos hasta  
16 ahora por otros autores, no son útiles como referencia para la adecuada gestión de los  
17 espacios en agricultura protegida, porque no permiten optimizar los espacios dentro de los  
18 módulos, ni permiten definir la respuesta a los reguladores del crecimiento y por lo tanto  
19 decidir cuál es un mejor tratamiento para favorecer el desarrollo.

20 Los bioestimulantes del crecimiento (BEC), son productos que se aplican a los cultivos  
21 (fitohormonas, péptidos, nutrientes, etc.) que estimulan los procesos de nutrición vegetal  
22 (García-García, 2020), el crecimiento, la respuesta a estrés y la calidad del cultivo (Du-Jardin,  
23 2020) o la rizósfera (García-García, 2020).

24 En este sentido, las glucocininas (Glc) son una familia de proteínas relacionadas con la  
25 insulina que fueron descritas por primera vez por Eyster y Ellis en 1924 y que participan en  
26 la regulación del metabolismo de carbohidratos tanto en animales (Goa) como en vegetales  
27 (Gov) (Hernández-López *et al.*, 2018, Laguna-Hernández *et al.*, 2017). Actualmente, se sabe  
28 que estimulan la conversión de grasas a carbohidratos en semillas de calabaza y girasol  
29 (Goodman y Davis, 1993), incrementan el transporte de aminoácidos al interior de las  
30 células animales (Sangeetha y Vasanthi, 2009), estimulan el crecimiento celular en  
31 embriones germinados de maíz (Sánchez de Jiménez *et al.*, 1999); aumentan el tamaño en  
32 plántulas de frijol (Oliveira *et al.*, 2004) y regulan la expresión de genes relacionados con la  
33 germinación y el ciclo celular en embriones de maíz (Avila-Alejandre *et al.*, 2013) por la vía  
34 de la proteína cinasa blanco de la rapamicina (TOR, por sus siglas en inglés Target of  
35 rapamycin) (Pascual-Morales *et al.*, 2012).

36 Sin embargo, los primeros estudios acerca del efecto de las Glc se realizaron en plántulas  
37 de maíz, donde se observó que estimulan el crecimiento de las raíces y las puntas de

coleóptilo, mediante un mecanismo que al parecer, está relacionado con un uso más eficiente de las reservas del endospermo (Eyster y Ellis, 1924). En este sentido, Azevedo *et al.* (2006) atribuyeron a las Glc un papel en la hidrólisis del almidón y en su conversión a hexosas (glucosa). Relacionado con lo anterior, se ha propuesto que los compuestos como la glucosa, cumplen otras funciones además de proporcionar energía al metabolismo, dependiendo del tejido y la etapa del desarrollo, por ejemplo, se ha propuesto que la glucosa y otros azúcares simples pueden funcionar como reguladores osmóticos y participan en la protrusión de la radícula (Wang *et al.*, 2021).

Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de una glucoinina de origen animal (Goa), de la glucosa y la combinación de ambos, en la germinación, la emergencia y el establecimiento de *Capsicum chinense* con el fin de caracterizar la respuesta del chile habanero a estos reguladores y proporcionar datos que puedan utilizarse en procesos de siembra del cultivo en AP.

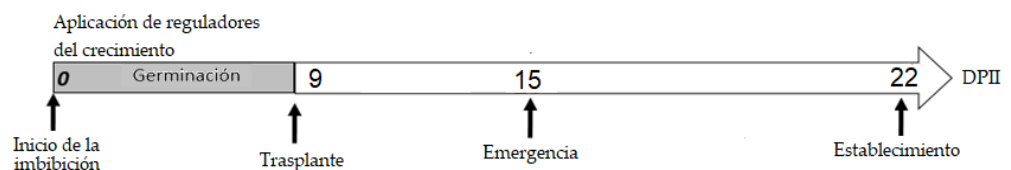
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material Biológico.

Se adquirieron semillas maduras de *Capsicum chinense* Jacq, variedad Jaguar, provenientes del Campo Experimental "Las Huastecas" del INIFAP en Tampico, Tamaulipas, México, sembradas durante el ciclo productivo de diciembre de 2015 a febrero de 2016. Las semillas fueron tratadas por el proveedor con PIRIMIFOS y THIRAM 42 % y empacadas en una bolsa oscura y al vacío. En el laboratorio, se separaron sublotos de 300 mg de semillas, se empacaron en bolsas de polietileno transparente de 7 x 5 cm, las cuales se sellaron y almacenaron a 25 °C.

### Cinética de desarrollo temprano.

El efecto de las Glc sobre *Capsicum chinense* se evaluó en tres etapas del desarrollo temprano: germinación, emergencia y establecimiento. En total, se evaluó el desarrollo durante 22 días por cada experimento, de acuerdo con lo reportado por Hernández-López *et al.* (2018), la duración de cada etapa evaluada se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Fechas relevantes del sistema de evaluación del desarrollo según Hernández-López *et al.* (2018).

Los ensayos de germinación se realizaron de acuerdo a Hernández-López *et al.* (2018) en 1  
cajas de Petri de 90 mm, se distribuyeron 20 semillas de manera equidistante sobre dos 2  
capas papel de estraza (grado alimenticio), humedecido con 5 mL de: 1) Goa 0.63  $\mu$ M 3  
(insulina bovina Sigma-Aldrich, México cat. I5500) (Oliveira *et al.*, 2004), 2) glucosa 50 mM 4  
(JT Baker, USA) (Zhu *et al.*, 2009), 3) la combinación de Goa (0.63  $\mu$ M)/glucosa (50 mM) 5  
(Goa+glucosa) ó 4) agua destilada como testigo. Sobre las semillas se colocó una capa de 6  
franela seca, previamente lavada tres veces con agua destilada, las cajas se sellaron con una 7  
capa de película autoadherible de policloruro de vinilo grado alimenticio (Inixfilm®) y se 8  
incubaron en una cámara de crecimiento a 28 °C por 9 días, con fotoperiodo de 12 h luz/12 9  
h oscuridad. Se realizaron 6 réplicas independientes por triplicado, 360 semillas por 10  
tratamiento. 11

El número de semillas germinadas se verificó diariamente, hasta el noveno día posterior al 12  
inicio de la imbibición (9 DPII) de acuerdo a Hernández-López *et al.* (2018), al alcanzar el 13  
testigo el 70 % de germinación. El criterio de inclusión para la germinación fue que la raíz 14  
protruida midiera 2 mm de largo. Con los datos obtenidos, se calculó el porcentaje de 15  
germinación acumulada (%GA), usando la siguiente ecuación: 16

$$\%GA=(SPD/n)*100$$
 17

donde SPD es el número de semillas con raíz protruida diariamente; n es el número de 18  
semillas empleadas en cada repetición. El punto máximo de germinación acumulada 19  
(%GA<sub>o</sub><sub>max</sub>) se estableció como el porcentaje de germinación alcanzado al 9 DPII, el tiempo 20  
de germinación 90 inferido (TGi90) se calculó mediante la regresión PROBIT. 21

A partir del 9 DPII, todas las semillas (germinadas o no) se trasplantaron a macetas de 22  
poliestireno con 5 gr de sustrato para macetas Miracle-Gro (The Scottslawn Company, Ohio 23  
USA), composición N 0.21–P 0.11–K 0.16. Las semillas fueron colocadas a una profundidad 24  
de 2.5 cm y las macetas se incubaron en la misma cámara de crecimiento con las condiciones 25  
antes mencionadas, se regaron diariamente con 3 mL de agua destilada y se monitoreo la 26  
emergencia, como criterio de inclusión se consideró la salida de los cotiledones por encima 27  
del sustrato durante los días 10, 12, 14 y 15 DPII, los datos se expresaron como porcentaje 28  
de emergencia acumulada (%EA) usando la siguiente ecuación: 29

$$\%EA=(PED/n)*100$$
 30

donde PED es el número de plántulas con los cotiledones emergidos diariamente, n es el 31  
número de semillas empleadas en cada repetición. La velocidad máxima de emergencia 32  
observada (%EA<sub>o</sub><sub>max</sub>) se obtiene cuando el número de plántulas emergidas ya no cambio 33  
independientemente del tiempo de inicio de la imbibición, adicionalmente, se calculó 34  
mediante la regresión PROBIT el tiempo de emergencia 90 inferido (TEi90). 35

A partir del día 14 DPII, se evaluó el establecimiento, tomando como criterio de inclusión, las plántulas emergidas que mostraron hojas verdaderas de más de 3 mm de longitud. Los resultados se expresaron como porcentaje de establecimiento acumulado (%EstA), usando:

$$\%EstA=(PEst/n)*100,$$

donde PEst es el número diario de plántulas con hoja verdadera mayor a 3 mm de largo y n es el número de plántulas empleadas en cada repetición. La velocidad máxima de establecimiento observada (%EstA<sub>Omax</sub>) se determinó cuando el número de plántulas establecidas fue independiente del tiempo de inicio de la imbibición, adicionalmente, se calculó mediante la regresión PROBIT el tiempo de establecimiento 90 inferido (TEsti90).

Por último, al final de la etapa de establecimiento, se analizó el efecto de los tratamientos sobre el fenotipo de las plántulas de chile expresado como el promedio de la longitud de la raíz principal y del hipocótilo, medido en mm, así como el promedio del número de raíces laterales en cada tratamiento.

El tiempo de latencia, se definió como el día en que la primera semilla o plántula cumplió el criterio de inclusión. Para cada una de las etapas, se calculó la velocidad mediante la regresión por mínimos cuadrados (primera derivada) y se expresó como número (N°) de individuos que cumplen el criterio/día. Adicionalmente, a partir de dichas regresiones se calculó el tiempo al cual el 50 % de la población alcanzó la germinación (TG<sub>50</sub>), la emergencia (TE<sub>50</sub>) o el establecimiento (TEst<sub>50</sub>). Finalmente, para cada etapa se calculó la tasa de inducción o inhibición de los tratamientos con respecto al testigo. Con las siguientes fórmulas:

$$TsInh= \frac{(t-E)}{E} \times 100\% \quad \text{ó} \quad TsInd= \frac{(E-t)}{E} \times 100$$

Donde TsInh, es la tasa de inhibición, TsInd, es la tasa de inducción y t, es el valor del %máx del testigob (porcentaje máximo de germinación, emergencia o establecimiento, según sea el caso) y E corresponde al %máx (porcentaje máximo de germinación, emergencia o establecimiento, según sea el caso) con los inductores.

### **Análisis estadístico.**

El diseño experimental fue completamente al azar, los datos de cada fase del experimento se convirtieron a porcentaje, considerando las 20 semillas como el 100 % con el fin de simplificar el análisis. Los resultados expresados como porcentaje se graficaron con respecto a los días para determinar diferencias significativas entre los tratamientos. Se realizó un ANOVA de una vía, comparando las medias con la prueba de Tukey con respecto al testigo. La regresión se realizó con PROBIT para los tiempos inferidos. Estos análisis se realizaron en Minitab® (Minitab Inc. 2007) versión 15 para Windows, State College, Pennsylvania, USA. Las gráficas se obtuvieron con el programa Office Excel 2016 (ver. 1611).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La primera etapa analizada fue la germinación (Figura 2A). Los tratamientos no favorecieron la salida de la latencia, en promedio, la primera protrusión ocurre alrededor los 5 DPII independientemente del tratamiento. Los %GA desde el 0 hasta el 8 DPII no presentaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos, aunque en general, se puede hablar de una tendencia (que sin llegar a ser estadísticamente significativa) donde el %GA mostró el siguiente orden: testigo > Goa > glucosa > combinación (Goa+glucosa), debido sobre todo a la alta desviación estándar (Cuadro 2). Es decir, se observó que todos los tratamientos tienden a retrasar la germinación. Se calculó la tasa de inhibición de los diferentes efectores con respecto al testigo, la Goa, tiene un % de inhibición de 15.7, a su vez la glucosa, tiene una tasa de inhibición de 30.7 y finalmente la combinación Goa+glucosa (50 mM + 50 mM, respectivamente) es aproximadamente el doble, es decir 57.22, lo que parece evidenciar un efecto aditivo (Cuadro 2). Aún más interesante es que al 9 DPII en las muestras tratadas con Goa+glucosa, el %GA<sub>o</sub><sub>max</sub> fue de  $54.72 \pm 17.9$  % el cual fue significativamente menor ( $p \leq 0.05$ ), al obtenido con el testigo que fue de  $86.1 \pm 12$  % ( $p \leq 0.05$ ) (Figura 2A).

**Cuadro 2.** Parámetros fisiológicos en la germinación de muestras de *C. chinense* tratadas con testigo, Goa, glucosa y la combinación.

	Latencia (días)	Germinación 0-9 DPII			
		%GA <sub>o</sub> <sub>max</sub> *	TG <sub>50</sub> **	Vel***	TsInh (%)
Testigo	5 ± 1.6 <sup>A</sup>	86 ± 12.6 <sup>A</sup>	7.5 ± 1.7 <sup>A</sup>	3.32 ± 0.8 <sup>A</sup>	0
Goa	5 ± 1.2 <sup>A</sup>	74.7 ± 16 <sup>A</sup>	8.77 ± 3 <sup>A</sup>	3.08 ± 0.78 <sup>A</sup>	15.13
Glucosa	5.8 ± 1.36 <sup>A</sup>	65.9 ± 17.4 <sup>A</sup>	11.7 ± 4.0 <sup>A</sup>	2.61 ± 0.74 <sup>A</sup>	30.5
Goa/Glu	5.6 ± 1.3 <sup>A</sup>	54.7 ± 18 <sup>B</sup>	10 ± 3.3 <sup>A</sup>	2.2 ± 0.72 <sup>A</sup>	57.22

\*Porcentaje máximo observado de semillas protruidas. \*\*Dia posterior al inicio de la imbibición (DPII) donde el 50 % de la población ha cumplido el criterio de exclusión. \*\*\*Velocidad, expresado como N° individuos/día. Letras diferentes indican diferencias significativas con respecto al Testigo mediante Tukey, A es el mejor ( $p \leq 0.05$ ).

