

Las glucocininas favorecen el desarrollo temprano de *Capsicum chinense* (Jacq.)

Alejandro Hernández-López¹
Alma Xóchil Ávila-Alejandre²

1 Instituto de Agroingeniería-Universidad del Papaloapan. Av. Ferrocarril s/n, Ciudad Universitaria, Loma Bonita, Oaxaca, México. CP. 68400.

2 Centro de Investigaciones Científicas-Instituto de Biotecnología-Universidad del Papaloapan. Circuito Central 200, Parque Industrial, San Juan Bautista, Tuxtepec, Oaxaca, México. CP. 68300.

Autora para correspondencia: axavila@edu.mx.

Resumen

Capsicum chinense (Jacq.), tiene gran importancia económica por lo que es un candidato natural para su implementación en agricultura protegida (AP), pero, tiene varios retos, no están bien definidas las etapas fenológicas ni los marcadores adecuados de las mismas, limitando el análisis de la optimización del cultivo. Por otro lado, se ha demostrado que las glucocininas favorecen el desarrollo temprano de modelos de germinación *in vitro*. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de una glucocinina de origen animal, sobre el desarrollo temprano de *Capsicum chinense* (Jacq). Los experimentos se realizaron en Tuxtepec, Oaxaca, 2016-2020, lotes de 360 semillas por tratamiento (20 semillas x triplicado x seis experimentos independientes), se expusieron a glucocinina de origen animal, glucosa y Goa+glucosa. Se evaluaron parámetros de morfología y la velocidad de crecimiento en cada etapa. El tratamiento con glucosa y la combinación, retrasan la germinación ($p \geq 0.05$), pero no afectan el fenotipo. Aparentemente, ninguna afectó la emergencia ($p \geq 0.05$). Hubo una reducción en el tiempo global requerido para el establecimiento ($p \leq 0.05$), el tratamiento con la glucocinina de origen animal lo disminuyó en un 30%, la glucosa un 26% y la combinación un 26.3%. El tratamiento con la glucocinina de origen animal incrementó el largo de la radícula y el número de raíces laterales ($p \leq 0.05$ para todas), mientras que la longitud del hipocótilo en los tratamientos es mayor al testigo. Se sugiere que la aplicación de glucocinina de origen animal podría ser útil para optimizar el cultivo de chile habanero en AP favoreciendo el desarrollo y disminuyendo el tiempo de estadía en los módulos de producción.

Palabras clave:

acondicionamiento, agricultura protegida, precocidad, semillas.



Introducción

La agricultura protegida (AP), permite una mejor gestión del agua, los espacios y los recursos y salvaguarda los cultivos del ataque directo de las plagas. Sin embargo, las áreas no pueden ser extensas debido al alto costo de los materiales e insumos. Se propone para optimizar el sistema seleccionar cultivos con alta rentabilidad, el uso de semilla certificada, la optimización del riego, la adecuada fertilización y el uso de reguladores del crecimiento que favorezcan el desarrollo del cultivo y lo protejan del estrés biótico y abiótico (Badji *et al.*, 2022; Hernández-López, 2024).

Dentro de las hortalizas idóneas para la incorporación en AP se encuentra *Capsicum chinense* (Jacq.), chile habanero, el cual, es un cultivo muy rentable (entre \$65.00 hasta \$130.00 MN kg⁻¹; SIAP, 2022), sin embargo, aún presenta retos a superar, como son: i) el alto costo de la semilla (\$5 400.00 MN por libra en variedades INIFAP) (Hernández-López *et al.*, 2018); ii) la pérdida de la viabilidad durante el almacenamiento (INIFAP garantiza sólo tres semanas la germinación mayor al 80% en las semillas que expende) y iii) debido al problema de pérdida de viabilidad se deben plantar 2 o 3 semillas por espacio y sacrificar las menos desarrolladas (Garruña-Hernández *et al.*, 2014; Bissoli *et al.*, 2022).

Hay que destacar que, no existe una caracterización consenso sobre las etapas fenológicas y los marcadores de cada una de ellas, ni el tiempo necesario para alcanzarlas bajo condiciones de estudio estándar (requerimientos de la ISTA), lo que impide determinar con certeza el efecto de las hormonas, los nutrientes o los tratamientos de estrés sobre la optimización del cultivo en AP.

La administración de bioestimulantes (BE) favorecen: a) el uso eficiente de los nutrientes; b) la tolerancia al estrés abiótico; c) la calidad de los frutos y d) la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera (García-García, 2020). En este sentido, las glucocininas (Glc) son una familia de proteínas relacionadas con la insulina que tienen un efecto en la regulación del metabolismo de carbohidratos tanto en animales (Goa) como en vegetales (Gov) (Hernández-López, 2024; Laguna-Hernández *et al.*, 2017). Fueron descritas por primera vez por Eyster y Ellis (1924), los primeros estudios del efecto de las Glc se realizaron en plántulas de maíz, donde se observó que estimulan el crecimiento de las raíces y del coleóptilo, mediante un uso más eficiente de las reservas del endospermo. Azevedo *et al.* (2006) atribuyeron a las Glc un papel en la hidrólisis del almidón y en su conversión a hexosas (glucosa).

