

## Efecto de la Elicitación Física en Semillas de *Arachis hypogaea* Sobre el Comportamiento Agronómico del Cultivo Effect of Physical Elicitation on *Arachis hypogaea* Seeds on the Agronomic Behavior of the Crop

José Gregorio Joya-Dávila<sup>1†</sup> , Federico Antonio Gutiérrez-Miceli<sup>2</sup> ,  
María Ángela Oliva-Llaven<sup>3</sup>  y Ana Martín Santos-Espinoza<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California. Carretera a Delta s/n, Ejido Nuevo León. 21705 Nuevo León, Baja California, México; (J.G.J.D.).

<sup>†</sup> Autor para correspondencia: jose.joya@uabc.edu.mx

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Carretera Panamericana km 1080, Boulevares. 29050 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; (F.A.G.M.), (A.M.S.E.).

<sup>3</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia -UNACH. Carretera Emiliano Zapata km 8, Rancho San Francisco. 29060 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; (M.A.O.L.).

### RESUMEN

El cacahuete (*Arachis hypogaea*) es un cultivo de gran importancia en la alimentación humana y en los mercados nacional e internacional, gracias a sus diversos nutrimentos y usos tanto en gastronomía como en la industria cosmética. Sin embargo, la producción de cacahuete enfrenta desafíos como la sequía y el control de fitopatógenos. En este contexto, este estudio evaluó el impacto de la radiación láser, campo magnético y luz UV-C en variables agronómicas del cacahuete. Se empleó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones cada uno, midiendo 41 variables, desde germinación hasta características morfológicas y rendimiento. Los resultados mostraron que la radiación láser incrementó la masa de las semillas, mientras que la luz UV-C aumentó la producción de vainas con tres semillas. El campo magnético demostró el mayor rendimiento en vainas, cascabillo y semillas, con un aumento del 80% de la producción por hectárea, especialmente bajo condiciones de sequía. Estos resultados sugieren que los estímulos físicos podrían ser una valiosa alternativa para mejorar el rendimiento del cacahuete en condiciones climáticas desfavorables, ofreciendo nuevas perspectivas tanto para la investigación agronómica como para la práctica en el campo, subrayando la importancia de explorar y comprender mejor el papel de estos estímulos en la mejora de los cultivos y la seguridad alimentaria.

**Palabras clave:** cacahuete, campo magnético, láser, sequía, UV-C.

### SUMMARY

Peanut (*Arachis hypogaea*) is a crop of great importance in human nutrition and in national and international markets, thanks to its rich nutrient profile and versatile applications in both gastronomy and the cosmetics industry. However, peanut production faces challenges such as drought and phytopathogen control. In this context, this study evaluated the impact of laser irradiation, magnetic fields, and UV-C light on agronomic variables of peanut. An experimental design of completely randomized blocks was used, with four treatments and three replicates each, measuring 41 variables, from germination to morphometric and yield characteristics. The results showed that laser irradiation increased seed biomass, while UV-C light increased the production of pods with three seeds. Surprisingly, the magnetic field resulted in the highest yield in pods, hulls, and seeds, with an 80% increase in production per hectare, especially under drought conditions. These results suggest



#### Cita recomendada:

Joya-Dávila, J. G., Gutiérrez-Miceli, F. A., Oliva-Llaven, M. A., & Santos-Espinoza, A. M. (2025). Efecto de la Elicitación Física en Semillas de *Arachis hypogaea* Sobre el Comportamiento Agronómico del Cultivo. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-11. e1993. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.1993>

Recibido: 14 de junio de 2024.  
Aceptado: 14 de diciembre de 2024.  
Artículo. Volumen 43.  
Marzo de 2025.

Editor de Sección:  
Dr. Víctor Manuel Ruiz Valdiviezo



**Copyright:** © 2025 by the authors.  
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

that physical stimuli could be a valuable alternative to improve peanut yield under unfavorable climatic conditions, offering new perspectives for both agronomic research and field practice, highlighting the importance of exploring and better understanding the role of these stimuli in enhancing crop performance and food security.