En el 9 DPII el tratamiento Goa+glucosa, inhibió significativamente ( $p \leq 0.05$ ). el %GA<sub>o</sub><sub>max</sub> (Figura 2A). Oliveira *et al.*, (2004), localizaron en la región interna de la testa de *C. ensiformis*, a una Goa, a las proteínas receptoras de Goa y una proteína semejante a fosfoferina por lo que, implicaron a la Goa en la vía de señalización del transporte de carbohidratos hacia el interior del embrión. Lo que es interesante dado que, se podría pensar, que un aumento en la concentración de azúcares libres dentro de la semilla debería favorecer la germinación,

al proporcionar una fuente de energía rápidamente accesible. Sin embargo, Dekkers *et al.*, (2004) y Zhu *et al.*, (2009) demostraron en semillas de *Arabidopsis thaliana* y arroz respectivamente, que la glucosa ejerce un retraso de la germinación. Zhu *et al.* (2009) hipotetizó que el retraso en la germinación se da como resultado de las altas concentraciones de azúcares libres, lo que promueve la supresión del catabolismo de ABA, debido a una inhibición en la transcripción de las ABA 8-hidroxilasas que participan en la conversión de ABA en ácido fáséico. Lo anterior podría estar relacionado con el efecto aditivo del tratamiento combinado al 9 DPII.

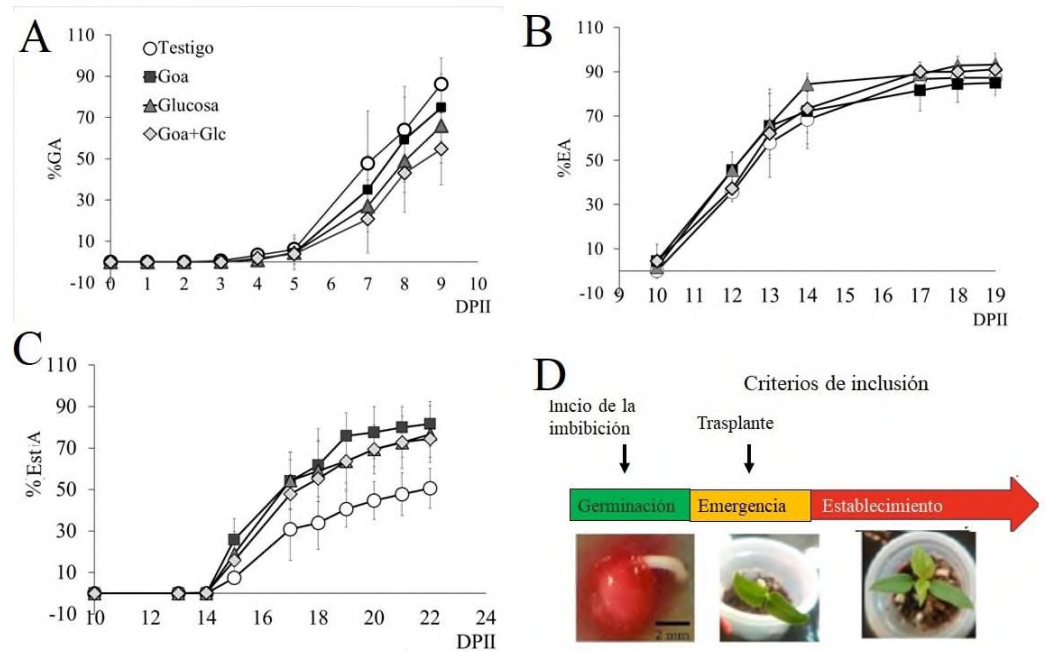


Figura 2. Respuesta del desarrollo temprano de *C. chinense*. Se muestra el efecto de Goa, glucosa y la combinación Goa + glucosa sobre tres etapas del desarrollo temprano de chile habanero, se muestran los criterios de establecidos en cada etapa. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) mediante Tukey; A es mejor.

Por otro lado, en el caso de la emergencia (la segunda etapa), ninguno de los tratamientos mostró diferencias significativas en la velocidad de emergencia (calculada como la emergencia promedio diaria) entre ellos con respecto al testigo, durante el tiempo analizado (Cuadro 3). Los valores de velocidad fueron  $5.4 \pm 0.15$  plantas/día para el testigo, para la Goa  $4.6 \pm 0.54$ ,  $5.3 \pm 0.71$  para la glucosa y  $5.3 \pm 0.4$  para la combinación. Aunque existieron diferencias en el  $\%GA_{max}$  en el 9 DPII, por la tasa de inhibición durante la germinación, pero tras el trasplante durante la emergencia, el comportamiento del  $\%EA_{max}$ , el  $\%EA$ , el  $TE_{50}$  y la velocidad de emergencia de todos los efectores se uniformó, con respecto al testigo desde el día 9 hasta el 19 DPII (Figura 2B). El  $\%EA_{max}$  tampoco mostró diferencias

significativas entre los tratamientos y alcanzó el  $91 \pm 2.5$  en las muestras tratadas con Glucosa y  $93 \pm 5$  % con la combinación Goa+glucosa. Mientras que el testigo y el tratamiento con Goa mostraron también valores similares para el  $\%EAo_{max}$  de  $87.2 \pm 2.5$  y  $85 \pm 5.8$  %, respectivamente. Y aunque en el tratamiento con la combinación Goa+glucosa, hubo un número menor de semillas germinadas, los valores de emergencia son similares entre los tratamientos. Esto sugiere que las semillas no presentaron daño o estrés irreversible como resultado de los tratamientos durante su etapa de germinación, ni durante el trasplante y/o emergencia. Cabe hacer notar, que con nuestros experimentos no es posible explicar los resultados obtenidos durante la etapa de emergencia bajo los diferentes tratamientos, cabe la posibilidad de que la dicotomía en el comportamiento del sistema insulina-glucosa en la germinación y/o emergencia se deba a que por un lado la germinación se vea retrasada por la sobre-regulación hormonal de ABA, pero, al mismo tiempo se estén llevando a cabo en el embrión los efectos ya ampliamente reportados entre ellos: aumento de la proliferación celular en los meristemos (Garrocho-Villegas *et al.*, 2013), el incremento en la síntesis *de novo* de proteínas y ribosomas (Villa-Hernández *et al.*, 2013; Avila-Alejandre *et al.*, 2013; García Flores *et al.*, 2001).

**Cuadro 3.** Parámetros fisiológicos en la emergencia de muestras de *C. chinense* tratadas con testigo, Goa, glucosa y la combinación.

Emergencia				
9 – 15 DPII				
	$\%EAo_{max}$	$TE_{50}^{**}$	$Vel^{***}$	TsInd
Testigo	$90 \pm 8.2^A$	$13.5 \pm 1.4^A$	$5.4 \pm 1.15^A$	0
Goa	$87 \pm 0.9^A$	$13.0 \pm 1^A$	$4.6 \pm 0.54^A$	0
Glucosa	$93 \pm 5^A$	$12.7 \pm 0.3^A$	$5.3 \pm 0.71^A$	0
Goa/Glu	$91.6 \pm 6^A$	$13.2 \pm 1^A$	$5.3 \pm 0.4^A$	0

\*Porcentaje máximo observado de plántulas emergidas. \*\*Dia posterior al inicio de la imbibición (DPII) donde el 50 % de la población ha cumplido el criterio de exclusión. \*\*\*Velocidad, expresado como N° individuos/día. Letras diferentes indican diferencias significativas con respecto al testigo mediante Tukey, A es el mejor ( $p \leq 0.05$ ).

Durante la tercera etapa de desarrollo temprano analizada, el establecimiento, se continuó con el monitoreo de las plántulas trasplantadas, con el objetivo de establecer el momento de la aparición de la primera hoja verdadera (Figura 2C), en la gráfica se observa, que cualquiera de los tratamientos (con la Goa, la glucosa o la combinación), aumenta el porcentaje

total de plántulas establecidas de forma significativa ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al testigo, desde el día 19 y este efecto se mantuvo hasta el 22 DPII. Se calculó la tasa de inducción del establecimiento de los diferentes tratamientos con respecto al testigo, la Goa, tiene el mayor % de inducción de 60.78, a su vez la glucosa, tiene una tasa de inducción de 50.98 y finalmente para la combinación Goa+glucosa (50 mM + 50 mM, respectivamente) es de 45.10 (Cuadro 4)

Todos los tratamientos incrementaron significativamente el %EstA<sub>o</sub>max con respecto del Testigo al 22 DPII (Figura 2C). El %EstA<sub>o</sub>max fue  $51 \pm 10$  % para el Testigo,  $82.1 \pm 11$  % para la Goa,  $77 \pm 14$  % y  $74 \pm 9$  % para glucosa y la combinación, respectivamente. En cuanto al T<sub>50</sub> de establecimiento, este fue significativamente menor en los tratamientos, en el testigo fue a los  $21.8 \pm 2.7$  DPII, mientras que para la Goa fue de  $17.6 \pm 0.7$  DPII y para la glucosa y la combinación fue de  $18.06 \pm 1$  y  $18.3 \pm 0.2$  DPII, respectivamente. En cuanto a la velocidad, para el testigo se encontró que fue de  $0.68 \pm 0.32$  plantas/día, mientras que para la Goa fue  $2.77 \pm 0.76$  plantas/día y para la glucosa y la combinación mostraron valores muy similares, de  $1.61 \pm 0.43$  y  $1.6 \pm 0.44$  plantas/día, respectivamente. Por lo que se puede considerar que la velocidad de establecimiento de todos los tratamientos fue mayor con respecto al testigo (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Parámetros fisiológicos en el establecimiento de muestras de *C. chinense* tratadas con testigo, Goa, glucosa y la combinación.

22	Establecimiento			
	15-22 DPII			
	%EstA <sub>o</sub> max	T <sub>Est50</sub> **	Vel***	TsInd (%)
<b>Testigo</b>	$51 \pm 10^B$	$21 \pm 2.7^B$	$0.68 \pm 0.3^B$	0
<b>Goa</b>	$82 \pm 11^A$	$17.6 \pm 0.7^A$	$2.7 \pm 0.76^A$	60.78
<b>Glucosa</b>	$77 \pm 14^A$	$18.06 \pm 1^A$	$1.6 \pm 0.43^A$	50.98
<b>Goa/Glu</b>	$74 \pm 9^A$	$18.3 \pm 0.2^A$	$1.6 \pm 0.44^A$	45.10

\*Porcentaje máximo observado de plántulas establecidas al día final de cada etapa. \*\*Dia posterior al inicio de la imbibición (DPII) donde el 50 % de la población ha cumplido el criterio de exclusión. \*\*\*Velocidad, expresado como N° individuos/día. Letras diferentes indican diferencias significativas con respecto al testigo mediante Tukey, A es el mejor ( $p < 0.05$ ).

Finalmente, se evaluó el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo del fenotipo de las plántulas (Cuadro 5). Se observó que, la Goa incrementó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) la longitud de la raíz principal con respecto al testigo y los otros tratamientos. La tasa de

inducción del crecimiento para la Goa fue de 37%, mientras que para la glucosa fue de 9.14 y de 12.1 para la combinación. Asimismo, las muestras tratadas con la Goa tienen un mayor número de raíces laterales con respecto al testigo y al tratamiento combinado. Por otro lado, todos los tratamientos incrementaron la longitud del hipocótilo con respecto al testigo, aunque sin diferencia entre ellos. En este caso la tasa de crecimiento fue similar entre la Goa y la glucosa (24.7 y 25.1 %) y ligeramente menor (aunque no significativo) en la combinación (16.7%).

**Cuadro 5.** Efecto de la Goa sobre el desarrollo del fenotipo de las plántulas al 22 DPII de *C. chinense*. Se muestra la media y la DS de 6 experimentos independientes  $n= 360$  plántulas/tratamiento. Letras diferentes indican diferencias significativas mediante Tukey, A es el mejor ( $p \leq 0.05$ )

Tratamiento	N° de raíces laterales*	Promedio de la longitud (mm)	
		Raíz*	Hipocótilo*
Testigo	$2.17 \pm 0.78^C$	$37.2 \pm 4.8^B$	$8.74 \pm 1.5^B$
GoA	$4.11 \pm 1.11^A$	$51 \pm 8.1^A$	$10.9 \pm 1.17^A$
Glucosa	$2.89 \pm 1.74^{AB}$	$40.6 \pm 11.8^B$	$11.0 \pm 1.31^A$
Goa+Glucosa	$3.22 \pm 1.78^{BC}$	$41.7 \pm 13.9^{AB}$	$10.2 \pm 1.35^A$

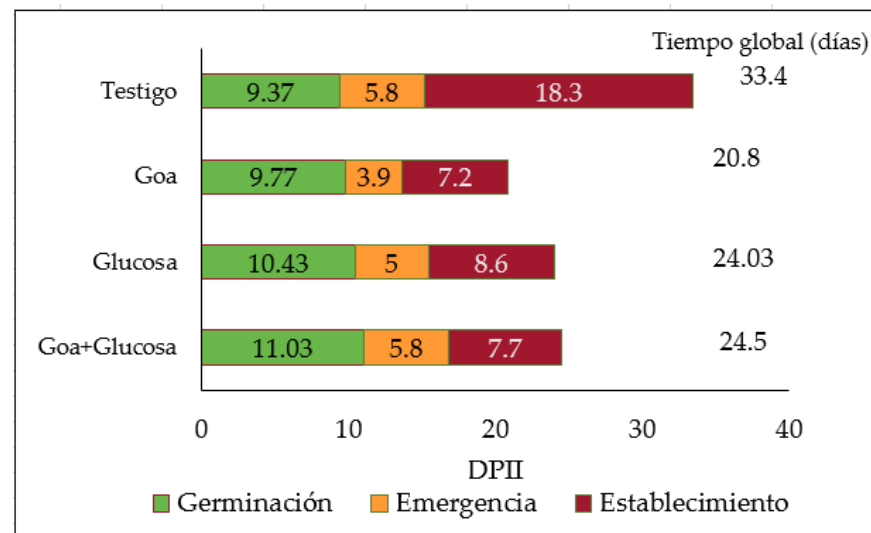
\*Los datos mostrados corresponden al día final de la evaluación.

