

Phenological effect on *Capsicum annum* (chile) and *Solanum lycopersicum* (tomato) plants by the application of chitosan nanoparticles

Efecto fenológico en plantas de *Capsicum annum* (chile) y *Solanum lycopersicum* (jitomate) por la aplicación de nanopartículas de quitosano

Eva Mariela Lunar-Mata¹, Alondra Esmeralda Ramírez-Hernandez¹, Itzel Yuritzí González-Gaviña¹, Guillermo Sebastián Martínez-Morales¹, Jesús Rubén Rodríguez Núñez², Laura Mejía Teniente^{1*}

¹Programa de Ingeniería en Biotecnología, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Campus Celaya-Salvatierra, Universidad de Guanajuato, Av. Mutualismo Esq. Prolongación Río Lerma S/N, Celaya, Gto. C.P. 38060, Mexico

laura.mejia@ugto.mx ^{1*}

Resumen

El chile y el jitomate son parte de la familia de las solanáceas; dicha familia comprende aproximadamente 98 géneros y entre 2000 a 3000 especies. Las especies pertenecientes a esta familia son de gran interés debido a su importancia alimentaria y económica. Mundialmente, México es el principal productor de chile verde y el 10° productor de jitomate. No obstante, debido al cambio climático las plantas se ven afectadas en su crecimiento y desarrollo fenológico, lo cual tiene un impacto consecuente en la producción final de estos cultivos. Por lo cual, en la presente investigación se evaluó el efecto de nanopartículas de quitosano (NP-Q) como elicitador sobre plantas de chile y jitomate. El experimento se realizó mediante un diseño completamente al azar, el cual consistió en la aplicación foliar de tres tratamientos de NP-Q 0.0009%, 0.001%, 0.002% y agua como control. Tanto en plantas de chile como de jitomate, la concentración 0.001% de NP-Q tuvo una media de 36 hojas, mientras que no existió diferencia significativa para la altura de la planta con la concentración 0.0009%, en cuanto al diámetro de tallo, se observó que la concentración 0.002% destacaba con una media de 4.3 mm. El mejor efecto se ve reflejado en la aparición de nuevas hojas cuya promoción se debió a la concentración 0.001%, por lo que se puede inferir que contribuye a la capacidad de la planta de asimilar a mayor medida los fotosintatos para su óptimo desarrollo.

Palabras clave: Elicitador, nanopartículas, quitosano, desarrollo fenológico, solanáceas.

Introducción

Existen aproximadamente 96 géneros pertenecientes a la familia de Solanaceae mismos que se dividen en al menos 2 297 especies (D'Arcy, 1991). Dentro de las especies domesticadas y comercializadas están las de importancia alimentaria y económica como el chile (*Capsicum* spp), el jitomate (*Solanum* spp), la papa (*Solanum tuberosum*) e incluso tabaco (*Nicotiana tabacum*) y toloache (*Datura innoxia* Mill) que pueden considerarse nocivas. Sin embargo, tras su domesticación se ha encontrado que muchas especies no solo son una fuente de alimento, sino también representan una fuente farmacológica potencial dadas sus propiedades y altas cantidades de alcaloides.

El género *Capsicum* comprende alrededor de 25 especies que alcanzan una altura entre 0.60 m hasta 1.50 m si factores de clima, suelo y forma de cultivo son adecuados. En cada uno de sus tallos, las flores aparecen independientes y varían entre especies (Montes, 2010). Las investigaciones y aplicaciones del pimiento han incrementado debido al alto contenido de vitaminas A y C, así como de capsaicina carotenos y ésteres (Nuez *et al.*, 1996). En cuanto al género *Solanum*, resulta paradójico, pues es uno de los diez géneros más ricos en angiospermas con aproximadamente 1 234 especies (*Solanaceae* Source, 2019), pueden llegar a medir hasta 1.20 m e incluye hierbas perennes, anuales y epífitas; las flores varían siendo pentámeras, gamosépalas o gamopétalas con corolas estrelladas, rotadas o pentagonales (Murillo y *col.*, 2021). Específicamente *Solanum lycopersicum* es una hortaliza de las de mayor importancia y producción hortícola en el mundo. Caracterizado por su alto contenido en vitaminas, carotenoides, polifenoles, carbohidratos y algunos minerales; se le confiere un gran valor nutricional además de antioxidante.