También se sabe que estimulan la conversión de grasas a carbohidratos en semillas de calabaza y girasol (Goodman y Davis, 1993) y que estimulan el crecimiento celular en embriones germinados de maíz (Sánchez de Jiménez *et al.*, 1999), adicionalmente, Oliveira *et al.* (2004) encontraron un aumento en el tamaño de las plántulas de frijol, mientras que, Avila-Alejandre *et al.* (2013) observaron un aumento en la expresión de genes relacionados con la germinación y el ciclo celular, en embriones de maíz, dicho efecto se acompañó con un mayor crecimiento de la radícula, con la participación de la proteína cinasa blanco de la rapamicina (TOR) lo que se evidenció con la reversión de los efectos tras la aplicación de rapamicina; Pascual-Morales *et al.* (2012), reportaron un aumento del crecimiento de los pelos radiculares de *Arabidopsis* dosis dependiente de la insulina.

Basado en lo anterior, se sugiere que la Goa, podría acelerar el desarrollo temprano de *Capsicum chinense* (Jacq.) promoviendo el sistema radicular. Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de una glucocinina de origen animal (Goa), sobre la germinación, la emergencia y el establecimiento (desarrollo temprano). Con el fin de discriminar si este estímulo tiene que ver con una actividad mitogénica relacionada con el receptor a insulina o la simple disponibilidad de glucosa, se utilizó como control a la glucosa y a la combinación de glucosa y Goa.

Materiales y métodos

Los experimentos del desarrollo temprano de *Capsicum chinense* (Jacq.) se realizaron en el laboratorio Químico-Biológico de Universidad del Papaloapan-Tuxtepec y en las instalaciones de Labiott, en Tuxtepec Oaxaca, durante el año 2016 y hasta 2020.

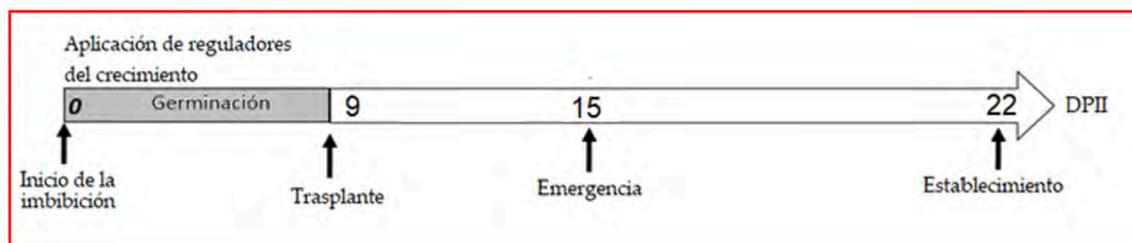
Material biológico

Se emplearon 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. Una vez en el laboratorio, se separaron sublotes de 300 mg de semillas y se almacenaron a 25 °C.

Cinética de desarrollo temprano

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

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



Los ensayos de germinación se realizaron de acuerdo a Hernández-López *et al.* (2018), lotes de 20 semillas, fueron expuestos a 5 ml de: 1) Goa 0.063 μ M (de insulina bovina; Sigma-Aldrich, México cat. I5500 de acuerdo con Ávila-Alejandre *et al.* (2013); 2) glucosa 55 mM; 1% de acuerdo a Zhu *et al.* (2009) (JT Baker, USA); 3) la combinación de Goa (0.063 μ M)/glucosa (55 mM) (Goa+glucosa) y 4) agua destilada como testigo.

Las semillas se incubaron a 28 °C por nueve días, con fotoperiodo de 12 h luz 12 h oscuridad. Se realizaron seis réplicas independientes por triplicado, 360 semillas por tratamiento. El número de semillas germinadas se verificó diariamente, hasta el noveno día posterior al inicio de la imbibición (9 DPII) de acuerdo a Hernández-López *et al.* (2018). El criterio de inclusión fue que la raíz protruida midiera 2 mm de largo. Con los datos obtenidos, se calculó la germinación acumulada (GA) expresada como porcentaje, usando la siguiente ecuación: $GA = (SPD/n) \times 100$. Donde: SPD es el número de semillas con raíz protruida diariamente; n, el número de semillas/repeticón.

El punto máximo de germinación acumulada observada (GA_{max}) se estableció como el porcentaje de germinación alcanzado al 9 DPII, el tiempo de germinación 90 inferido ($TGi90$) se calculó mediante la regresión PROBIT. A partir del 9 DPII, todas las semillas (germinadas o no) se trasplantaron como se describe en Hernández-López *et al.* (2018) a macetas de poliestireno con 5 g de sustrato para macetas Miracle-Gro (The Scottslawn Company, Ohio USA), se regaron diariamente y se monitoreo la emergencia desde el 10 hasta el 19 DPII o el establecimiento desde el día 14DPII.