Los resultados sugieren que, la aplicación de todos los inductores favoreció el desarrollo de las plántulas en *C. chinense* (Figura 2), aunque lo hicieron de manera diferencial por lo que se puede considerar que cada tratamiento genera un fenotipo distinto. Esto se puede denotar porque, mientras la Goa favoreció el crecimiento del sistema radicular, los tratamientos con solo con glucosa o la combinación, favorecen el crecimiento del hipocótilo con respecto al testigo (Cuadro 5).

En cuanto al efecto de la Goa sobre el sistema radicular de *C. chinense*, este fue similar al reportado previamente en maíz (Avila-Alejandre *et al.*, 2013) y *Arabidopsis thaliana*. En la segunda se reportó por los autores, un aumento tanto del número de pelos radiculares, como del crecimiento de las raíces laterales, el desarrollo vegetativo (Pascual-Morales *et al.*, 2012). Aunque nuestros resultados no pueden ser concluyentes, se hipotetiza que este efecto observado sobre el crecimiento de la radícula de *C. chinense* es inducido por los mecanismos de transducción de señales y expresión génica ampliamente descritos por la bibliografía (Pascual-Morales *et al.*, 2012).

Por otro lado, el efecto sobre el retardo de la germinación y la longitud del hipocótilo, podrían estar modulados por los azúcares reductores libres, tal como ocurre durante las primeras etapas tras la movilización de las reservas del escutelo, así como el retraso observado por los autores tras la administración de glucosa exógena. Adicionalmente, se ha reportado en *Arabidopsis*, que la zona meristemática de la raíz responde de manera dosis-dependiente a la concentración de glucosa, a baja concentración, la glucosa aumenta la longitud de la raíz mientras que a altas concentraciones la disminuye (Siddiqui *et al.*, 2020) además que los azúcares y las citocininas actúan sinérgicamente para regular la emergencia de las plántulas de *Arabidopsis*, activar a los meristemos, la ramificación y la floración de los brotes (Wang *et al.*, 2021).

Finalmente, la respuesta a los tratamientos durante el desarrollo temprano de *C. chinense* se resume en la Figura 3, donde se muestra el tiempo estimado al que se alcanza el 90 % de todas las etapas analizadas, el cual fue inferido mediante el método PROBIT. Todos los tratamientos aumentaron el tiempo necesario para alcanzar el 90% de germinación, mediante los métodos de regresión lineal (emergencia diaria y TG<sub>50</sub>) no mostraron efectos significativos mediante el cálculo PROBIT para el 90% de plántulas emergidas, el tratamiento de la Goa si reduce significativamente el tiempo inferido necesario para alcanzar el 90% de la emergencia. El efecto más importante de los inductores fue, sobre el Test90i, el cual se reduce en todos los tratamientos de manera significativa y al mismo tiempo aumentaron la tasa de inducción siendo el tratamiento con Goa quien presenta la tasa de inducción más alta seguido de la Goa+glucosa y finalmente la glucosa.



**Figura 3. Efecto de los inductores sobre el tiempo global de establecimiento de *C. chinense*.** Se grafican el TG90i, el TE90i y el Test90i. Los tres inductores disminuyen el tiempo global al disminuir el tiempo de emergencia y el establecimiento.

Se debe recalcar que todos los tratamientos redujeron significativamente el tiempo global al cual se alcanza el 90% del establecimiento. El tiempo global más corto se presentó con el tratamiento de la Goa, 20.8 DPII, seguido de la Glucosa con 24.03 DPII y al final, el tratamiento combinado 24.5 DPII (Figura 3). Es decir, comparado con el testigo, el tratamiento con Goa disminuye hasta en 10 días (equivalente a una reducción del 30%), el tiempo de estancia de las plántulas en los germinadores; la glucosa, 9 días (equivalente a una reducción del 26%) y la combinación 8.8 días (equivalente a una reducción del 26.3 %) aunque no existen diferencias ( $p \geq 0.05$ ) entre los tratamientos. Lo cual es muy apreciado en AP (Real-Rosas *et al.*, 2002; Magdaleno-Hernández *et al.*, 2016) debido a que optimiza el espacio dentro de los módulos de producción reduciendo el tiempo de permanencia de las plántulas sin necesidad de mejoramiento genético (Camarena Mayta *et al.*, 2014), o fertilización química.

Y aunque en este trabajo no se evaluaron los mecanismos de acción de la Goa o la glucosa a nivel molecular, se propone en un futuro trabajo explorar dicho enfoque para corroborar el papel de algunos reguladores importantes como la hexoquinasa (HXK) y la proteína TOR dos sensores principales del estado de nutrientes y energía (Meng *et al.*, 2022, Díaz-Grabados *et al.*, 2020, Sánchez-Linares *et al.*, 2012, Garrocho-Villegas *et al.*, 2012).

## CONCLUSIONES

Finalmente, los resultados muestran que, la administración de glucosa exógena retrasa la germinación, ni la glucosa, ni la combinación tienen efectos sobre el fenotipo de las plántulas en la etapa de emergencia, aunque el hecho de que aún los tratamientos que retrasaran la germinación que incluso superaron al testigo, evidencia una serie de eventos fisiológicos y moleculares ampliamente descritos para otros modelos. Los efectos de la Goa en Chile habanero son: uniforma la emergencia y reduce el tiempo necesario para que se lleve a cabo el establecimiento, es decir, que los tratamientos redujeron el tiempo global requerido para que las plántulas alcanzaran el establecimiento, con respecto al testigo. Finalmente, aunque todos los tratamientos tienen un efecto tejido específico distinto, la Goa incrementa significativamente el crecimiento de las raíces, mientras que la glucosa lo hace en el hipocótilo. Se sugiere que la aplicación de Goa y/o glucosa es una estrategia que podría ser útil para optimizar el tiempo de cultivo del Chile habanero en AP, aunque se debe considerar su efecto dual sobre el fenotipo y aunque en este estudio no se presentan evidencias moleculares (vías de señalización o expresión génica ni determinación de hormonas) no se descarta que los eventos moleculares ampliamente descritos se estén llevando a cabo, por lo que se continuará estudiando a fin de concatenarlas con los reportados para otros efectores.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo no contó con financiamiento de agencias públicas. Los experimentos forman parte de la tesis de Doctorado de AHL y se realizaron en las instalaciones de la UNPA y LABIOTT.

#### REFERENCIAS

Avila-Alejandre AX, Espejel F, Paz-Lemus E, Cortés-Barberena E, Díaz de León-Sánchez F, Dinkova TD, Sánchez de Jiménez E y Pérez-Flores LJ. 2013. Effect of insulin on the cell cycle of germinating maize seeds (*Zea mays* L.) Seed Sci Res.1:3-14. <https://doi.org/10.1017/S0960258512000281>

Azevedo CR, Maciel FM, Silva LB, Ferreira ATS, Cunha M, Machado O LT. 2006. Isolation and intracellular localization of insulin-like proteins from leaves of *Bauhinia variegata*. Braz J Med Biol Res. 11:1435-1444. <https://10.1590/s0100-879x2006001100007>

Bissoli G, Bono M, Martínez-Almonacid I, Moreno-Peris E, Renard J, Espinosa A, Naranjo MA, Yenush L, Fita, Serrano R, Rodríguez-Burruezo A, Bueso E. 2022. Seed coat lignification level is crucial in *Capsicum* spp seed longevity. Physiol Plant. 174(1):e13600. <https://10.1111/ppl.13600>.

Camarena Mayta F, Chura Chuquija J, Blas Sevillano RH. 2014. Mejoramiento genético y biotecnológico de plantas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú Pp. 286

Córtés-Sánchez A. 2014. Germinación y vigor en semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* L.) aplicando *Azospirillum* sp. y AG3 en laboratorio e invernadero. Tesis. Ciencias Agropecuarias y Biotecnología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila México

Dekkers BJW, Schuurmans JAMJ & Smeekens SCM. 2004. Glucose delays seed germination in *Arabidopsis thaliana*. Planta, 218(4): 579–588. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00425-003-1154-9>

Díaz-Granados VH, López-López JM, Flores-Sánchez J, Olguin-Alor R, Bedoya-López A, Dinkova TD, Salazar-Díaz K, Vázquez-Santana S, Vázquez-Ramos JM & Lara-Núñez A. 2020. Glucose modulates proliferation in root apical meristems via TOR in maize during germination. Plant physiology and biochemistry 155 (1): 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.041>

Du-Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories, and regulation. Sci. Hortic. 196(2015):3-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.

Eyster WH, Ellis MM. 1924. Growth of maize seedlings as affected by glucokinase and insulin. J. Gen. Physiol. 6 (1):653-670. <https://doi:10.1085/jgp.6.6.653>

- García-Flores C, Aguilar R, De la Cruz HR, Albores M, de Jiménez ES. 2001. A maize insulin-like growth factor signals to a transduction pathway that regulates protein synthesis in maize. *Biochem. J.* 358(1):95-100. <https://doi:10.1042/0264-6021:3580095>
- García-García AL, García-Machado FJ, Borges AA, Morales-Sierra S, Boto A y Jiménez-Arias D. 2020. Pure Organic Active Compounds Against Abiotic Stress: A Biostimulant Overview. *Frontiers in plant science.* 11: 575829. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.575829>
- Garruña-Hernández R, La Tournerie-Moreno L, Ayala-Garay O, Santamaría J, Pinzón-López L. 2014. Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia* 48: 413-423. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v48n4/v48n4a6.pdf>.
- Garrocho-Villegas V & de Jiménez ES. 2012. TOR pathway activation in *Zea mays* L. tissues: conserved function between animal and plant kingdoms. *Plant signaling & behavior*, 7(6): 675–677. <https://doi.org/10.4161/psb.19993>.
- Garrocho-Villegas V, Aguilar CR & Sánchez de Jiménez E. 2013. Insights into the TOR-S6K signaling pathway in maize (*Zea mays* L.). pathway activation by effector-receptor interaction. *Biochemistry*, 52(51): 9129–9140. <https://doi.org/10.1021/bi401474x>
- Goodman DBP, Davis WL. 1993. Insulin accelerates the postgerminative development of several fat-storing seeds. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 190 (1):440-446. <https://doi.org/10.1006/bbrc.1993.1067>
- Hernández López A, Beltrán-Peña EG, Amancio-Oliveira AE, Nuñez-Gaona O & Avila Alejandro AX. 2018. Preacondicionamiento del agua en la germinación y emergencia de *Capsicum chinense* Jacq. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 9(8): 1703–1714. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1030>
- Hernández-López A, Avila-Alejandro AX, Mendoza-Francisco N, Hernández-López H. 2019. Diseño construcción, verificación de un germinador de bajo costo". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 9 (8): 1703- 1714.
- Laguna-Hernández G, Rio-Zamorano CA, Meneses-Ochoa IG, Brechú-Franco AE. 2017. Histochemistry and immunolocalisation of glucokinase in antidiabetic plants used in traditional Mexican medicine. *Eur J Histochem.* 21;61(2):2782. <http://dx.doi.org/10.4081/ejh.2017.2782>
- Magdaleno-Hernández E, Mejía-Contreras A, Martínez-Saldaña T, Jiménez-Velázquez MA, Sánchez-Escudero J & García-Cué JL. 2016. Selección tradicional de semilla de maíz criollo. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 13(3): 437-447. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722016000300437](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722016000300437)