De los factores bióticos que limitan la producción tanto de *Solanum lycopersicum* y *Capsicum annum* se encuentran más de 200 enfermedades asociadas a Solanaceae, las cuales son causadas por agentes fitopatógenos como insectos, hongos y bacterias principalmente, trayendo consigo pérdidas significativas para los productores agrícolas (Martínez -Ruiz, 2016) por lo que es necesario implementar estrategias de control de patógenos, donde el uso de mecanismos de defensa como la expresión y regulación de resistencia se relacionen con una resistencia sistémica adquirida (SAR) y una resistencia sistémica inducida (ISR) (Teniente, 2018) pues si bien, con ello podrían mostrarse efectos sistémicos significativos de mejoramiento y una expresión fenotípica que inducirá una mejor resistencia en ambas especies.

Dicho lo anterior, los cambios metabólicos y la expresión diferencial de genes tras la resistencia inducida es una forma de defensa activa y ocurren como consecuencia de un proceso de reconocimiento específico entre la planta y el agente patógeno (Madriz-Ordeñana, 2002). En otras palabras, como un mecanismo que actúa en respuesta a un estímulo biótico, en este caso el agente fitopatógeno. Una forma de lograr inducir resistencia sistémica es mediante elicitores, que son agentes o moléculas que causan modificaciones (o efectos) en un organismo induciendo así dicha respuesta de protección en plantas expuestas a cualquier tipo de estrés; tras su aplicación. Cuando la aplicación es llevada a cabo a nivel foliar sobre la superficie de la planta activa múltiples vías de señalización de defensa intracelular llegando a desarrollar resistencia en el hospedero (Teniente, 2018).

Por otro lado, diversas investigaciones presentan a la nanotecnología como una alternativa viable en la agricultura para incrementar el rendimiento del cultivo de forma sustentable y de mínimo impacto ambiental, a través de la generación de nanoproducidos como fertilizantes, herbicidas, sensores, estimulantes, entre otros (Lira et al., 2018). Dentro de la investigación de nanomateriales, las nanopartículas de quitosán (NPs-Q) resultan de gran interés debido a las propiedades químico-biológicas derivadas del quitosano como agente antimicrobiano, antiviral, regenerador de tejidos, así como bioestimulante. Además de caracterizarse por no presentar toxicidad, ser biodegradable y presentar alta biocompatibilidad biológica (Divya et al., 2019). Así mismo, se ha demostrado que, en la agricultura, el quitosano puede ser usado como bioestimulante o elicitador, al poseer propiedades promotoras para el crecimiento y su regulación, así como para germinación, la nutrición de cultivos e incremento en el rendimiento reportados los efectos benéficos para aumentar la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Pichyangkura y Chadchawan, 2015).

Con base en el contexto anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar y comparar el efecto de la aplicación foliar de NPs-Q sobre el desarrollo fenológico de los sistemas biológicos *Capsicum annum* y *Solanum lycopersicum*.

Materiales y Métodos

El presente estudio se realizó en la Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra, Sede Mutualismo, durante los meses de junio y julio de 2023.

Obtención de plántulas, condiciones de trasplante y fertilización

La plántulas de *Solanum lycopersicum* y *Capsicum annum* fueron donadas por Invernaderos Casa Verde, ubicados en el Municipio Cortazar del Estado de Guanajuato México. Las plántulas con edad fenológica de 8-10 hojas verdaderas, fueron trasplantadas a macetas con una capacidad máxima de 3.5 L. Para el trasplante se dispuso un volumen de 2L de la capacidad de cada maceta.

El sustrato empleado para el trasplante de *S. lycopersicum* y *C. annum* fue Peat Moss (turba de musgo Sphagnum) adicionada con perlita. Posterior al trasplante se aplicó urea como fuente de nitrógeno en una única aplicación, en ambos sistemas biológicos, a una concentración de [50g/L]. Posteriormente, se realizó una fertilización semanal con el fertilizante NPK 20-20-20 de la marca PETERS a una concentración de [260 ppm] en solución acuosa.