El criterio de inclusión para emergencia fue la salida de los cotiledones por encima del sustrato, para establecimiento, fue la aparición de hojas verdaderas de más de 3 mm. Para ambos, los datos se expresaron como porcentaje. Para la emergencia acumulada (EA) se usó la ecuación: $EA = (PED/n) \times 100$; el establecimiento acumulado (EstA) se calculó con: $EstA = (PEst/n) \times 100$. Donde: PED, es número de plántulas con los cotiledones emergidos diariamente, PEst es número diario de plántulas con hoja verdadera y en ambas, n es el número de semillas empleadas/repeticón.

La emergencia máxima observada (EA_{max}) y el establecimiento máximo observado ($EstA_{max}$) se obtuvieron cuando el número de plántulas con el criterio de inclusión ya no cambió, en dos días de observación. También se calculó el tiempo de emergencia 90 inferido ($TEi90$) y el tiempo de establecimiento 90 inferido ($TESti90$), mediante la regresión PROBIT.

Por último, en el día 22DPH, 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. En cada etapa, se calculó la velocidad mediante la regresión por mínimos cuadrados (primera derivada) y se expresó como número (No) 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 (TG50), la emergencia (TE50) o el establecimiento (TEst50).

Finalmente, para cada etapa se calculó la tasa de inducción o inhibición de los tratamientos con respecto al testigo. Con las siguientes fórmulas: $TsInh = (t-E) \times 100$ o $TsInd = (E-t) \times 100 - EE$. Donde: $TsInh$ es la tasa de inhibición; $TsInd$ es la tasa de inducción; t es el valor del porcentaje máximo de germinación, emergencia o establecimiento y E corresponde al porcentaje máximo de germinación, emergencia o establecimiento con los inductores.

Análisis estadístico

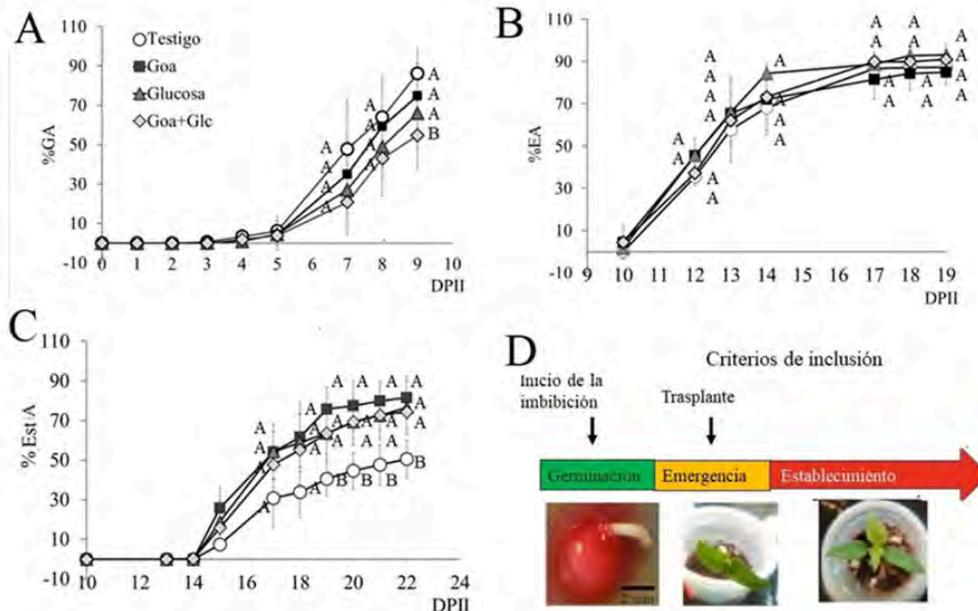
El diseño experimental fue completamente al azar. Lotes de 360 semillas por tratamiento (20 semillas x triplicado x 6 experimentos independientes), los resultados se convirtieron en porcentajes y se determinaron las diferencias significativas por Anova de una vía, comparando las medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo. La regresión se realizó con PROBIT para los tiempos inferidos siguiendo la metodología reportada por Hernández-López *et al.* (2018). Estos análisis se realizaron usando el software 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 germinación, fue la primera etapa analizada (Figura 2A). Ningún tratamiento favoreció la salida de la latencia ($p > 0.05$), en promedio, la primera protrusión ocurrió alrededor los 5 DPH (Cuadro 1). En la Figura 2A se observó que, aunque los porcentajes de GA no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$), sí mostraron la siguiente tendencia: testigo > Go > glucosa > combinación (Go+glucosa); es decir, se observó que todos los tratamientos tienden a retrasar la germinación. A los 9 DPH, sólo la glucosa disminuyó significativamente ($p \leq 0.05$) la GA_{0max} con respecto al testigo.