- Meng Y, Zhang N, Li J, Shen X, Sheen J & Xiong Y. 2022. TOR kinase, a GPS in the complex nutrient and hormonal signaling networks to guide plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 73(20): 7041–7054. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac282>.
- Moreno Reséndez A, Aguilar Durón J & Luévano González A. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 29(1): 763-774.
- Oliveira EA, Ribeiro ES, da Cunha M, Gomes V, Fernández K, Xavier-Filho J. 2004. Insulin accelerates seedling growth of *Canavalia ensiformis* (Jacq.k bean). *Plant Growth Regulation*. 43(1): 57–62.
- Pascual-Morales E, Arteaga-Tinoco I, García-Pineda E, Mellado-Rojas ME, Beltrán-Peña E. 2012. La insulina promueve el crecimiento de los pelos radiculares de *Arabidopsis thaliana*. *Biológicas*. 14(1):1-6.
- Ramírez-Meraz M, Arcos Cavazos G, Méndez Aguilar R. 2018. Descripción de cultivar Jaguar: cultivar de chile habanero para México. *REMEXCA*. 9 (2), 487-492. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1089>
- Real-Rosas MA, Lucero-Arce A, Toyota M, López-Aguilar R & Murillo-Amador B. 2002. Variedades precoces de brécol para la diversificación agrícola en zonas áridas. *Interciencia*, 27(5): 247-251. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442002000500006&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002000500006&lng=es&tlng=es).
- SADER, 2023. Agricultura protegida ubica a México entre los principales productores de frutas y hortalizas. Disponible en <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/agricultura-protegida-ubica-a-mexico-entre-los-principales-productores-de-frutas-y-hortalizas?idiom=es%20#:~:text=El%20crecimiento%20de%20la%20agricultura,de%20Agricultura%20y%20Desarrollo%20Rural%2C>. Consultado el 08 de abril 2023
- Sánchez de Jiménez E, Beltrán-Peña E, Ortiz-López A. 1999. Insulin stimulated ribosomal protein synthesis in maize embryonic axes during germination. *Physiologia Plantarum* 105 (2):148-154.
- Sangeetha MK & Vasanthi RH. 2009. Plant Kingdom Claims For Insulin!!!. *Sri Ramachandra Journal of Medicine*. 1: 25-31.
- Sánchez-Linares L, Gavilanes-Ruíz M, Díaz-Pontones DM, Guzman-Chavez F, Calzada-Alejo V, Zurita-Villegas V, Luna-Loaiza V, Moreno-Sánchez R, Bernal-Lugo I & Sánchez-Nieto S. 2012. Early carbon mobilization and radicle protrusion in maize germination. *Journal of Experimental Botany*, 63: 4513 - 4526. <https://doi.10.1093/jxb/ers130>
- SIAP 2022. Márgenes de comercialización de chile habanero al 28 de junio de 2022. Consultado el 06 julio de 2022. Disponible en:

- [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/736751/06\\_Chile\\_Habanero\\_may\\_2022.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/736751/06_Chile_Habanero_may_2022.pdf) 1  
2
- Siddiqui H, Sami F & Hayat S. 2020. Glucose: Sweet or bitter effects in plants-a review on current and future perspective. Carbohydrate research, 487, 107884. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.107884> 3  
4  
5
- SIPRODUCE 2012. Tecnología de producción de chile habanero en casa sombra en el sur de Sinaloa. Fundación Produce Sinaloa A. C. Recuperado de: <https://www.fps.org.mx/portal/index.php/publicaciones/102-hortalizas/1223-tecnologiade-produccion-de-chile-habanero-en-casa-sombra-en-el-sur-de-sinaloa> 6  
7  
8  
9
- Wang M, Le Gourrierc J, Jiao F, Demotes-Mainard S, Perez-Garcia MD, Ogé L, Hamama L, Crespel L, Bertheloot J, Chen J. 2021. Convergence and Divergence of Sugar and Cytokinin Signaling in Plant Development. Int. J. Mol. Sci. 22: 1282. <https://doi.org/10.3390/ijms22031282> 10  
11  
12  
13
- Zhu G, Ye N, Zhang J. 2009. Glucose-Induced Delay of Seed Germination in Rice is Mediated by the Suppression of ABA Catabolism Rather Than an Enhancement of ABA Biosynthesis Plant Cell Physiol. 50(3): 644–651. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcp022> 14  
15  
16
- Villa-Hernández JM, Dinkova TD, Aguilar-Caballero R, Rivera-Cabrera F, Sánchez de Jiménez E & Pérez-Flores LJ. 2013. Regulation of ribosome biogenesis in maize embryonic axes during germination. Biochimie, 95(10): 1871–1879. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2013.06.011> 17  
18  
19  
20  
21

## 9. DISCUSIÓN GENERAL.

La producción de alimentos en los campos agrícolas en México, requiere de grandes superficies y de una considerable inversión en el material biológico (semillas o esquejes), estructura para irrigación, fertilización y jornales. Esta inversión, es incierta debido a las variaciones climáticas, así como las plagas y enfermedades propias del cultivo. En este sentido, se ha probado que la agricultura protegida (AP) minimiza el impacto de estas variaciones y establece una barrera que impide la proliferación de plagas y enfermedades sobre los cultivos (Moreno Reséndez *et al.*, 2011).

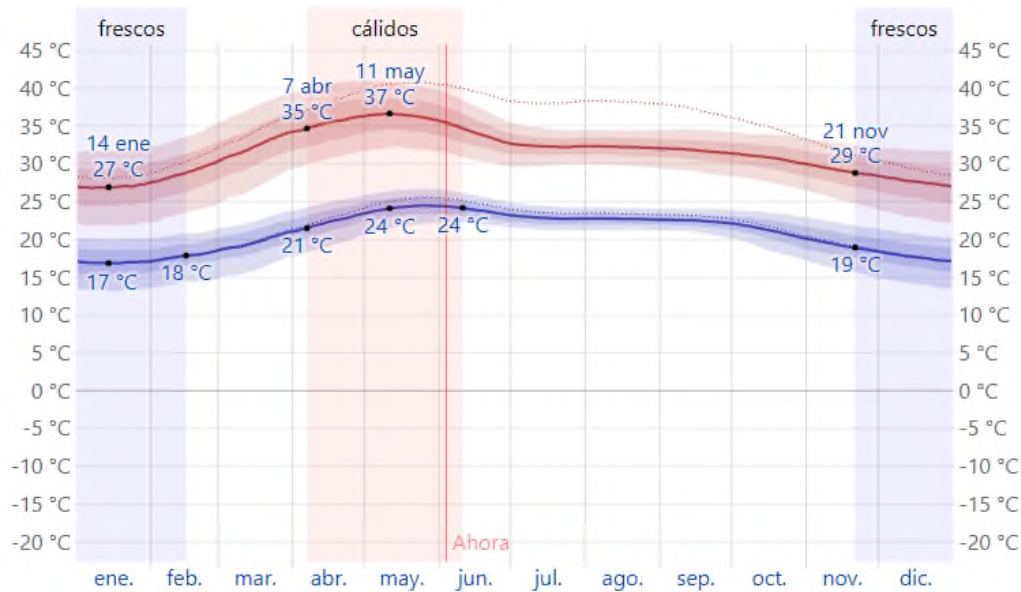
Aunque la AP, permite aumentar la productividad, los márgenes de ganancia, reducir el impacto ambiental y permite una mejor gestión del espacio disponible, del agua, los fertilizantes y los plaguicidas, se debe reconocer que su implementación, requiere grandes montos de inversión inicial, así como un cierto nivel de tecnificación por parte de los productores. Zhao y Zhou (2021) demostraron la existencia de una relación de acoplamiento significativa entre la tecnología agrícola apropiada y las propiedades de la misma tecnología, para diferentes tipos de agricultores de diferentes partes del mundo, principalmente Asia y África. La selección de diferentes tecnologías bajas en carbono entre agricultores a gran escala, de nivel medio (medio tiempo) y de bajo nivel (generalmente pequeños y a tiempo parcial) varía ampliamente. En México, Damián Huato *et al.*, (2013), describieron las condiciones de producción agrícola para productores de maíz de Tlaxcala, se encontró una reducida y diferenciada apropiación de tecnología, la cual se atribuyó a factores económicos, debido a las diferencias que tienen los productores en el acceso a los medios de producción, a la falta de apoyo institucional, a los bajos ingresos de los productores, a los rasgos agroeconómicos del estado y al modelo de investigación. En Oaxaca, aunque es el estado que cuenta con una de las mayores superficies de siembra en algunos cultivos, sus rendimientos se encuentran entre los más bajos y muestra un muy alto rezago social (SIAP, 2022), específicamente, ocupa el lugar número doce a nivel nacional, por su valor de producción, esto puede deberse al bajo índice de desarrollo humano del estado, la baja escolarización (INEGI 2020), el pluriempleo, que disminuye el tiempo de dedicación de los campesinos a las labores agrícolas y el bajo precio de comercialización por la mala calidad de los productos. En contraste, los estados con un valor de producción más alto, son Michoacán, Sinaloa y Jalisco, los cuales tienen menores superficies sembradas, pero con bajo rezago social (Damián-Hauto *et al.*, 2013).

Por lo anterior, es importante proponer estrategias de agricultura protegida que pueden implementarse considerando el bajo nivel de apropiación de tecnología que se tiene en estados como Oaxaca. En el caso particular de esta tesis, se propuso abordar estrategias para disminuir el tiempo de obtención de plántulas establecidas de *C. chinense* y así disminuir los costos del proceso de siembra. El trabajo fue realizado en tres etapas. Etapa 1: consistió en diseñar propiamente la estrategia general. Etapa 2: se diseñaron y construyeron los equipos necesarios, se validaron las metodologías, caracterizando y optimizando la germinación (*sensu stricto*), emergencia y establecimiento de las plántulas de *C. chinense* sin el uso de estimulantes, en condiciones constantes de temperatura y humedad. Etapa 3: para reducir el factor tiempo, se analizó el efecto de aplicar un bioestimulante.

El método de germinación fue homogéneo para todos los tratamientos, consideró las condiciones máximas de germinación y propició las condiciones para el monitoreo de las variables de velocidad y germinación máxima sin afectar el resultado. Permitiendo el suministro de los bioestimulantes.

El método de desarrollo temprano, debe economizar el sustrato, permitir la gestión el espacio y el agua, debe permitir monitorear los cambios en las etapas de emergencia y establecimiento sin modificar los resultados.

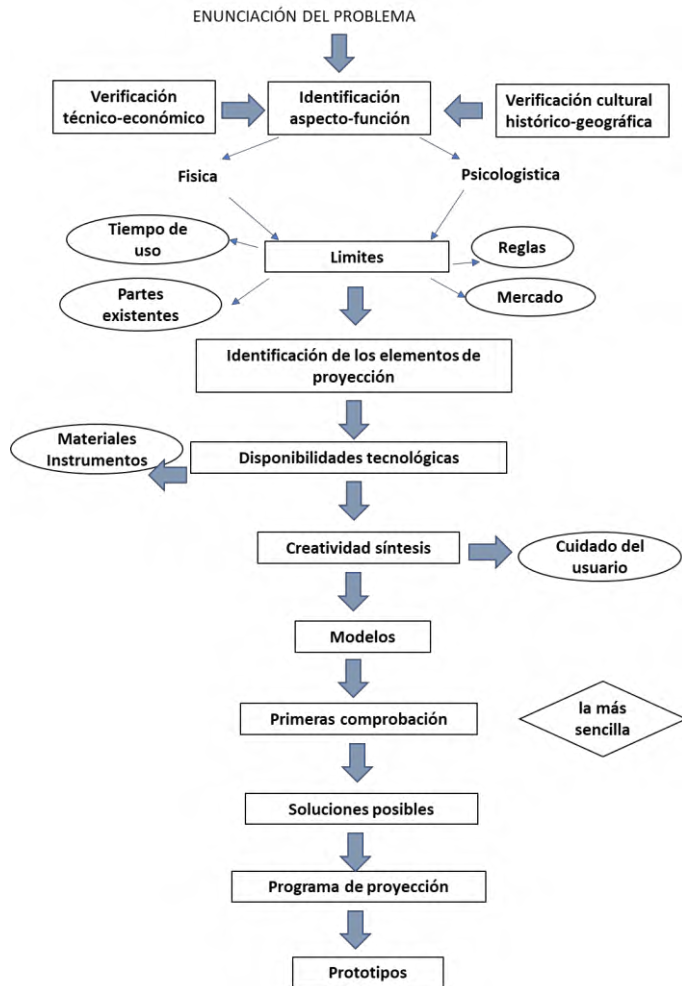
Las condiciones ambientales propias de la región del Papaloapan incluyen variaciones térmicas de 10°C en la época fría hasta 13°C en la época de temperaturas altas (temperatura máxima promedio y temperatura mínima promedio), la variación anual de las temperaturas máximas promedio es de 27 a 37°C, temperaturas máximas 'record' de más de 40 °C, alto grado de humedad y variación en las precipitaciones pluviales que van de 18 hasta 296 mm por año. (Figura 9) Por lo que se propuso que todas las etapas de desarrollo se realicen dentro de un germinador con temperatura automatizada, para disminuir el estrés generado por las variaciones ambientales antes descritas.



**Figura 9. Variación anual de la Temperatura histórica en Tuxtepec.** La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25º a 75º, y 10º a 90º. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes (Tomado de: <https://es.weatherspark.com/y/8583/Clima-promedio-en-Tuxtepec-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o> Consultado: 04 de junio de 2023)

Posteriormente, se diseñó, construyó, verificó y probó el germinador. El diseño se basó en la metodología de Bruno Munari (Figura 10) un método proyectual basado en la resolución de problemas. Con cada proyecto se plantea sistematizar la resolución de problemas. Las mejoras del diseño se realizaron bajo las Directrices de prototipado hasta la obtención de un prototipo útil (Figura 3 descripción de la publicación 1) (Munari 2016).

El diseño estructural del equipo se dividió en dos partes independientes, la incubadora y el equipo verificador. A su vez, la incubadora se subdividió en tres secciones: a) el circuito del control de temperatura (CCT); b) el armario; y c) la tapa o puerta del armario con control de luminosidad (CL).



**Figura 10. Metodología de Mounari.**

Para obtener un prototipo útil se realizaron tres versiones, debido principalmente a la contribución al aumento de temperatura generada por las lámparas de iluminación.