Aplicación de los tratamientos con NP-Q

Para la determinación de las concentraciones, se utilizó como referencia lo empleado por Chandra et al. (2015). En este sentido, se prepararon tres soluciones de nanopartículas de quitosano a diferentes concentraciones al 0.0009%, 0.001% y 0.02% en 100mL de agua destilada cada una. Para ello, se pesaron; 0.0009g, 0.001g y 0.02g de quitosano (sólido) en balanza digital y se aforó a 100mL con agua destilada. Cabe mencionar que las nanopartículas de quitosano fueron donadas por el Dr. Jesús Rubén Rodríguez Núñez, quien también participa en este proyecto. La aplicación de las soluciones de NP-Q se realizó de manera foliar a con el empleo de atomizadores, para ello, se infirió un volumen promedio de 1mL por

cada aspersión, realizando un total de 4 aspersiones sobre el grupo de plantas (4mL) por aplicación de tratamiento hasta quedar a punto de rocío. La aplicación de los tratamientos se realizó semanalmente.

Diseño experimental y análisis de datos

Para ambos sistemas biológicos, plantas de jitomate y de chile, se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, el cual consistió en tres tratamientos y un control (Tabla 1). Las unidades experimentales consistieron en 4 plantas para jitomate con tres repeticiones para evaluar un total de 48 plantas. En cuanto a las unidades experimentales para plantas de chile, se consideraron 5 unidades por tratamiento y 5 repeticiones, para evaluar un total de 100 plantas. La diferencia entre unidades experimentales y repeticiones de los sistemas biológicos evaluados se debió a la disponibilidad de plantas. El análisis de datos como las mediciones de altura, número de hojas y diámetro de tallo de los respectivos tratamientos se realizó con el paquete XLSTAT de MICROSOFT EXCEL®, donde también se realizó un análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 1. Cantidad y concentración de soluciones de nanopartículas de quitosano y las repeticiones de acuerdo con cada tratamiento.

Tratamientos	Concentración % m/v
Blanco	Agua destilada
T1	0.0009%
T2	0.001%
T3	0.02%

Resultados

A continuación, se presentan los resultados comparativos de las variables de respuesta evaluadas para jitomate (Tabla 2) y chile (Tabla 3). En donde puede ser observado que la concentración 0.001% de NP-Q resultó tener mayor efectividad para la formación de nuevos brotes foliares, lo cual es adecuado para aumentar la tasa fotosintética y con ello aumentar el rendimiento final de fruto por planta.

Tabla 2. Comparativa del efecto fenológico en *Solanum lycopersicum* por aplicación de nanopartículas de quitosano a distintas concentraciones, mediante aspersión vía foliar.

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Número de hojas
Blanco	23.25 ± 1.37 ^a	4.08 ± 0.14 ^a	29.91 ± 1.90 ^b
T3 (0.002%)	24.16 ± 1.41 ^a	3.83 ± 0.16 ^a	30.66 ± 2.09 ^b
T2 (0.001%)	25.04 ± 1.51 ^a	4.33 ± 0.30 ^a	36.16 ± 1.67 ^a
T1 (0.0009%)	27.41 ± 1.72 ^a	4 ± 0.17 ^a	28.25 ± 1.85 ^b

Observando los resultados presentados en la Tabla 2, analizamos que; en cuestión de la aparición de nuevas hojas solo uno de los tres tratamientos (T2, 0.001%) resultó con diferencias significativas, por lo cual es estadísticamente mejor; por esta razón se rechaza la hipótesis nula respecto a la regla de decisión y se opta por la hipótesis alternativa. Los tratamientos restantes (T1, 0.0009%), (T3, 0.002%) y el blanco resultaron estadísticamente iguales y no presentaron diferencias significativas. Para argumentar lo anterior presentado, se realizó un análisis de varianza ANOVA, en donde la F calculada (3.3012) fue mayor a la F de tablas (valores F de la distribución F de Fisher) con un nivel de significancia $\alpha=0.05$ (2.839) pero menor a una F de tablas con un nivel de significancia $\alpha=0.01$ (4.313)

Ahora bien, para poder expresar que el mejor efecto lo produjo el T2: 0.001% se dispuso a hacer una comparación de medias en donde el único valor por encima de la w calculada en base al estadístico del rango estandarizado de Tukey $\alpha=0.05$, fue el aportado por el T2.