Figura 2. Respuesta del desarrollo temprano de *C. chinense* Jacq. 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 distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos a (Tukey ≤ 0.05).



Cuadro 1. Parámetros fisiológicos en la germinación de muestras de *C. chinense* (Jacq.) tratadas con testigo, Goa, glucosa y la combinación.

Tratamiento	Latencia (días)	Germinación (0-9 DPII)			
		GAo _{max} (%) [†]	TC ₅₀ ^{††}	Vel ^{†††}	Tsinh (%)
Testigo	5 ± 1.6 ^A	86 ± 12.6 ^A	7.5 ± 1.7 ^A	3.32 ± 0.8 ^A	0
Goa	5 ± 1.2 ^A	74.7 ± 16 ^A	8.77 ± 3 ^A	3.08 ± 0.78 ^A	15.13
Glucosa	5.8 ± 1.36 ^A	65.9 ± 17.4 ^A	11.7 ± 4 ^A	2.61 ± 0.74 ^A	30.5
Goa/Glu	5.6 ± 1.3 ^A	54.7 ± 18 ^B	10 ± 3.3 ^A	2.2 ± 0.72 ^A	57.22

[†] = porcentaje máximo observado de semillas protruidas; ^{††} = día posterior al inicio de la imbibición (DPII) donde el 50% de la población ha cumplido el criterio de exclusión; ^{†††} = velocidad, expresado como número de individuos/día. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos a (Tukey ≤ 0.05).

Adicionalmente, se calculó la tasa de inhibición de los efectores con respecto al testigo. La Goa, tuvo una inhibición de 15.7%, la glucosa, un 30.7% y la combinación Goa+glucosa fue 57.22%, esto último parece evidenciar un efecto aditivo (Cuadro 1).

El efecto inhibitorio de la glucosa, fue observado previamente por Dekkers *et al.* (2004) en semillas de *Arabidopsis thaliana* y Zhu *et al.* (2009) en arroz. Deckers *et al.* (2004), postuló que esta inhibición es independiente de la función de la hexoquinasa (HXK).

Estos autores sugieren que existe una vía reguladora independiente de ABI2/ABI4/ABI5, es decir, hay más de una vía de señalización involucrada en el retraso de la germinación inducida por glucosa, lo que hace pensar que la vía de señalización IP3K-Akt, podría estar involucrada en el retraso observado por la combinación de glucosa y glucocinina lo que explica su efecto aditivo. 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.

Al parecer, un aumento en la concentración de azúcares libres dentro de la semilla, no favorece la germinación, contrario a la idea de que proporciona una fuente de energía rápidamente accesible. Zhu *et al.* (2009) hipotetizaron que el retraso en la germinación es resultado de altas concentraciones de azúcares libres, que promueven 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 faseíco. Lo anterior podría estar relacionado con el efecto aditivo del tratamiento combinado al 9 DP11.

En el caso de la emergencia, ninguno de los tratamientos mostró diferencias significativas en la velocidad de emergencia entre ellos o con respecto al testigo, durante el tiempo analizado (Cuadro 2). Los valores de velocidad fueron 5.4 ± 0.15 plantas día⁻¹ para el testigo, para la Goa 4.6 ± 0.54 , 5.3 ± 0.71 para la glucosa y 5.3 ± 0.4 para la combinación. Es interesante que a pesar de la diferencia en la EA_{max} en el 9 DP11, por la tasa de inhibición durante la germinación, tras el trasplante, el comportamiento de la EA, el TE50 y la velocidad de emergencia de todos los factores se uniformó con respecto al testigo, desde el día 9 hasta el 19 DP11 (Figura 2B).

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

Tratamiento	Emergencia (9 -15 DP11)			
	EA _{max} (%) [†]	TE ₅₀ ^{††}	Vel ^{†††}	TsInd
Testigo	90 ± 8.2 ^A	13.5 ± 0.4 ^A	5.4 ± 0.15 ^A	0
Goa	87 ± 0.9 ^A	13 ± 1 ^A	4.6 ± 0.54 ^A	0
Glucosa	93 ± 5 ^A	12.7 ± 0.3 ^A	5.3 ± 0.71 ^A	0
Goa/Glu	91.6 ± 6 ^A	13.2 ± 1 ^A	5.3 ± 0.4 ^A	0

† = porcentaje máximo observado de plántulas emergidas; †† = día posterior al inicio de la imbibición (DP11) donde el 50% de la población ha cumplido el criterio de exclusión; ††† = velocidad, expresado como número de individuos/día.

Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos a (Tukey ≤ 0.05).