Las cabinas de germinación se usan desde los años 50's, primordialmente en investigación de fisiología de las semillas y control de calidad de semillas y su uso a nivel de producción agrícola es escaso. Las cámaras de germinación disponibles son costosas y su instalación- operación requieren de grandes recursos económicos que no se encuentran al alcance de cualquier productor, en promedio el costo de una de estas instalaciones al año 2022 en México, puede alcanzar los US\$ 4,600.00(<https://www.hoffmanmfg.com/product-category/controlled-environment-chambers/germination-chambers/>) lo que impide que pequeños productores puedan realizar estas metodologías y detectar lotes de semillas con bajos niveles de germinación y/o evidenciar atributos

genéticos que permitan a las plántulas hacer frente a los retos ambientales de las parcelas donde se van a sembrar.

El germinador propuesto en este trabajo tuvo un costo total de fabricación muy competitivo (US\$54.8), incluso comparado con aquellos equipos comerciales disponibles en el mercado para los interesados en la agricultura urbana, pero estos germinadores no cumplen las especificaciones mínimas requeridas por la ISTA y la FAO (Tabla 1 publicación 1).

Se eligió la madera contrachapada como material de construcción debido a que es muy accesible y fácil de trabajar con herramientas básicas, adicionalmente se mantiene relativamente estable con respecto a los cambios de temperatura y humedad, tiene un buen nivel de aislamiento térmico ya que su coeficiente de intercambio de calor es de  $0.18 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$  inferior al de la madera dura (por ejemplo, para Pino resinoso con 15% de humedad, es de  $0.15$  a  $0.23 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$ ), además las capas que forman la madera contrachapada se pegan intencionalmente juntas en ángulos rectos alternos lo que le da resistencia, durabilidad, también reduce las posibilidades de que la madera se parta al clavar en los bordes e incrementa su resistencia a la deformación, el agrietamiento y la torsión.

Para el dimensionamiento del equipo se consideró el tamaño de la muestra, los factores a evaluar, el porte de la plántula al tiempo máximo de establecimiento y un espacio extra para la adecuada difusión del calor, garantizando la uniformidad de la temperatura. Para la etapa de optimización, dadas las condiciones climáticas y el diseño del germinador, se decidió dejar la temperatura fija en  $29^{\circ}\text{C}$ , el fotoperiodo fue 12/12 h luz-obscuridad y la intensidad lumínica en 150 lux. Por lo que el único factor que se optimizó fue el volumen de agua de imbibición y se emplearon cinco niveles: 2.5, 3.5, 5, 7.5 y 10 mL. Todos los experimentos se realizaron por triplicado en lotes de 20 semillas.

En el diseño inicial se consideró únicamente un porte máximo de la planta de 8 a 10 cm de longitud antes del trasplante al contenedor definitivo. Debido a que se establecieron los niveles de imbibición de las semillas inicialmente a 2.5, 5, 7.5 y 10 mL, el equipo se diseñó para contener un máximo de 270 plantas, posteriormente se agregó otro volumen de imbibición 3.5 mL, por lo que se requería de espacio para 300 contenedores mínimo, por lo que se rediseño, sin modificar las cualidades de homogeneidad térmica del equipo.

El objetivo de diseñar aparatos de bajo costo implica no sólo una disminución en los gastos de fabricación y mantenimiento, sino también en los gastos de consumo de energía. Los materiales en su totalidad fueron adquiridos en la región o a través de páginas nacionales no especializadas en

componentes electrónicos. Cabe destacar que, todos los materiales, incluidos los circuitos, la madera de triplay, la tornillería, los herrajes, los bastidores y las lámparas, así como los materiales empleados en el equipo verificador, tuvieron un costo total US\$54.8. Existen en el mercado modelos de germinadores cuyo blanco comercial son los habitantes urbanos que desean germinar sus propias semillas (Mercado libre, Amazon, etc.), sin embargo, no cumplen con ninguno de los requerimientos de la ISTA y su capacidad de germinación es para unas pocas plantas.

El desarrollo temprano de un cultivo pasa por diferentes fases, la germinación, la emergencia y el establecimiento. Durante la germinación se lleva a cabo la rehidratación (imbibición) de la semilla. Una imbibición adecuada permite la reactivación de procesos metabólicos, así como la activación de las enzimas, mecanismos de reparación de membranas, proteínas y ADN, que culminan con la elongación celular y la aparición de la radícula (germinación *sensu stricto*) (Dubreucq *et al.*, 2000, Maldonado *et al.*, 2011), las plantas deben sincronizar sus ciclos de crecimiento con un adecuado abastecimiento hídrico. Sin embargo, hasta ahora, el agua no se consideraba como un factor a dosificar, como las hormonas o los estimulantes del crecimiento, aunque desde hace tiempo, se sabe que la restricción en la disponibilidad de agua en las plantas, dispara respuestas que afectan al metabolismo vegetal (Cunha *et al.*, 2024; Du Jardin, 2015).

Recientemente, se ha considerado el uso de las técnicas del *primming* (preacondicionamiento) para mejorar la emergencia y aunque se usan principalmente para especies vegetales no domesticadas, es interesante, determinar el efecto que tiene la disponibilidad de agua en la germinación de semillas y el desarrollo de las plántulas (UBA, 2020; Du Jardin, 2015).

En el presente trabajo, estudiamos el efecto del preacondicionamiento del agua evaluando el efecto de diferentes volúmenes de agua (2.5, 3.5, 5, 7.5 y 10 mL) sobre la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas. El porcentaje de germinación se cuantificó en placas de Petri, mientras que el porcentaje de emergencia se determinó después de que las semillas germinadas se trasplantaron en macetas con sustrato.

Los resultados muestran que la capacidad de germinación o el porcentaje máximo de germinación acumulada (%GA) a 9 DPII mostró una relación inversamente proporcional a la cantidad de agua utilizada para la imbibición de semillas. El coeficiente de correlación de Pearson fue -0.905,  $p=0.000$ . Entre los tratamientos 2.5, 3.5 y 5 mL de agua no mostraron diferencias significativas en el porcentaje máximo de germinación acumulada a los 9 DPII ( $p>0.05$ ). Aunque, sí fueron significativamente mayores que 7.5 mL (volumen de referencia). Por otro lado, hubo una

disminución significativa en el porcentaje máximo de germinación acumulada con 10 mL ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 1 publicación 2). En la Figura 2 (publicación 2), se puede observar que a medida que aumenta el volumen de imbibición, también aumenta la variabilidad, lo que impide demostrar estadísticamente las diferencias observadas entre todos los resultados. En trabajos anteriores, se menciona que las condiciones de estrés relacionadas con la disponibilidad de agua favorecen la germinación de *Capsicum chinense* (Garruña-Hernández *et al.*, 2014), debido a características genéticas que permiten a las semillas adaptarse a limitaciones de agua (Maldonado *et al.*, 2011). En otros modelos, como algunas variedades de *Zea mays* y *Helianthus annuus L.*, una limitación controlada de agua favorece la tasa de germinación tanto con osmóticos como con preacondicionamiento del agua (Dubreug *et al.*, 2000; Mc-Donald, 2000; Ramón y Mendoza, 2002; Rojo, 2005; Zhang *et al.*, 2007; Farooq *et al.*, 2006; Guan *et al.*, 2009; FAOSTAT, 2014).

Las radículas de las plántulas se midieron durante la imbibición mostrando que el volumen de 2.5 mL incrementa significativamente la longitud de la raíz desde el día 4 DPIL, mientras que 3.5 y 5 mL aunque fueron distintos de 7.5 mL no mostraron diferencias entre ellos. El menor crecimiento se observó en 10 mL. Por lo que se concluye que el estrés por deficiencia de agua favoreció el aumento en la longitud de la radícula (Figura 4 publicación 2) mientras que el estrés por exceso de agua inhibe su crecimiento.

Estos resultados, pueden explicarse en el hecho de que las raíces son el órgano clave para la adaptación a la sequía (Foolad, 2007; Florido y Bao-Fundora 2014) y por lo tanto, el crecimiento y arquitectura responden a las necesidades de los órganos aéreos. En otras especies vegetales, se ha determinado que un aumento temprano en la longitud de la raíz es un indicador de resistencia al estrés (Florido y Bao-Fundora, 2014; Farooq *et al.*, 2006).

En general, los resultados obtenidos muestran que al aumentar el volumen de la imbibición del agua también aumenta el tiempo de germinación, el período de latencia y el  $GT_{50}$  (Tabla 1). Además, otros factores en el sistema deben ser considerados; por ejemplo: la difusión del oxígeno, esencial para el metabolismo aerobio de las semillas (Prisco *et al.*, 1992; Koorneef *et al.*, 2002; Ramón y Mendoza, 2002) podría estar menos disponible al aumentar el volumen de agua, formando esta última, una película más gruesa que disminuye la difusión de este gas. Además, la cubierta de la semilla cuando se rehidrata, dificulta la entrada de oxígeno al embrión (Rojo, 2005; Doria, 2010).

Finalmente, la tendencia de los resultados mostró que los tratamientos que favorecieron la emergencia corresponden a 3.5 y 5 mL en ese orden, aunque 2.5 mL que fue el mejor al estimular

la germinación, ocupó el tercer lugar en la emergencia; así que se concluye que una mayor velocidad de germinación no necesariamente corresponde a una mejoría en la emergencia (Hernández-López *et al.*, 2018).

Debido a que el objetivo final del paquete tecnológico es incrementar la eficiencia del cultivo, se propuso el uso de un bioestimulante de tipo peptídico, una glucocinina de origen animal (Goa). Las glucocininas han sido descritas en diferentes tipos de plantas participan en diversas actividades metabólicas en plantas, en procesos tan importantes como la regulación del metabolismo de los carbohidratos a través de la fosforilación de proteínas, el crecimiento y la germinación (Goodman y Davis, 1993). También se ha demostrado, que estimulan la lipogénesis disminuyen la lipólisis, incrementan el transporte de aminoácidos al interior de las células, estimulan el crecimiento celular y regulan la expresión de genes relacionados con la germinación (Sánchez de Jiménez *et al.*, 1999; Oliveira *et al.*, 2004; Sangeetha y Vasanthi, 2009; Pascual-Morales *et al.*, 2012; Avila-Alejandre *et al.*, 2013). Por otro lado, la Goa participa en la señalización de los carbohidratos, entre ellos la glucosa. El papel de la glucosa en el proceso de germinación depende el tejido y la etapa del desarrollo. Se ha propuesto que la glucosa y otros azúcares simples pueden funcionar como reguladores osmóticos y participan en la protrusión de la radícula. Los azúcares y las citocininas actúan sinérgicamente para regular la emergencia de las plántulas, activar a los meristemos, ramificación y floración de los brotes (Wang *et al.*, 2021).

Los resultados de los tratamientos germinativos (artículo 3), se expresaron mediante la evaluación de la cinética continua de germinación, emergencia y establecimiento sobre la misma muestra de semillas. La primera etapa analizada fue la germinación, durante ésta no se presentaron diferencias significativas en el %GA entre los tratamientos en ninguno de los días analizados, aunque en general, los promedios tienden a incrementarse numéricamente con el siguiente orden: Testigo >Goa > Glucosa> combinación (Figura 2 A del artículo 3). El %GAmáx se alcanzó al 9 DPPII, la muestra tratada con la combinación Goa + Glu disminuyó significativamente ( $p > 0.05$ ) el porcentaje de semillas germinadas con respecto al Testigo, mientras que los tratamientos con glucosa y Goa no mostraron diferencias entre ellos ni con respecto al Testigo.

En el caso de la emergencia (segunda etapa), ninguno de los tratamientos mostró diferencias significativas entre ellos o con respecto al Testigo, durante el tiempo analizado. Sin embargo, es interesante que aunque en las semillas tratadas con la mezcla, hubo un número menor de semillas germinadas, los valores de emergencia son similares entre los tratamientos (lo que se evidencia en

los tiempos totales globales que describen posteriormente). En la tercera etapa, el establecimiento, se continuó con el monitoreo de las plantas con el objetivo de establecer el momento de la aparición de la primera hoja verdadera. Se observó que el tratamiento con los diferentes inductores, aumentó el porcentaje total de plántulas establecidas de forma significativa ( $p \leq 0.05$ ), desde el día 19 y este efecto se mantuvo hasta el 22 DP II.

Los resultados anteriores muestran que los efectos de la Goa y la glucosa, en *C. chinense* se presentan en las etapas postgerminativas, uniformando la emergencia y favoreciendo el establecimiento y aunque por separado no afectan significativamente la germinación la combinación si disminuye el %GA. Resulta interesante la observación debido a que, aunque se podría pensar que un aumento en la concentración de azúcares libres dentro de la semilla debiera favorecer la germinación, al proporcionar una fuente energía rápidamente accesible; Zhu *et al.* (2009) demostraron que existe un retraso de la germinación de la semilla inducido por la presencia de glucosa como resultado de que altas concentraciones de ésta última promueven la supresión del catabolismo de ABA en semillas de arroz. Por otro lado, las Goa han sido implicadas con el transporte de carbohidratos durante la germinación en *Canavalia ensiformis* (Olivieria *et al.*, 2004) y por lo tanto con el incremento de la concentración de este carbohidrato en el embrión. Lo anterior podría estar relacionado con el efecto aditivo del tratamiento combinado (Dekkers *et al.*, 2004).