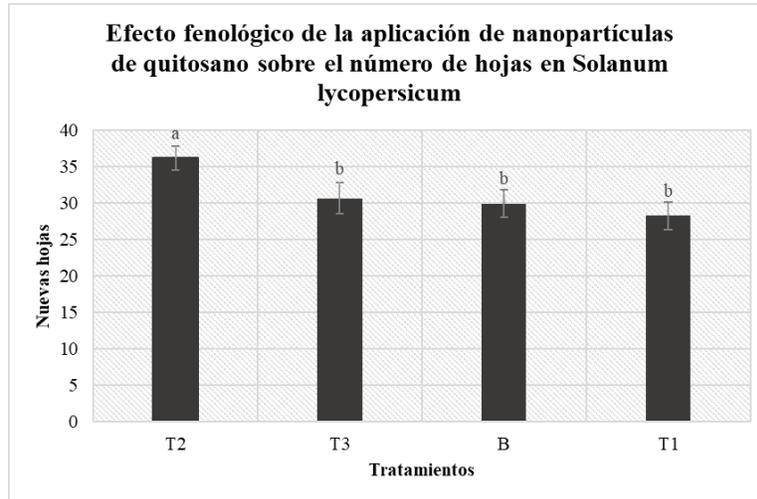


Figura 1. Histograma del efecto de las nanopartículas de quitosano y su efecto en la cantidad de número de hojas.

En lo que respecta a la elongación en cuestión de altura se acepta la hipótesis nula; ya que T1 (0.0009%), T2 (0.001%) y T3 (0.002%) son estadísticamente iguales, por lo tanto, ninguno de los tratamientos representó significancia estadística. Es importante mencionar que no solo no se presentaron diferencias entre tratamientos sino también en contraposición con el blanco.

Esto debido a que la F calculada (1.393) es menor que ambas F de tablas ($\alpha=0.05$, 2.839; $\alpha=0.01$, 4.313) y por lo tanto al realizar la comparación de medias ningún valor puntuaba arriba de la w calculada (5.7438) en base al estadístico del rango estandarizado de Tukey $\alpha=0.05$.

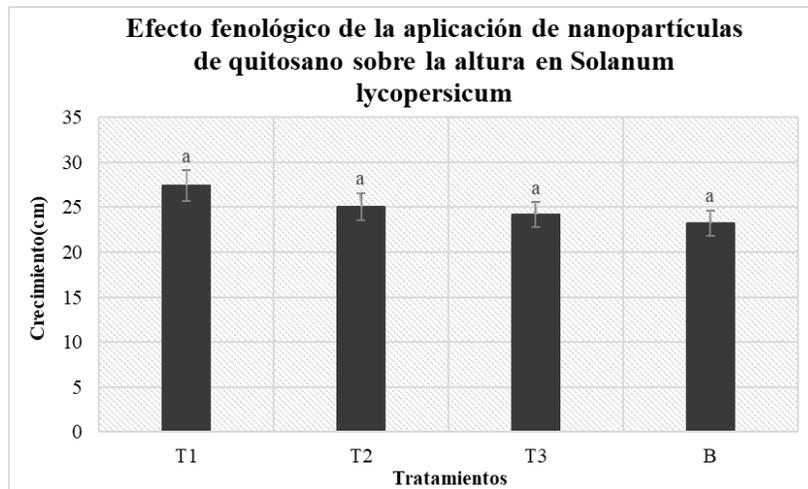


Figura 2. Histograma del efecto de las nanopartículas de quitosano y su efecto en la altura.

Con los datos recopilados y aplicando el diseño experimental inferimos que se acepta la hipótesis nula en el diámetro del tallo ya que los tratamientos (T1, T2, T3) y el blanco son estadísticamente iguales, por lo tanto, ninguno de los tratamientos presentó diferencias significativas al igual que el blanco.

Debido a que la F calculada (0.9856) es menor a las F de tablas ($\alpha=0.05$, 2.839; $\alpha=0.01$, 4.313), por lo tanto, al realizar la comparación de medias ningún valor puntuaba arriba de la w calculada (0.7955) en base al estadístico del rango estandarizado de Tukey $\alpha=0.05$.