El EA_{max} tampoco mostró diferencias significativas entre los tratamientos, aunque alcanzó el 91 ± 2.5 % en las muestras tratadas con Glucosa y 93 ± 5% con la combinación Goa+glucosa. Mientras que el testigo y el tratamiento con Goa mostraron también valores similares para el porcentaje de EA_{max} de 87.2 ± 2.5 y 85 ± 5.8%, respectivamente. 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 emergencia.

El comportamiento diferencial de la respuesta al tratamiento de la Goa y Goa+glucosa en la germinación y emergencia se puede deber a que mientras la sobre-regulación hormonal de ABA desaparece al trasplantar las semillas, lo que desencadena que se lleven a cabo en el embrión los efectos compensatorios ya ampliamente reportados, entre ellos: aumento de la proliferación celular en los meristemos (Garrocho-Villegas *et al.*, 2013), incremento en la síntesis *de novo* de proteínas y ribosomas (Avila-Alejandre *et al.*, 2013; Villa-Hernández *et al.*, 2013).

Durante el establecimiento (Figura 2C), se observó que todos los tratamientos (Goa, glucosa o la combinación), aumentaron 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 DP11.

La tasa de inducción del establecimiento de los diferentes tratamientos con respecto al testigo fue: para Goa 60.78%, para la glucosa 50.98% y para la combinación Goa+glucosa 45.1% (Cuadro 3). Todos los tratamientos incrementaron significativamente el EstAo_{max} con respecto del testigo al 22 DP11 (Figura 2C). Para el testigo fue 51 ± 10% mientras que para la Goa fue 82.1 ± 11% y para para glucosa y la combinación, 77 ± 14% y 74 ± 9% respectivamente.

Cuadro 3. Parámetros fisiológicos en el establecimiento de muestras de *C. chinense* (Jacq.) tratadas con testigo, Goa, glucosa y la combinación.

Tratamiento	Establecimiento (15-22 DPIL)			
	EstA _{max} (%) [†]	TEst ₅₀ ^{††}	Vel ^{†††}	TsInd (%)
Testigo	51 ±10 ^B	21 ±2.7 ^B	0.68 ±0.3 ^B	0
Goa	82 ±11 ^A	17.6 ±0.7 ^A	2.7 ±0.76 ^A	60.78
Glucosa	77 ±14 ^A	18.06 ±1 ^A	1.6 ±0.43 ^A	50.98
Goa/Glu	74 ±9 ^A	18.3 ±0.2 ^A	1.6 ±0.44 ^A	45.1

[†] = porcentaje máximo observado de plántulas establecidas al día final de cada etapa; ^{††} = día posterior al inicio de la imbibición (DPIL) donde el 50% de la población ha cumplido el criterio de exclusión; ^{†††} = velocidad, expresado como número de individuos/día. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos a (Tukey ≤ 0.05).

En cuanto al Test50, éste fue significativamente menor ($p \leq 0.05$) en todos los tratamientos, en el testigo fue a los 21.8 ±2.7 DPIL, mientras que para la Goa fue de 17.6 ±0.7 DPIL y para la glucosa y la combinación fue de 18.06 ±1 y 18.3 ±0.2 DPIL, respectivamente. Todos los tratamientos incrementaron la velocidad de establecimiento, con respecto al testigo para el testigo (Cuadro 3), en particular, la Goa alcanzó 2.77 ±0.76 plantas día⁻¹, mientras que la glucosa y la combinación mostraron valores muy similares.

Finalmente, se evaluó el efecto de los tratamientos sobre el fenotipo de las plántulas (Cuadro 4). La Goa incrementó significativamente ($p \leq 0.05$) la longitud de la raíz principal y el número de raíces laterales en comparación con el testigo y los otros tratamientos. Todos los tratamientos incrementaron la longitud del hipocótilo con respecto al testigo, aunque sin diferencia entre ellos.

Cuadro 4. Efecto de la Goa sobre el desarrollo del fenotipo de las plántulas de *C. chinense* (Jacq.) al 22 DPIL.

Tratamiento	Núm. de raíces laterales [†]	Longitud de la raíz (mm) [†]	Longitud del hipocótilo (mm) [†]
Testigo	2.17 ±0.78 ^C	37.2 ±4.8 ^B	8.74 ±1.5 ^B
GoA	4.11 ±1.11 ^A	51 ±8.1 ^A	10.9 ±1.17 ^A
Glucosa	2.89 ±1.74 ^{AB}	40.6 ±11.8 ^B	11.0 ±1.31 ^A
Goa+Glucosa	3.22 ±1.78 ^{BC}	41.7 ±13.9 ^{AB}	10.2 ±1.35 ^A

[†] = los datos mostrados corresponden al día final de la evaluación. Se muestra la media y la DS de seis experimentos independientes; n = 360 plántulas/tratamiento. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos a (Tukey ≤ 0.05).