Por otro lado, los tratamientos no favorecieron la salida de la latencia, en promedio, la primera protrusión ocurre a los 5 DP II independientemente del tratamiento. La velocidad y el  $T_{50}$  de germinación no se modificaron significativamente por efecto de la Goa, la glucosa o la combinación de ambas, sin embargo, el valor promedio de la velocidad disminuye con respecto al Testigo, lo que podría explicar porque el %max de las muestras tratadas con la combinación disminuyó significativamente ( $54.7 \pm 18 \%$ ) con respecto al Testigo, ( $86 \pm 12.6\%$ ) en el 9 DP II. En el caso de la etapa de emergencia, tampoco se observan cambios significativos, ni entre tratamientos ni con respecto al Testigo, en ninguno de los parámetros analizados.

Sin embargo, en la etapa de establecimiento el porcentaje máximo de todos los tratamientos se incrementaron significativamente con respecto del Testigo al 22 DP II. El %max fue  $51 \pm 10\%$  para el Testigo,  $82.1 \pm 11 \%$  para la Goa,  $77 \pm 14 \%$  y  $74 \pm 9 \%$  para Glucosa y la mezcla, respectivamente, en cuanto al  $T_{50}$  de establecimiento fue significativamente menor en los tratamientos, en el Testigo fue a los  $21.8 \pm 2.7$  DP II, mientras que para la Goa fue de  $17.6 \pm 0.7$  DP II y para la Glucosa y la mezcla fue de  $18.06 \pm 1$  y  $18.3 \pm 0.2$  DP II, respectivamente. En cuanto a la velocidad, para el Testigo se

encontró que fue de  $0.68 \pm 0.32$  plantas/día, mientras que para la Goa  $2.77 \pm 0.76$  plantas/día y para la glucosa y la mezcla mostraron valores muy similares, de  $1.61 \pm 0.43$  y  $1.6 \pm 0.44$  plantas/día, respectivamente. Por lo que se puede considerar que la velocidad de establecimiento de todos los tratamientos fue mayor con respecto al Testigo.

Finalmente, se registró el efecto de la Goa sobre el desarrollo de las plántulas, a fin de comparar la respuesta de la sección radicular con respecto a la sección área de la plántula. La Goa incrementó significativamente ( $p < 0.05$ ) la longitud de la raíz principal y el número de raíces laterales con respecto a todos los tratamientos y el Testigo. Estos resultados sugieren que la aplicación de Goa favoreció el desarrollo de las plántulas en *C. chinense*, con un efecto tejido-específico sobre el crecimiento, como se reportó previamente para maíz (Avila-Alejandre *et al.*, 2013). En *Arabidopsis thaliana*, también se ha reportado que la Goa estimuló el crecimiento de la raíz primaria, el número de pelos radiculares, el crecimiento de las raíces laterales y el desarrollo vegetativo y reproductivo (Pascual-Morales *et al.*, 2012). Díaz Granados *et al.*, (2021) mencionan que, los sensores moleculares para azúcares simples son diferentes a aquellos que reconocen disacáridos y la adición a diferentes tejidos causa una respuesta diferencial. Una hexosa tal como la glucosa adicionada al musgo *Physcomitrell patens* disminuye la diferenciación y el ciclo celular mientras que los disacáridos los favorecen. Relacionados con lo anterior, se ha postulado que la glucosa en forma libre es escasa, aun así, es capaz de regular el crecimiento de las plantas (Siddiqui *et al.*, 2020).

Finalmente, la respuesta a los tratamientos durante el desarrollo temprano de *C. chinense* se resume en la Figura 3 del artículo 3, donde se muestra que todos los tratamientos redujeron el tiempo al que se alcanza el 90% del establecimiento aún a pesar de algunos como la Mezcla Goa + Glucosa y la Glucosa retrasaron el TG90i con respecto al Testigo, esto se puede explicar por una reducción por el tiempo necesario para alcanzar la TE90i y en el caso particular de la Goa, la reducción del tiempo de establecimiento 90. En el caso del TEst 90i, todos los tratamientos mostraron diferencias significativas, siendo la Goa el mejor tratamiento, seguido de la Glucosa y finalmente la combinación, por lo que los resultados obtenidos sugieren que, comparado con el Testigo, el tratamiento con Goa disminuye hasta en 10 días (equivalente a una reducción del 30%), el tiempo de estancia de las plántulas en los germinadores; la glucosa 9 días (equivalente a una reducción del 26%) y la mezcla 8.8 días (equivalente a una reducción del 26.3 %) y aunque no existen diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre los tratamientos, el mejor promedio lo mostró la Goa, seguida de la Glucosa y luego la Mezcla.

La Goa mostró un efecto tejido-específico sobre el crecimiento, como se reportó previamente (Avila-Alejandre *et al.*, 2013). La Goa incrementó significativamente ( $p < 0.05$ ) la longitud de la raíz principal y el número de raíces laterales con respecto a todos los tratamientos y el Testigo. Estos resultados sugieren que favorece el desarrollo temprano de las plántulas de *C. chinense*. La Goa de páncreas bovino también estimuló el crecimiento de la raíz primaria, el número de pelos radiculares tanto de raíz primaria como de las raíces laterales y el desarrollo vegetativo y reproductivo en *Arabidopsis thaliana* (Pascual-Morales *et al.*, 2012). Sin embargo, hay poca información acerca de su participación en la movilización de carbohidratos. Díaz Granados *et al.* (2020) mencionan que, los sensores moleculares para azúcares simples son diferentes a aquellos que reconocen disacáridos y la adición a diferentes tejidos causa una respuesta diferencial. Una hexosa tal como la glucosa adicionada al musgo *Physcomitrella patens* disminuye la diferenciación y el ciclo celular mientras que los disacáridos los favorecen.

Las plantas perciben a los azúcares solubles mediante diferentes sensores que incluyen a las vías dependientes e independientes de la hexoquinasa (HXK), al Regulador de señalización de proteína G (RGS1) y dos sensores principales del estado de nutrientes y energía: la proteína quinasa1 relacionada con la sacarosa-no fermentación1 (SnRK1) y la proteína cinasa blanco de la rapamicina (TOR, por sus siglas en inglés Target of rapamycin) (Quilichini *et al.*, 2019, Aguilera-Alvarado y Sánchez-Nieto, 2017). La proteína cinasa TOR y su relación con la germinación en maíz, ha sido ampliamente estudiada por el grupo de la Dra. Estela Sánchez-Quintanar, quienes aportaron evidencia de la importancia de esta proteína en respuesta a las glucocininas, en particular Zm IGF y la insulina una Glucocinina de origen animal (Goa).

## 10. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se construyó un germinador con un costo total de fabricación muy competitivo (US \$54.8), aún frente a equipos comerciales no científicos y que no han sido verificados. El elemento verificador, conformado por la tarjeta Arduino y la computadora, permite recoger datos en tiempo real, lo que permite monitorear el funcionamiento y hacer cálculos del desempeño del germinador. El germinador mostró, tener una alta eficiencia energética, lo que se puede atribuir a factores de diseño, pero también se pueden atribuir a los elementos calefactores. Se propone que, las bombillas incandescentes, son elementos calefactores más eficientes que las resistencias eléctricas encaquetadas, quizá debido a que el filamento de tungsteno requiere menos

energía para alcanzar la temperatura umbral y esta temperatura es más alta en el tungsteno (de la bombilla) que en níquel (de la resistencia enchaquetada).

Se observó que la correcta hidratación influye sobre etapas posteriores a la germinación, aún sin la adición de efectores. El volumen de agua de imbibición de las semillas de chile, afecta la germinación, así como la  $TG_{50}$ . Los resultados mostraron que los tratamientos que favorecieron la germinación fueron 2.5, 3.5 y 5 mL. Para la emergencia corresponden a 3.5 y 5 mL y 2.5 mL en ese orden, aunque hay que considerar que una mayor velocidad de germinación no necesariamente corresponde a una mejoría en la emergencia. Las plántulas de semillas imbibidas con 5 y 3.5 mL tienen un porcentaje de establecimiento acumulado a 22 DPII significativamente mayor; el volumen de 5 mL mostró la mayor velocidad de establecimiento seguido de 3.5, 2.5 y 7.5 y finalmente 10 mL, respectivamente.

La Goa, la glucosa y la combinación, retrasan la germinación con respecto del Testigo. En la etapa de emergencia, los tratamientos no mostraron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) en el porcentaje total de emergencia acumulada con respecto al Testigo. Adicionalmente, no se encontraron diferencias entre los tratamientos. Sin embargo, sí hubo diferencias en cuanto a la velocidad de emergencia (E50) de todos los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al Testigo. Es interesante hacer notar que las concentraciones de Goa y Glucosa utilizadas en este trabajo son muy bajas, sin embargo, son suficientes para mantener la sobre regulación. Por otro lado, se observó que la Goa tiene un efecto tejido-específico sobre el crecimiento, incrementó significativamente ( $p < 0.05$ ) la longitud de la raíz principal y el número de raíces laterales con respecto a todos los tratamientos y el Testigo. Estos resultados sugieren que la aplicación de Goa favoreció el desarrollo de las plántulas en *C. chinense*. Finalmente, en el caso del establecimiento 90, todos los tratamientos mostraron diferencias significativas, siendo la Goa el mejor tratamiento, seguido de la Glucosa y finalmente la combinación, por lo que el tratamiento con Goa disminuye hasta en 10 días (29.9%), el tiempo de estancia de las plántulas en los germinadores. La glucosa 9 días (26%) y la mezcla 8.8 (26.3 %) con respecto al Testigo.

En resumen, la estrategia propuesta aquí se basó en tres pilares, el mantenimiento de una temperatura constante de crecimiento y desarrollo, la caracterización de los volúmenes óptimos de hidratación (*hidroprimming*) y la aplicación de los inductores del crecimiento desde el inicio de la imbibición (*hormono-primming*) para verificar el efecto real de las glucocininas. En este caso, esta estrategia permitió reducir el tiempo total de establecimiento de plántulas de *C. chinense* se acorta

significativamente en comparación con otros sistemas, incluso cuando se usa la misma variedad (Jaguar). Los resultados del estudio en cada etapa muestran que la Goa, estimula el desarrollo vegetativo, de manera diferencial entre las raíces y los hipocótilos y de acuerdo con la bibliografía este efecto podría estar modulado por la concentración de glucosa libre.

## 11. PERSPECTIVAS

Con el trabajo realizado, se demostró que, existe la posibilidad de optimizar el espacio de los módulos de agricultura protegida, mediante el empleo de diversos tipos de *primmings*, que minimicen el tiempo necesario hasta alcanzar la emergencia y el uso de la glucocinina, que contribuye a disminuir el tiempo necesario para alcanzar el establecimiento. Sin embargo, es necesario seguir estudiando las interacciones de dichos tratamientos, mediante un estudio de optimización multifactorial, (como el análisis de superficie de respuesta), para obtener una combinación más específica de niveles de ambos factores y determinar si se puede minimizar aún más el tiempo de permanencia de las plántulas en los germinadores antes de llevarlas a los módulos de producción. Se propone también, profundizar en el efecto de diferentes concentraciones de glucocinina, el volumen de agua sobre la productividad de las plantas adultas y en los efectos fisiológicos de la administración de dichos factores sobre la morfología de las plántulas. Se puede, además, profundizar en el estudio de la fisiología de las plántulas o de las plantas adultas tras la administración de dichos factores, sobre todo en la sobrevivencia y morfología de las raíces, así como, su efecto fisiológico o aun molecular sobre las misma y si se modifica de alguna manera la tasa de adsorción de nutrientes, como son la triada N, P y K. Se propone estudiar el efecto de las hormonas relacionadas con el crecimiento que pudiera estar ejerciendo el *hidroprimming*, así como el efecto hormonal que pudiera estar ejerciendo la glucocinina en las plantas. Y verificar si en plantas dicotiledóneas se replica la activación de la ruta IP3K/AKT, tal como ya se demostró en maíz.

## 12. REFERENCIAS.

- Andrews J. (1995). Peppers. The domesticated *Capsicum*. University Texas press.
- Altieri M. (2001). Biotecnología agrícola: mitos, riesgos ambientales y alternativas. En Biotecnología, Biopiratería. Foundation for Deep Ecology y Fred Gellert Family Foundation (San Francisco, California) P.p. 15-42. Obtenido de: [https://www.researchgate.net/publication/268293562\\_Biotecnologia\\_agricola\\_Mitos\\_Riesgos\\_Ambientales\\_y\\_Alternativas](https://www.researchgate.net/publication/268293562_Biotecnologia_agricola_Mitos_Riesgos_Ambientales_y_Alternativas).
- Aguilera-Alvarado GP., Sánchez-Nieto S. (2017). Plant hexokinases are multifaceted proteins. *Plant Cell Physiol.* 58 (1). 1151–1160.
- Avila-Alejandre AX., Espejel F., Paz-Lemus E., Cortés-Barberena E., Díaz de León-Sánchez F., Dinkova TD., Sánchez de Jiménez E y Pérez-Flores L.J. (2013). Effect of insulin on the cell cycle of germinating maize seeds (*Zea mays* L.) *Seed Science Research.* 1 (1):3-14. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258512000281>
- Ayala-Villegas M J. (2012). Análisis del crecimiento y calidad de semillas de tres tipos de chile (*Capsicum annum* L.). Tesis. Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Campus Montecillo. México.
- Azevedo CR., Maciel FM., Silva LB., Ferreira ATS., Cunha M., Machado O., LT. (2006) Isolation and intracellular localization of insulin-like proteins from leaves of *Bauhinia variegata*. *Braz J Med Biol Res.* 11:1435-1444. DOI: <https://10.1590/s0100-879x2006001100007>
- Bautista-Guevara F. (2013). Eficiencia energética y conservación de energía: perspectiva para un desarrollo sostenible. *Revista peruana de energía.* 3 (1):57-87.
- Bernau VM., Jardon Barbolla L., McHale LK., Mercer KL. (2020). Germination response of diverse wild and landrace chile peppers (*Capsicum spp.*) under drought stress simulated with polyethylene glycol. *PLoS ONE* 15(11), 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236001>
- Borlaug NE. & Dowsell, C. (2011). La Inacabada Revolución Verde. El Futuro Rol de la Ciencia y la Tecnología en la Alimentación del Mundo en Desarrollo. Agbioworld USA. Disponible en: <http://www.agbioworld.org/biotech-info/articles/spanish/desarrollo.html>

Cardona J., Lopera G., Montoya A., Peña J., Gil M., Benavides J., Caicedo M., Ríos L., Restrepo G. (2006). Obtención de oleorresina de pimentón (*Capsicum annuum* L.) vitae. *Revista De La Facultad De Química Farmacéutica*. 13(1) 5-9. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v13n1/v13n1a01.pdf>

Cano-Vázquez A., López-Peralta M., Zavaleta-Mancera H., Cruz-Huerta N., Ramírez-Ramírez I., Gardea-Béjar A., González-Hernández V. (2015). Variación en grados de latencia en semillas entre colectas de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*) *Botanical Sciences* 93 (1): 175-184. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.138>

Carroll E., Carroll P. (2006). Introducción a la economía con énfasis en la innovación. *Innovation Planet*. 350pp.