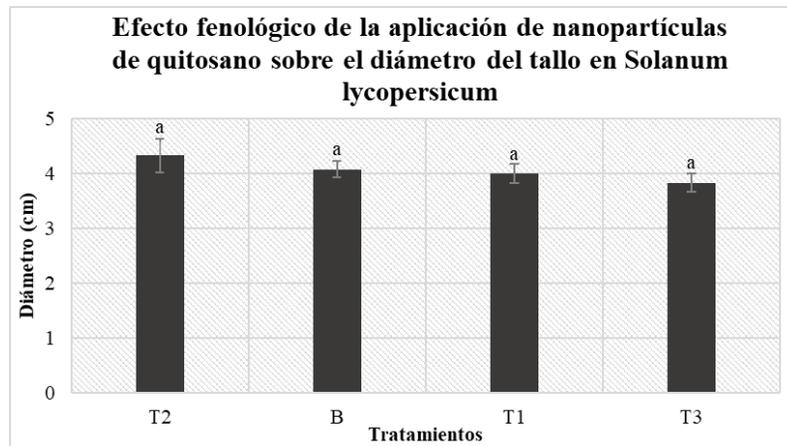


Figura 3. Histograma del efecto de las nanopartículas de quitosano y su efecto en el diámetro del tallo.

En cuanto a los resultados comparativos de las variables de respuesta evaluadas en plantas de chile (Tabla 3), se puede observar que la altura, el diámetro de tallo y número de hojas, no presentaron diferencia significativa respecto al control. No obstante, aun tratándose de la misma familia de solanáceas chile y jitomate, la respuesta metabólica que influye en la parte fenológica es totalmente cambiante. En sí, el no haber presentado diferencia significativa, no implica que no se hayan generado cambios mínimos que pudieran tener impacto en el fruto final. Por lo que es necesario realizar las evaluaciones bioquímicas que quedan como perspectiva en el presente proyecto.

Tabla 3. Comparativa del efecto fenológico en *Capsicum annum* por aplicación de nanopartículas de quitosano a distintas concentraciones, mediante aspersión vía foliar.

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Número de hojas
Blanco	24.63± 5.16 ^a	3.194±0.485 ^a	17.65±5.98 ^a
T3 (0.02%)	22.83±5.40 ^a	3.043±0.548 ^a	16.70±6.60 ^a
T2 (0.001%)	23.35±5.65 ^a	3.14±0.472 ^a	16.83±5.58 ^a
T1 (0.0009%)	23.98±4.74 ^a	3.15±0.412 ^a	16.95±5.89 ^a

En chile, se planteó para una hipótesis nula (H0), que no hay diferencia significativa entre tratamientos (son iguales), y para una alternativa (Ha) que al menos un tratamiento presenta diferencias significativas. Dados los resultados obtenidos se analizó que estadísticamente ningún tratamiento parece presentar diferencias significativas al blanco, sin embargo en el campo se observó que referente al desarrollo del diámetro de tallo, T1 (0.0009%) resultó con diferencias significativas comparado con el resto de los tratamientos y en diámetro de tallo, T2 con quitosano al 0.001% parece favorable en el crecimiento de planta y aparición de hojas, pero no lo suficientemente significativo para la prueba estadística, de manera que se optó por aceptar la H0 y rechazar la Ha. Fundamentando lo anterior, se desarrolló el análisis de varianza ANOVA, a fin de corroborar los análisis obtenidos, para cada determinación fenológica donde se obtuvo lo indicado en la Tabla 4.

Tabla 4. Comparación de datos para una F calculada a la F de tablas (valores F de la distribución F de Fisher) con un nivel de significancia $\alpha=0.05$ (3.239) obtenidos por varianza ANOVA, del efecto fenológico en *Capsicum annum* por aplicación de nanopartículas de quitosano a distintas concentraciones, mediante aspersión vía foliar.

Tratamientos	F calculada	F de Fisher ($\alpha=0.05$)	Inferencia
Diámetro de tallo	0.372306	3.239	0.372306 < 3.239 <i>Se acepta H₀</i>
Crecimiento de hoja	0.270175	3.239	0.270175 < 3.239 <i>Se acepta H₀</i>
Altura	0.434674	3.239	0.434674 < 3.239 <i>Se acepta H₀</i>

En efecto se obtuvo para cada una de las F calculadas un valor menos que comparada con los valores F de la distribución F de Fisher, significancia $\alpha=0.05$, resultó indicar que ningún tratamiento presentan aún diferencias estadísticamente significativas, y que los tratamientos son iguales, hasta ahora, nuevamente conduciendo a aceptar la H₀ planteada.