Los resultados sugieren que, la aplicación de todos los inductores favoreció el desarrollo de las plántulas de *C. chinense* (Figura 2), aunque lo hicieron de manera diferencial ya que mientras la Goa favoreció particularmente, el crecimiento del sistema radicular, los tratamientos de glucosa o la combinación, favorecen el crecimiento del hipocótilo con respecto al testigo (Cuadro 4).

El efecto particular de la Goa sobre el sistema radicular de *C. chinense* (Jacq.), fue similar al reportado previamente en maíz (Avila-Alejandre *et al.*, 2013) y *Arabidopsis thaliana*, donde los autores reportaron, un incremento en el número de pelos radiculares, raíces laterales y 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* (Jacq.) es inducido por los mecanismos de transducción de señales y expresión génica (Pascual-Morales *et al.*, 2012).

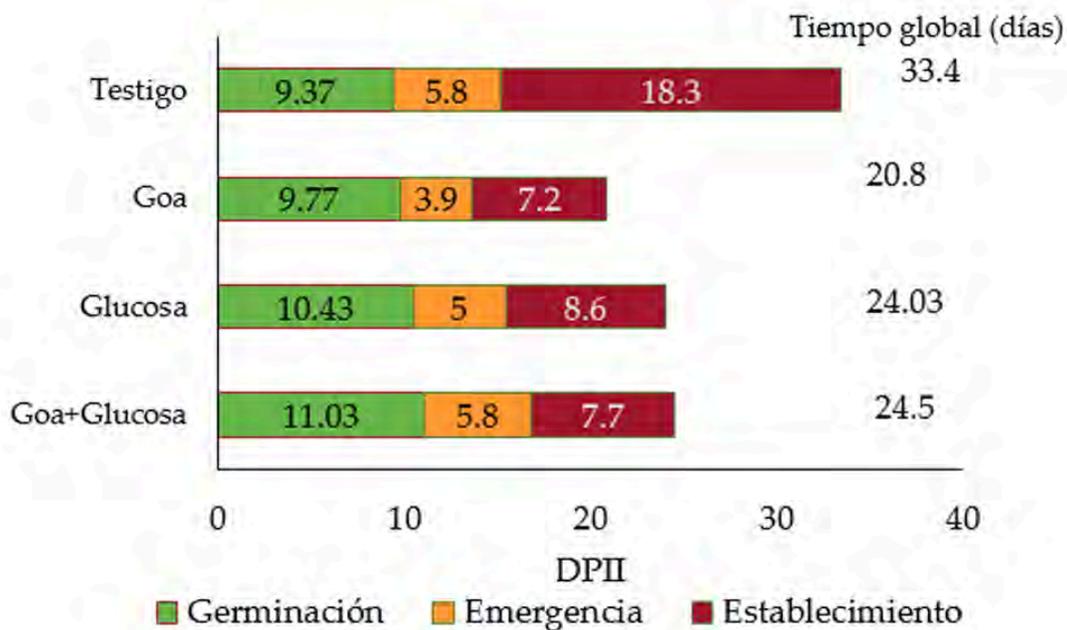
Por otro lado, el efecto sobre el retraso de la germinación y la longitud del hipocótilo, podrían estar modulados por los azúcares reductores libres, tal como ocurre durante las primeras etapas posterior a la movilización de las reservas del escutelo, así como el retraso observado por los autores tras la administración de glucosa exógena. 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).

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, 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, la activación de los meristemas, la ramificación y la floración de los brotes de *Arabidopsis* (Wang *et al.*, 2021).

Finalmente, se compararon los tiempos globales de los tratamientos durante el desarrollo temprano de *C. chinense* (Jacq.) (Figura 3), definidos como el tiempo estimado al que el 90% de las plántulas alcanzan el criterio de inclusión en la etapa correspondiente, el cual fue inferido mediante el método PROBIT. Todos los tratamientos aumentaron el tiempo necesario para alcanzar el 90% de germinación.

Figura 3. Efecto de los inductores sobre el tiempo global de establecimiento de *C. chinense* (Jacq.) 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.



El efecto más importante de los inductores fue, sobre el TEst90i, todos los tratamientos redujeron significativamente el tiempo global al cual se alcanzó 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 las cámaras de germinación, la glucosa, nueve 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 ambos tratamientos.

La reducción del tiempo de establecimiento y el efecto en el desarrollo del sistema radicular obtenidos por la aplicación de la Goa, son resultados que muestran su probable uso como bioestimulante y podrían ser muy apreciados en AP (Magdaleno-Hernández *et al.*, 2016) como una alternativa que optimiza el espacio dentro de los módulos de producción y podría reducir el tiempo de permanencia de las plántulas sin necesidad de mejoramiento genético (Hernández-López *et al.*, 2018) o fertilización química y podría acelerar la producción reduciendo los costos.

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 (Sánchez-Linares *et al.*, 2012; Garrocho-Villegas *et al.*, 2013; Díaz-Granados *et al.*, 2020; Meng *et al.*, 2022).