Carrizo-García C., Sterpetti M., Volpi P., Ummarino M. Saccardo F. (2013). Wild capsicums: identification and *in situ* analysis of Brazilian species. In: Lanteri S, Rotino GL, eds. *Breakthroughs in the genetics and breeding of Capsicum and egg plant*. Turin: Eucarpia, 205–213. Brazil

Córdoba-Rodríguez D., Vargas-Hernández J.J., López-Upton J., Muñoz-Orozco A. (2011). Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pincea* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencias*. 45(1):493-506. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n4/v45n4a8.pdf>

Castellanos JZ., Borbón, MC. (2009). Panorama de la horticultura en México. In: Manual de producción de tomate en invernadero. Ed. Castellanos JZ: 1ª ed. INTAGRI. Pp.1-18. México.

CIMMYT. (2018). Enlace La Revista de la Agricultura de Conservación. 42(2) 4-50

Collier E., Watkinson A., Cleland C.F., Roth J. (1987). Partial purification and characterization of an insulin-like material from spinach and *Lemna gibba*. *J. Biol. Chem.* 262(1):6238-6247. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)45561-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)45561-5)

Collip J.B. (1923). Glucokinin. A new hormone present in plant tissue. Preliminary paper. *J. Biol. Chem.* 56: 513–543. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)85588-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)85588-0)

Cunha DS.; Neto, VG.; Santos, ID.; Andrade, MVS.; Takahashi, D.; Loureiro, MB.; Fernandez, L G.; Ribeiro, PR. & de Castro, RD. (2024). Castor (*Ricinus communis* L.) differential cell cycle and metabolism reactivation, germinability, and seedling performance under NaCl and PEG osmoticum: Stress tolerance related to genotype-preestablished superoxide dismutase activity.

Plant physiology and biochemistry : PPB, 207, 108372. Advance online publication.  
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108372>

CONAFOR.2022. Catálogo de paquetes tecnológicos forestales.

Damián-Huato MA., Sangerman-Jarquín DM., & Cruz León A. (2020). Producción y consumo de maíz entre milperos: entre la utopística y la utopía agroecológica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1929-1941. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.1682>

Damián-Huato, M. A., Cruz León, A., Sangerman-Jarquín, D. M., López Reyes, L., Carcano Montiel, M., & Romero Arenas, O. (2019). Producer-innovator model and food self-sufficiency for rainfed milperos: sustainable public policy proposal. *SCRIPTA NOVA-REVISTA ELECTRONICA DE GEOGRAFIA Y CIENCIAS SOCIALES*, 23(608), 1-19.

Damián-Huato MA., Cruz-León A., Ramírez-Valverde B., Romero-Arenas O., Moreno-Limón S., Reyes-Muro L. (2013). Maíz, alimentación y productividad: modelo tecnológico para Productores de temporal de México. *Agricultura, Sociedad y desarrollo* 10 (2) 157- 176. doi: [www.scielo.org.mx/pdf/asd/v10n2/v10n2a2.pdf](http://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v10n2/v10n2a2.pdf).

Dekkers, BJW; Schuurmans, JAMJ & Smeekens, SCM. (2004). Glucose delays seed germination in *Arabidopsis thaliana*. *Planta*, 218(4): 579–588. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00425-003-1154-9>

Dethier JJ. & Effenberger A. (2012). Agriculture and development: A brief review of the literature. *Economic Systems* 36(2), 175–205. <https://doi:10.1016/j.ecosys.2011.09.003>

Díaz-Granados VH., López-López JM., Flores-Sánchez J., Olguin-Alor R.; Bedoya-López A.; Dlnkova TD., Salazar-Díaz K., Vazquez-Santana S., Vazquez-Ramos JM., Lara-Nuñez A. (2020) Glucose modulates proliferation in root apical meristems via TOR in maize during germination. *Plant Physiology at Biochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.041>

Dubreucq B., Berger N., Vincent E., Boisson M., Caboche M. and Lepiniec, I. (2000). The *Arabidopsis* Atepr1 extensin-like gene is specifically expressed in endosperm during seed germination. *Journal Plant*. 23(5):643-652.

Du Jardin P. 2015. Plant Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulation. *Rev. Scientia Horticulturae*, 196: 3-14. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/bioestimulantes-agricolas-definicion-y-principales-categorias>

Doria J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*. 31(1):74-85.

Eyster WH., Ellis MM. (1924). Growth of maize seedlings as affected by glucokinin and insulin. *J. Gen. Physiol.* 6 (1):653-670. <https://doi:10.1085/jgp.6.6.653>

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2021. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4474en>

FAO 2003. Sistema de semillas de calidad declarada. Estudio Fao Producción Y Protección Vegetal 185. Roma, Italia. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/a0503s/a0503s.pdf>

FAO, 2015. <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/> (ultima consulta 15 de mayo 2021)

FAOSTAT, 2014. [http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity) (Última Rev. 24/01/2017).

Farooq M, Basra SMA, Afzal I, Khaliq A (2006) Optimization of hydropriming techniques for rice seed invigoration. *Seed Sci Technol* 34:507–512.

Ferratto JA, Mondino MC., Grasso R., Ortiz MM., Longo A., Carrancio LF., Inés T., Rotondo R., Zembo JC., Castro G., García M., Rodríguez Fazzone M., Iribarren MJ. (2010). Buenas Prácticas Agrícolas para la Agricultura Familiar. *ed Ferratto, JA; Rodríguez-Fazzone, M.* FAO. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

Figuroa-Rodríguez K., Figuroa-Sandoval B., Castillo González LA., Tiscareño-Ramírez AB. (2019). Modelo de capacitación y formación para la difusión de innovaciones en el sector cañero. *Agroproductividad*. 12(12): 107-109. <https://doi.org/10.32854/agropvi0.1524>.

Finch-Savage, WE. & Leubner-Metzger, G. (2006) Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*. 171 (1), 501–523. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>

Foley, ME.; Fennimore, SA. (1998). Genetic basis for seed dormancy. *Seed Sci. Res.* 8(2): 173-182. <https://doi.org/10.1017/S0960258500004086>

Foladori G. (2022). Agricultura de precisión y su carácter capitalista: la no neutralidad de la tecnología. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 14(28), e2339-e2350. <https://doi.org/10.22430/21457778.2339>

Flores-Rentería M., Ortiz-Domínguez M., Abreu Quijano MA., Cruz Aviles A. (2016). Directrices del diseño de productos. Ingenio y conciencia. *Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 3:5, 1-8.

Florido Bacallao M., Bao-Fundora L. (2014). Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Cultivos Tropicales. 35(3) 70-88. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193232155008>

Foolad MR. (2007) Genome Mapping and Molecular Breeding of Tomato. *International Journal of Plant Genomics*, 1(1) 52.

Fundación Produce Sinaloa A. C. (2012). Tecnología de producción de chile habanero en casa sombra en el sur de Sinaloa. Recuperado de: <https://www.fps.org.mx/portal/index.php/publicaciones/102-hortalizas/1223-tecnologiade-produccion-de-chile-habanero-en-casa-sombra-enel-sur-de-sinaloa>

García SD. (2017). Bioestimulantes Agrícolas, Definición, Principales Categorías y Regulación a Nivel Mundial. Serie Nutrición Vegetal Núm. 94. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p. Fuentes consultadas du Jardin, P. 2015. Plant Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulation. *Rev. Scientia Horticulturae*, 196: 3-14 p. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/bioestimulantes-agricolas-definicion-y-principales-categorias>

García-Flores C., Aguilar R., De la Cruz HR., Albores M., de Jiménez ES. (2001). A maize insulin-like growth factor signals to a transduction pathway that regulates protein synthesis in maize. *Biochem. J.* 358(1):95-100. <https://doi:10.1042/0264-6021:3580095>

Garruña-Hernández R., La Tournerie-Moreno L., Ayala-Garay O., Santamaría J., Pinzón-López L. (2014). Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia* 48: 413-423. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v48n4/v48n4a6.pdf>

Gamboa-de Buen A., Cruz-Ortega R., Martínez-Barajas E., Sánchez-Coronado M., Orozco-Segovia A. (2006). Natural priming as an important metabolic event in the life history of *Wigandia urens* (Hydrophyllaceae) seeds. *Physiologia Plantarum* 128: 520–530. ISSN 0031-9317. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00783.x>

González T., Gutiérrez LP., Contreras F. (2006). El chile habanero de Yucatán. *Ciencia y Desarrollo*. 195 (1). 9-11.  
<https://www.cyd.conacyt.gob.mx/archivo/195/Articulos/Chilehabanero/Habanero00.html#a>

Goodman DBP., Davis WL. (1993) Insulin accelerates the postgerminative development of several fat-storing seeds. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 190 (1):440-446.  
<https://doi.org/10.1006/bbrc.1993.1067>

Graeber K., Nakabayashi K., Miatton E., Leubner-Metzger G., Soppe J. (2012). Molecular mechanisms of seed dormancy. *Plant, Cell and Environment*. 35 (2), 1769–1786.  
<https://doi:10.1111/j.1365-3040.2012.02542.x>.

Guan YJ., Hu J., Wang XJ and Shao ChJ. (2009). Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*. 10(6):427-433.

Gubler F., Millar AA. & Jacobsen JV. (2005) Dormancy release, ABA and pre-harvest sprouting. *Curr. Op. in Plant Biol.* 8(2), 183–187. <https://doi:10.1016/j.pbi.2005.01.011>.

Gutiérrez-Cedillo JG., Aguilera-Gómez I., González-Esquivel CE. (2008). Agroecología y sustentabilidad. *Convergencia, Revista de Ciencias sociales*. 15(46):51-87.  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/conver/v15n46/v15n46a4.pdf>.

Hacisalihoglu G. & Ross Z. (2010). The influence of priming on germination and soil emergence of non-aged and aged annual ryegrass seeds. *Seed Sci. Technol.* 38(2): 214-217.  
<https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.1.21> .

Hanada K., Hirano H. (2004). Interaction of a 43-KDa receptor-like protein with a 4 KDa hormone-like peptide in soybean. *Biochem.* 38 (2):12105-12112.  
<https://doi.org/10.1021/bi049587a> .

Heiser CB. (1964). Los chiles y ajíes de Costa Rica y Ecuador. *Ciencia y Naturaleza* 7(1):50-57.

Hernández-López A., Beltrán-Peña E.G., Amancio-Oliveira A.E., Núñez Gaona O., Avila-Alejandre A.X. (2018). Water preconditioning on germination and emergence of *Capsicum chinense* Jacq. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9 (8). 1703- 1714.

Hernández-López A., Avila-Alejandre A.X, Mendoza-Francisco N., Hernández-López H. (2019). Diseño construcción, verificación de un germinador de bajo costo". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9 (8). 1703- 1714.

Hernández-Verdugo S., López España R., G., Porras, F., Parra-Terraza, S., Villareal-Romero M., Osuna-Enciso T. (2010). Variación de la germinación entre poblaciones y plantas de chile silvestre. *Agrociencia*. 44 (6), 667-677. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952010000600006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000600006) .

Heydecker W., Higgins J. & Gulliver RL. (1973). Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Nature* 246(1): 42-44. <https://www.doi:10.1038/246042A0> .

Huerta-Hernández A. (2010). Agricultura protegida. *Agroentorno*, 1(1): 31-34.

Hirst KH. (2017). Plant Domestication. Table of Dates and Places. Trought Co. Disponible en línea en: <https://www.thoughtco.com/plant-domestication-table-dates-places-170638>

Hirt H., Al-Babili S., Almeida-Trapp M., Martin A., Aranda M., Bartels D., Bennett M., Blilou I., Boer D., Boulouis A., Bowler C., Brunel-Muguet S., Chardon F., Colcombet J., Colot V., Daszkowska-Golec A., Dinneny JR., Field B., Froehlich K., Gardener CH., Young I. M. (2023). PlantACT! - how to tackle the climate crisis. *Trends in plant science*, 28(5), 537–543. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.01.005> .