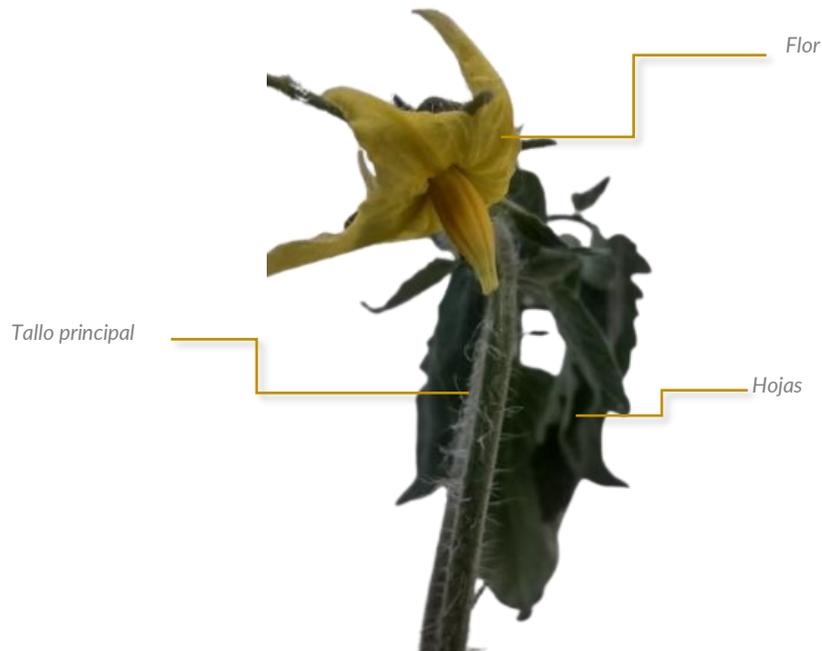


Figura 4. Flor *Solanum lycopersicum* bajo aplicación de nanopartículas de quitosano.

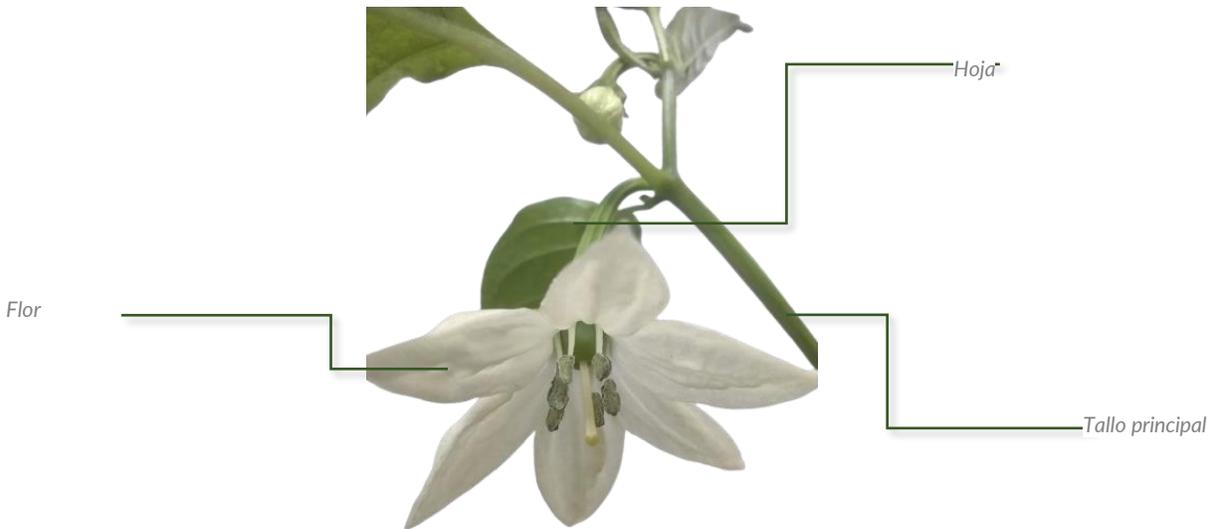


Figura 5. Flor *Capsicum annum* bajo aplicación de nanopartículas de quitosano.