Conclusiones

Los resultados indican que la administración de glucosa exógena retrasa la germinación, pero ni la glucosa ni su combinación afectan el fenotipo de las plántulas en la fase de emergencia. A pesar del retraso en la germinación, los tratamientos superaron al testigo, lo que sugiere la ocurrencia de eventos fisiológicos y moleculares conocidos en otros modelos. En el chile habanero, la aplicación de Goa uniformiza la emergencia y reduce el tiempo de establecimiento de las plántulas en comparación con el testigo.

El tratamiento con Goa aumentó el crecimiento de las raíces, mientras que la glucosa el del hipocótilo, se propone que la aplicación de Goa o glucosa puede ser útil para optimizar el tiempo de cultivo del chile habanero en agricultura protegida (AP) aunque el efecto es distinto. A pesar de que este estudio no incluyó evidencias moleculares, no se descarta que el mecanismo sea el ya reportado por otros autores para estos procesos, que podrían ser investigados en estudios futuros.

Agradecimientos

El presente trabajo no contó con financiamiento de agencias públicas. Los experimentos forman parte de la tesis de doctorado de Alejandro Hernández-López y se realizaron en las instalaciones de la UNPA y LABIOTT.

Bibliografía

- 1 Ávila-Alejandre, A.; Espejel, C. F.; Paz-Lemus, E.; Cortés-Barberena, E.; Díaz-León, S. F.; Dinkova, T. D.; Sánchez-Jiménez, E. and Pérez-Flores, L. J. 2013. Effect of insulin on the cell cycle of germinating maize seeds (*Zea mays* L.). England. Seed Science Research. 23(1):3-14. [10.1017/S0960258512000281](https://doi.org/10.1017/S0960258512000281).
- 2 Azevedo, C. R.; Maciel, F. M.; Silva, L. B.; Ferreira, A. T. S.; Cunha, da M. and Machado, O. L. T. 2006. Isolation and intracellular localization of insulin-like proteins from leaves of *Bauhinia variegata*. Brazil. Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 39(11):1435-1444. [https://10.1590/s0100-879x2006001100007](https://doi.org/10.1590/s0100-879x2006001100007).
- 3 Bissoli, G.; Bono, M.; Martínez-Almonacid, I.; Moreno-Peris, E.; Renard, J.; Espinosa, A.; Naranjo, M. A.; Yenush, L.; Serrano, R.; Rodríguez-Burruezo, A. and Bueso, E. 2022. Seed coat lignification level is crucial in *Capsicum* spp. seed longevity. USA. Physiology Plant. 174(1):e13600-13609. [https://10.1111/ppl.13600](https://doi.org/10.1111/ppl.13600).
- 4 Badji, A.; Benseddik, A.; Bensaha, H.; Boukhelifa, A. and Hasrane, I. 2022. Design; technology; and management of greenhouse: a review. Journal of Cleaner Production. 37(1):133753-133779. [10.1016/j.jclepro.2022.133753](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133753).
- 5 Dekkers, B. J. W.; Schuurmans, J. A. M. J. and Smeekens, S. C. M. 2004. Glucose delays seed germination in *Arabidopsis thaliana*. Planta. 218(4):579-588. [10.1007/s00425-003-1154-9](https://doi.org/10.1007/s00425-003-1154-9).