Kilian B.; Özkan, H.; Pozzi, C. & Salamini, F. (2009) Domestication of the Triticeae in the fertile crescent. In *Genetics and Genomics of the Triticeae*. Plant Genetics and Genomics: Crops and Models. eds C. Feuillet & G.J. Muehlbauer. pp. 81–119. Springer. Science Business Media, LLC, New York. USA.

INEGI 2020. Censo de población y vivienda 2020. Disponible en:

<https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/oax/poblacion/educacion.aspx>

ISTA. (2017). International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association. Disponible en [http://www.seedtest.org/en/internationalrules\\_content-1-1083.html](http://www.seedtest.org/en/internationalrules_content-1-1083.html). Última consulta: 21 de nov 2017.

IPCC, 2021 Climate change 2007: The physical science bases. Summaries for policy makers. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel of climate change

Lugo-Jiménez N., Carballo-Bautista M., Sauri-Duch E., Centurión-Yah A., Tamayo-Canul E. (2010). Efecto del sistema de cultivo sobre la calidad microbiológica del Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) después de su cosecha. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*. 11 (1):171-179.

Macías-Rodríguez H., Muñoz-Vázquez JA., Velásquez MA., Potisek TM., Villa-Castorena MA. (2013). Chile habanero: descripción de su cultivo en la península de Yucatán. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. <https://10.5154/r.rchsza.2012.06.028>.

Mac-Cardé P. (2017). Mercado de maquinaria agrícola, Red agrícola. Disponible en <http://redagricola.com/cl/mercado-maquinaria-agricola-cifras-evolucion/>.

McDonald MB., Copeland LO. (1997). Seed Production: Principles and Practices. 749 Pp. Springer US

Mc-Donald MB. (2000). Seed priming *In*: Seed Technology and its Biological Basis. Black, M. and D. Bewley (eds). Academic Press, London, pp: 286–32.

Maldonado TR. (2011). Manejo de los micronutrientes en la nutrición vegetal. I Congreso Internacional de Nutrición y Fisiología Vegetal Aplicadas. Guadalajara, Jalisco, México. pp. 53-72.

Medina-Martínez T., Villalón-Mendoza H., Pérez-Hernández J., Sánchez-Ramos G., Salinas-Hernández S. (2010). Avances y perspectivas de investigación del Chile piquín en Tamaulipas, México. *Ciencia UAT*. 4(16):15-20.

Medina-Martínez T., Rodríguez del Bosque LA., Villalón-Mendoza H., Pozo-Campadonico O., Ramírez-Meraz M., López de León R., Lara Villalón M., Gaona-García G., Cardona Estrada A., Mora-Olivo A. (2002). El Chile piquín (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) en el noreste de México. Aspectos ecológicos y socioeconómicos. *Revista BIOTAM*. 13(4)

Medina-Ramírez S. (2004). La dependencia tecnológica de México. *Economía Informa*. 330 (1): 73-81

Misti-Fertilizantes. (2010). Cultivo de *Capsicum*. Folleto técnico. Lima, Perú

Moreno-Casasola P. (2003). Vida y obra de granos y semillas. Col Ciencia N° 146. Fondo de Cultura Económica. CDMX. México

Moreno Reséndez A., Aguilar Durón J., Luévano González A. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*.29(2). 763-774. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14119052014>

Nicasio-Arzeta S., Sánchez-Coronado, ME, Orozco-Segovia A, & Gamboa-de Buen A. (2011). Efecto del pre-acondicionamiento y el sustrato salino en la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays*) raza chalqueño. *Agrociencia*, 45(2), 195-205. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S140531952011000200005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140531952011000200005&lng=es&tlng=es)

Oliveira EA., Ribeiro ES., da Cunha M., Gomes V., Fernández K., Xavier-Filho J. (2004) Insulin accelerates seedling growth of *Canavalia ensiformis* (Jacq.k bean). *Plant Growth Regulation*. 43(1): 57–62.

Meneses-Lazo RE., Garruña-Hernández R., Latournerie-Moreno L., Andrade-Torres JL., Pérez-Gutiérrez A. (2018). Caracterización fenológica y fisiológica de variedades experimentales de chile habanero con alto potencial agronómico. *Rev. Fitotec. Mex*.41 (1): 67 – 74.

Moo-Muñoz AJ., Ayala-Garay OJ., Latournerie-Moreno L., Tzec-May YA. Pinzón-López LL. (2016). Effect of maturity and drying of *Capsicum chinense* Jacq. seeds. *Agro productividad*. 9(1): 63-67.

Montes-Hernández S P., López-López S., Hernández-Verduzco M y Ramírez-Meraz M. (2010). Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género *Capsicum* que crecen y se cultivan en México (informe final). Proyecto “Generación y recopilación de información de las especies de las que México es centro de origen y diversidad genética. SEMARNAT -CONABIO. México D.F.

Monk S. (2010). 30 Arduino™ Projects for the Evil Genius™. The McGraw-Hill. USA. 3ra rev. Disponible en:

[http://www.honfablab.org/wordpress/alexandria/technology/30Arduino\\_Projects\\_EviGenius.pdf](http://www.honfablab.org/wordpress/alexandria/technology/30Arduino_Projects_EviGenius.pdf)

Pawar VA., Laware, SL. (2018). Seed priming: a critical review. *International Journal of scientific Research in Biological Sciences*. 5(5). 94-101.

Pascual-Morales E., Arteaga-Tinoco I., García-Pineda E., Mellado-Rojas ME., Beltrán-Peña E. (2012). La insulina promueve el crecimiento de los pelos radiculares de *Arabidopsis thaliana*. *Biológicas*. 14(1):1-6.

Paz-Lemu E. (2005). Efecto de la insulina en la síntesis de proteínas, síntesis de DNA y Síntesis de RNA en semillas de maíz (*Zea mays* L). Tesis de Licenciatura en Química de alimentos. UNAM. D.F. México.

Pérez S. (2015). Capacidad de extracción de fertilizante del chile Habanero (*Capsicum chinense* L.) Var. Jaguar. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

Pickersgill B. (1984). Migrations of chili peppers, *Capsicum* spp., in the Americas. In Pre - Columbian Plant Migration. D. Stone, (ed.). Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology Vol. 76. Pp. 105 -123 Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA.

Prisco JT., Haddad CR and Bastos JL P. (1992). Hydration-dehydration seed pre-treatment and its effects on seed germination under water stress conditions. *Revista Brasileña de Botánica* 15(1):31-36.

Prado G. (2006). Tecnología de producción comercial de chile habanero (*Capsicum Chinense*. Jacq.). Ed. Instituto Para El Desarrollo De Sistemas De Producción Del Trópico Húmedo De Tabasco. Tabasco, México.

Ranal MA., García de Santana D. (2006). How and why to measure the germination process? *Rev. Brasil. Bot.* 29(1):1-11.

Pedro J., Rocha S. (2019). Biotecnología de Precisión en la Agricultura: Conceptos, Aplicaciones y Bioseguridad. "Biofortificación de cultivos y adaptación climática para la Seguridad Alimentaria y Nutricional" 64 Reunión Anual Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales -PCCMCATela, Honduras; 30 de abril de 2019.

Quilichini TD., Gao, P., Pandey PK., Xiang D., Ren M., Datla R. (2019). A role for TOR signaling at every stage of plant life. *J. Exp. Bot.* 70, 2285–2296.

Ramón M. y Mendoza C. (2002). Efecto del deterioro post-corte sobre la germinación de la semilla asexual de cinco variedades de caña de azúcar. *Rev. Fac. Agron.* 19(4):264-272. <http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0378-78182002000400002> .

Rodríguez-López CD., Rodríguez-Romero A., Aguilar R. y Sánchez de Jiménez E. (2011). Biochemical Characterization of a New Maize (*Zea mays* L.) Peptide Growth Factor. *Protein Peptide Letters* 18(1): 1-8.

Rojo C. (2005). Acondicionamiento osmótico de simientes de girasol (*Helianthus annuus* L.) para el avance de la germinación en siembras precoces para zonas áridas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid. España

Ruíz-Lau N., Medina-Lara F., Martínez-Estévez M. (2011). El chile habanero: su origen y usos. *Ciencia*.62 (3).70-77.

SADER, 2020. Programa sectorial derivado del plan nacional de desarrollo 2019-2024. Disponible en: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5595549](https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5595549). Consultado por última vez 21 julio 2022

Sánchez de Jiménez E., Beltrán-Peña E., Ortiz-López A. (1999). Insulin stimulated ribosomal protein synthesis in maize embryonic axes during germination. *Physiologia Plantarum* 105 (2).148-154.

Sangeetha MK. & Vasanthi RH. (2009). Plant Kingdom Claims For Insulin!!!. *Sri Ramachandra. Journal of Medicine*. 1: 25-31.

Santos HO., Von Pinho EVR., Von Pinho IV., Dutra SMF., Andrade T., Guimarães RM. (2015) Physiological quality and gene expression during the development of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) seeds. *Genetics and Mol. Res.* 2(1): 5085-5098.

Siddiqui H., Sami F & Hayat S. (2020). Glucose: Sweet or bitter effects in plants-a review on current and future perspective. *Carbohydrate research*, 487, 107884. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.107884> .

Sher A., Sarwar T., Nawaz A., Ijaz M., Sattar A. and Ahmad S. (2019). Methods of Seed Priming. M. Hasanuzzaman, V. Fotopoulos (eds.), Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings. P 17-19. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_1).

Shi X., An X., Zhao Q., Liu H., Xia L., Sun X., & Guo Y. (2019). State-of-the-Art Internet of Things in Protected Agriculture. *Sensors* (Basel, Switzerland), 19(8), 1833. <https://doi.org/10.3390/s19081833>.

SENAMHI. (2011) MANUAL de OBSERVACIONES FENOLÓGICAS. Ministerio del Ambiente. Servicio de Meteorología e Hidrología–SENAMHI. Dirección General de Agrometeorología. Lima, Perú.

SIAP-SAGARPA. (2020). Márgenes de comercialización. Chile habanero. [www.SIAP.gob.mx](http://www.SIAP.gob.mx)

SIAP (2021). Márgenes de comercialización de frutas y hortalizas. 1ªqna. Chile habanero y chile serrano. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/archivo/documentos>

SIAP (2022). Márgenes de comercialización de frutas y hortalizas. 1ªqna. Chile habanero y chile serrano. Obtenido de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/736751/06\\_Chile\\_Habanero\\_may\\_2022.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/736751/06_Chile_Habanero_may_2022.pdf)

Smith PG. & Heiser, Jr CB. (1957). Taxonomy of *Capsicum chinense* Jacq. and the geographic distribution of the cultivated Capsicum species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 84: 413.

Sotelo R., Garrocho-Villegas V., Aguilar R., Calderón ME., Sánchez de Jiménez E. (2010). Coordination of cell growth and cell division in maize (*Zea mays*). Relevance of conserved TOR signal transduction pathway. *In Vitro Cell & Dev. Biol. Plant.* 46 (2):578-586.

UBA 2020. Las plantas y el agua. Facultad de agronomía de Universidad de Buenos aires 2020

Vara-Moreno, JC. (2012). Crecimiento y desarrollo del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) y chile comapeño (*Capsicum annuum* L.) en tres diferentes sustratos, bajo condiciones de agricultura protegida. TESIS. Ingeniería en Agronomía. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Campus Xalapa. Veracruz, México.

Velázquez-Valadez, G; Salgado-Jurado, J. (2016). Innovación tecnológica: un análisis del crecimiento económico en México (2002-2012: proyección a 2018). *Análisis económico*, 31:78.

Villa Castorena, M.; Catalán Valencia, E., A.; Inzunza Ibarra, M.A.; Román-López, A.; Macías-Rodríguez, H.; Cabrera Rodarte, D. (2014). Requerimientos climáticos. In: Producción Hidropónica De Chile Habanero En Invernadero. INIFAP- CENID-RASPA Coahuila, México Pp 2.

Wang, M.; Le Gourrierc, J.; Jiao, F.; Demotes-Mainard, S.; Perez-Garcia, M.-D.; Ogé, L.; Hamama, L.; Crespel, L.; Bertheloot, J.; Chen, J. (2021). Convergence and Divergence of Sugar and Cytokinin Signaling in Plant Development. *Int. J. Mol. Sci.* 22, 1282. <https://doi.org/10.3390/ijms22031282>

Xia, F., Zhang, Z., Zhang, Q., Huang, H., & Zhao, X. (2024). Life cycle assessment of greenhouse gas emissions for various feedstocks-based biochars as soil amendment. *The Science of the total environment*, 911, 168734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168734>

Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017, January 26). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>

Zhang CF, Hu J, Lou J, Zhang Y and Hu WM. (2007). Sand priming in relation to physiological changes. Seed germination and seedling growth of waxy maize under high salt stress. *Seed Science Technology*. 35(3):733-738.

Zhao D, Zhou H. (2021). Livelihoods, Technological Constraints, and Low-Carbon Agricultural Technology Preferences of Farmers: Analytical Frameworks of Technology Adoption and Farmer Livelihoods. *Int J Environ Res Public Health*.18(24):13364. doi: 10.3390/ijerph182413364.

Zhu, G.; Ye, N.; Zhang, J. (2009). Glucose-Induced Delay of Seed Germination in Rice is Mediated by the Suppression of ABA Catabolism Rather Than an Enhancement of ABA Biosynthesis *Plant Cell Physiol*. 50(3): 644–651. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcp022>