Conclusiones

Al finalizar esta investigación, se ha concluido que, en la comparación de ambos sistemas biológicos, la solanácea *S. lycopersicum* es el sistema vegetal que ha cumplido satisfactoriamente el objetivo esperado, ya que asimiló favorable y eficazmente el T2(0.001%) mostrando un efecto significativo en el incremento de hojas a diferencia del resto de tratamientos T1(0.02%), T3(0.0009%) y el blanco. Comparado con el sistema vegetal *C. annum* cuyos tratamientos no presentaron efectos significativos, es decir que son estadísticamente iguales y por lo tanto producen el mismo efecto, por lo que se puede inferir que es necesario examinar un orden mayor de concentraciones para descartar que por efecto de concentración no se haya tenido un efecto visible o bien que simplemente las NPs-Q no generen el efecto fenológico planteado. Por lo que se infiere que *S. lycopersicum* bajo el tratamiento T2(0.001%), a futuro tengan un mejor desarrollo favoreciendo la síntesis de carotenos y alcaloides o en su dado caso un mejor desarrollo en la planta en general. En tanto al diámetro del tallo y al crecimiento de la planta no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, en ninguno de los casos para este sistema. El presente trabajo de investigación continuará su desarrollo evaluando el comportamiento de asimilación de tratamiento de nanopartículas de quitosano en las concentraciones 0.001%, 0.02% y 0.0009% para ambos sistemas hasta dar fruto, y se espera que a lo largo del desarrollo de *C. annum* exista una diferencia significativa entre los tratamientos así como también en *S. lycopersicum* se vean reflejadas diferencias significativas entre en el diámetro y el crecimiento de la planta, y así lograr observar algún efecto directamente en el fruto. Finalmente, cabe rescatar que, aun tratándose de la misma familia de solanáceas, chile y jitomate, la respuesta metabólica que influye en la parte fenológica es totalmente cambiante. Y que el no haber presentado diferencia significativa en las variables de respuesta evaluadas en las plantas de chile, no implica que no se hayan generado cambios mínimos bioquímicos que pudieran tener impacto en el fruto final. Por lo que es necesario realizar las evaluaciones bioquímicas que quedan como perspectiva en el presente proyecto.

Bibliografía

Boyd JW, Murray DS y Tyril, RJ. 1984. Silverleaf Nightshade, *Solanum elaeagnifolium*, Origin, Distribution, and Relation to Man. Economic Botany. 38(2): 210-217

Chandra, S., Chakraborty, N., Dasgupta, A., Sarkar, J., Panda, K., and Acharya, K. Chitosan nanoparticles: a positive modulator of innate immune responses in plants. Scientific reports, 2015; 5(1), 15195.

D'Arcy, W. G., 1991. The Solanaceae since 1976, with a review of its biogeography. In: J. G. Hawkes, R. N. Lester, M. Nee y N. Estrada (eds.). *Solanaceae III: Taxonomy, Chemistry and Evolution*. Great Britain: Royal Botanical Gardens, Kew, 75-137.

Divya, K., Vijayan, S., Nair, S. J. and Jisha, M. Optimization of chitosan nanoparticle synthesis and its potential application as germination elicitor of *Oryza sativa* L. *Inter. J. Biol. Macromol.* 2019; 124(1):1053-1059.

El Amerany, F., M. Rhazi, S. Wahbi, M. Taourirte, and A. Meddich. 2020. The effect of chitosan, arbuscular mycorrhizal fungi, and compost applied individually or in combination on growth, nutrient uptake, and stem anatomy of tomato. *Sci. Hortic.* 261: 109015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109015>.

El Nagar, M. & Mekawi, E. (2015). Evaluation of Some Biochemical Properties in Different Tomato Genotypes Obtained From Tissue Culture Technique. *Global J Research Analysis*, 4(9), 189-193. https://pdfs.semanticscholar.org/37c9/f9bf8f3174234fc15782f02f267c8b2074b5.pdf?_ga=2.130955209.735822069.1585675027-554533736.1585675027

González, C. A. G., Loayza, S. B. R., & Maza, L. O. S. (2022, August). Caracterización floral del género *Capsicum* spp, en el Ecuador: Floral characterization of the genus *Capsicum* spp, in Ecuador. In *Conference Proceedings (Machala)* (Vol. 6, No. 1).

Gutiérrez Pulido, H., & Vara Salazar, R. d. I. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2a. ed. --.). México D.F.: McGrawHill.