- 6 Díaz-Granados, V. H.; López-López, J. M.; Flores-Sánchez, J.; Olguín-Alor, R.; Bedoya-López, A.; Dinkova, T. D.; Salazar-Díaz, K.; Vázquez-Santana, S.; Vázquez-Ramos, J. M. and 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. [10.1016/j.plaphy.2020.07.041](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.041).
- 7 Eyster, W. H. and Ellis, M. M. 1924. Growth of maize seedlings as affected by glucokinase and insulin. *Journal of General Physiology*. 6(1):653-670. [10.1085/jgp.6.6.653](https://doi.org/10.1085/jgp.6.6.653).
- 8 García-García, A. L.; García-Machado, F. J.; Borges, A. A.; Morales-Sierra, S.; Boto, C. A. and Jiménez-Arias, D. 2020. Pure organic active compounds against abiotic stress: a biostimulant overview. *Frontiers in Plant Science*. 11(1):575829-575846. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.575829>.
- 9 Garruña-Hernández, R.; Tournier-Moreno, L.; Ayala-Garay, O.; Santamaría, J. M. and Pinzón-López, L. 2014. Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia*. 48(4):413-423 <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v48n4/v48n4a6.pdf>.
- 10 Garrocho-Villegas, V.; Aguilar, C. R. and Sánchez-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. [10.1021/bi401474x](https://doi.org/10.1021/bi401474x)
- 11 Goodman, D. B. P. and Davis, W. L. 1993. Insulin accelerates the postgerminative development of several fat storing seeds. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 190(1):440-446. [10.1006/bbrc.1993.1067](https://doi.org/10.1006/bbrc.1993.1067).
- 12 Hernández-López, A. 2024. Efecto de la Goa sobre la germinación, emergencia y establecimiento en *Capsicum chinense* (Jacq.). Tesis Doctoral. Universidad del Papaloapan. Tuxtepec. México. 110-112 pp.
- 13 Hernández-López, A.; Beltrán-Peña, E. G.; Amancio-Oliveira, A. E.; Nuñez-Gaona, O. and Avila-Alejandre, A. X. 2018. Preacondicionamiento del agua en la germinación y emergencia de *Capsicum chinense* (Jacq.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(8):1703-1714. [10.29312/remexca.v9i8.1030](https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1030).
- 14 Laguna-Hernández, G.; Rio-Zamorano, C. A.; Meneses-Ochoa, I. G. and Brechú-Franco, A. E. 2017. Histochemistry and immunolocalisation of glucokinase in antidiabetic plants used in traditional Mexican medicine. *European Journal of Histochemistry*. 61(2):125-134. [http://10.4081/ejh.2017.2782](https://doi.org/10.4081/ejh.2017.2782).
- 15 Magdaleno-Hernández, E.; Mejía-Contreras, A.; Martínez-Saldaña, T.; Jiménez-Velázquez, M. A.; Sánchez-Escudero, J. and García-Cué, J. L. 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>.
- 16 Meng, Y.; Zhang, N.; Li, J.; Shen, X.; Sheen, J. and 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. [10.1093/jxb/erac282](https://doi.org/10.1093/jxb/erac282).
- 17 Oliveira, E. A.; Ribeiro, E. S.; Cunha, da M.; Gomes, V. M.; Fernández, K. V. S.; Xavier-Filho, J. 2004. Insulin accelerates seedling growth of *Canavalia ensiformis* (Jacq. bean). *Plant Growth Regulation*. 43(1):57-62.
- 18 Pascual-Morales, E.; Arteaga-Tinoco, I.; García-Pineda, E.; Mellado-Rojas, M. E. y Beltrán-Peña, E. 2012. La insulina promueve el crecimiento de los pelos radiculares de *Arabidopsis thaliana*. *Biológicas*. 14(1):1-6.
- 19 Sánchez-Jiménez, E.; Beltrán-Peña, E. and Ortiz-López, A. 1999. Insulin stimulated ribosomal protein synthesis in maize embryonic axes during germination. *Physiologia Plantarum*. 105(2):148-154.

- 20 Sánchez-Linares, L.; Gavilanes-Ruíz, M.; Díaz-Pontones, D. M.; Guzmán-Chavez, F.; Calzada-Alejo, V.; Zurita-Villegas, V.; Luna-Loaiza, V.; Moreno-Sánchez, R.; Bernal-Lugo, I. and Sánchez-Nieto, S. 2012. Early carbon mobilization and radicle protrusion in maize germination. *Journal of Experimental Botany*. 63(12):4513-4526. <https://doi.10.1093/jxb/ers130>.
- 21 SIAP 2022. Márgenes de comercialización de chile habanero junio de 2022. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/736751/06-Chile-Habanero-may-2022.pdf>. 1-2 pp.
- 22 Siddiqui, H.; Sami, F. and Hayat, S. 2020. Glucose: Sweet or bitter effects in plants-a review on current and future perspective. *Carbohydrate Research*. 487(1):107884-107901. 10.1016/j.carres.2019.107884.
- 23 Villa-Hernández, J. M.; Dinkova, T. D.; Aguilar-Caballero, R.; Rivera-Cabrera, F.; Sánchez de Jiménez, E. and Pérez-Flores, L. J. 2013. Regulation of ribosome biogenesis in maize embryonic axes during germination. *Biochimie*. 95(10):1871-1879. 10.1016/j.biochi.2013.06.011.
- 24 Wang, M.; Gourrierc, J.; Jiao, F.; Demotes-Mainard, S.; Perez-García, M. D.; Ogé, L.; Hamama, L.; Crespel, L.; Bertheloot, J. and Chen, J. 2021. Convergence and divergence of sugar and cytokinin signaling in plant development. *international journal of molecular sciences*. 22(3):282-1303. 10.3390/ijms22031282.
- 25 Zhu, G.; Ye, N. and 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. *Plant and Cell Physiology* 50(3):644-651. 10.1093/pcp/pcp022.



Las glucocininas favorecen el desarrollo temprano de *Capsicum chinense* (Jacq.)

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2025
Date accepted: 01 April 2025
Publication date: 06 July 2025
Publication date: May-Jun 2025
Volume: 16
Issue: 4
Electronic Location Identifier: e3712
DOI: 10.29312/remexca.v16i4.3712

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

acondicionamiento
agricultura protegida
precocidad
semillas

Counts

Figures: 3

Tables: 4

Equations: 0

References: 25

Pages: 0