Kumar, M. N. V. R. 2000. A review of chitin and chitosan applications. *React. Funct. Polym.* 46: 1-27. doi: [https://doi.org/10.1016/S1381-5148\(00\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S1381-5148(00)00038-9).

Lira, R. H., Méndez, B., De-Santos, G. y Vera, R. I. Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria.* 2018; 28(2):9-24.

Long, J. (2001). Una semblanza de las Solanaceae. *Etnobiología*, 1(1), 17-23.

Lozoya X, Navarro V, García M y Zurita, M. 1992. *Solanum chrysotrichum* (Schldl.) a plant used in Mexico for the treatment of skin mycosis. *J. Ethnopharmacol.* 36(2): 127-132

Madriz-Ordeñana, K. 2002. Mecanismos de defensa en las interacciones planta patógeno. *Manejo integrado de plagas. Costa Rica.* No. 63: 22-32.

Montes, S. (2010). Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género *Capsicum* que crecen y se cultivan en México. *Inifap*, 5-7. <https://doi.org/10.7498/aps.63.104215>

Murillo-Pérez, Geraldine, & Rodríguez, Aarón. (2021). Claves dicotómicas para las especies de *Solanum* (Solanaceae) en México. *Botanical Sciences*, 99(2), 413-446. Epub 08 de abril de 2021. <https://doi.org/10.17129/botsci.2713>

Nuez, F.; Gil, R.; y Costa, J. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Madrid: Mundiprensa. 607 p
Ozeretskoykaya, O.L.; Vasyukova, N.I. (2002). The use of elicitors for protection of cultured plants demands caution. *Applied Biochemistry and Microbiology.* Vol. 38 No. 3: 277-279.

Pichyangkura, R. and Chadchawan, S. Biostimulant Activity of Chitosan in Horticulture. *Scientia Horticulturae.* 2015; 196, 49-65.

Prakash, V., Rai, A., Kumar, R., Kumar, S., Kumar, S., Singh, M., & Pratap, S. (2016). Genomics Data Microarray analyses for identifying genes conferring resistance to pepper leaf curl virus in chilli pepper (*Capsicum* spp.). *GDATA*, 9, 140-142. <https://doi.org/10.1016/j.gdata.2016.08.002>

Rivas-García, Tomás, González-Gómez, Luis Gustavo, Boicet-Fabré, Tony, Jiménez-Arteaga, María Caridad, Falcón-Rodríguez, Alejandro Bernardo, & Terrero-Soler, Julio César. (2021). Respuesta agronómica de dos variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la aplicación del bioestimulante con quitosano. *Terra Latinoamericana*, 39, e796. Epub 05 de abril de 2021. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.796>

Ryu, W., Kim, H., & Kim, G. (2016). ScienceDirect Rapid determination of capsaicinoids by colorimetric method. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.11.007>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019, 11 septiembre). Jitomate y chile, el dúo perfecto de la cocina mexicana. Gobierno de México. Recuperado 15 de julio de 2023, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/jitomate-y-chile-el-duo-perfecto-de-la-cocina-mexicana?idiom=es>

Solanaceae Source. 2019. *Solanaceae Source*: a global taxonomic resource for the nightshade family. <http://solanaceaesource.org> (accessed July 14, 2023).

TENIENTE, L. M. (2018). Aplicación de Elicitores AS, Quitosan y H₂O₂ EN *Capsicum annuum* y su efecto de respuesta a estrés biótico.

Torres-Nagera, M. A., López-López, L. I., De La Cruz-Galicia, G., & Silva-Belmares, S. Y. (2013). Solanaceas Mexicanas: Una Fuente de Nuevos Agentes Farmacológicos Mexicanas: Una Fuente de Nuevos Agentes Farmacológicos Mexican Solanaceae: A Source of New Pharmacologic Agents Mexican Solanaceae: A Source of New Pharmacologic Agents. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(10).

Villota-Cerón, D., Bonilla-Betancourt, M. L., Carmen-Carrillo, H., Jaramillo-Vásquez, J., & García-Dávila, M. A. (2012). Caracterización morfológica de introducciones de *Capsicum* spp. existentes en el Banco de Germoplasma activo de Corpoica CI Palmira, Colombia. *Acta Agronómica*, 61(1), 16-26.

Zhao J, Lawrence CD, Verpoorte R. Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. *Biotechnol. Adv.* 2005; 23:283-333.