**Index words:** peanut, magnetic field, laser, drought, UV-C

## INTRODUCCIÓN

El cacahuete (*Arachis hypogaea*) es un cultivo vital en la dieta humana y muy valorado en el mercado nacional e internacional. Esta oleaginosa es importante debido a su alto contenido de fibra, tocoferoles, aminoácidos esenciales, antioxidantes fenólicos y ácidos grasos (Romano-Cadena, Hernández, García y Moreno, 2019). Este cultivo es una excelente fuente de proteínas, vitaminas y minerales; además, tiene cierto contenido de metabolitos secundarios, los cuales pueden ser beneficiosos para la salud humana. Ya que previenen ciertas enfermedades cardíacas y tumorales, además de diabetes tipo dos, obesidad y enfermedades de la piel (Sánchez-Domínguez, Muñoz, González y Martínez, 2006; Romano-Cadena *et al.*, 2019). En México, el cacahuete se utiliza en gastronomía para la preparación de algunos platillos como botanas, galletas, pan, dulces, cereales y ensaladas, al igual que puede ser utilizado en otras industrias para la creación de cosméticos (Cifuentes, 2014<sup>1</sup>). Los principales estados productores en 2023 fueron Chihuahua (32 759.9 toneladas; 3.16 Mg ha<sup>-1</sup>), Chiapas (13 292.4 toneladas; 1.99 Mg ha<sup>-1</sup>) y Sinaloa (12 515.5 toneladas; 1.4 Mg ha<sup>-1</sup>), (SIAP, 2024). La producción de cacahuete se ha visto afectada por factores climáticos adversos, como la sequía prolongada de 2023, y por factores agronómicos como el control de fitopatógenos que pueden ocasionar pérdidas de hasta el 75% de la producción (Alemán-Carrazana, Martín Díaz, 2016). La investigación agronómica busca constantemente mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos, buscando tecnologías con la capacidad de aumentar la producción de alimentos. Esto es crucial debido al incremento previsto de la población mundial, lo cual generará una mayor demanda de alimentos. Entre estas estrategias, el uso de elicitors físicos ha cobrado relevancia.

Los métodos más relevantes incluyen el campo magnético, la radiación ultravioleta (UV), la radiación láser, los rayos X, la quitina y microondas. Estos métodos, al activar respuestas bioquímicas en las semillas y biológicas en las plantas, pueden influir positivamente en variables agronómicas clave (Álvarez *et al.*, 2011; Moreno-Jiménez, Loza y Ortiz, 2018). La radiación UV-C ha sido reportada por su influencia fisiológica y su capacidad para aumentar las propiedades nutricionales de las semillas (Foroughbakhch, Bacópulos y Benavides, 2015). En países como India y Pakistán, se ha estudiado la elicitación con luz UV-C en semillas de cacahuete con el fin de incrementar parámetros relacionados con el crecimiento y la acumulación de biomasa (Neelamegam y Sutha, 2015), favorecer la germinación y disminuir la incidencia de hongos de la raíz como *Rhizoctonia solani* Kühn y *Fusarium* spp (Siddiqui, Dawar, Zaki y Hamid, 2011). Sin embargo, aún falta información sobre el efecto en el rendimiento en condiciones de campo y el uso de otros elicitors en semillas de cacahuete.

Desde los años 60, la aplicación de radiación láser en sistemas biológicos ha sido explorada como bioestimulante en plantas y semillas. Los estudios han demostrado que la radiación láser de baja intensidad puede incrementar el rendimiento de los cultivos, reducir los periodos vegetativos, mejorar la calidad de la cosecha y aumentar la tolerancia al estrés por sequía, frío, salinidad o presencia de cadmio (Costilla-Hermosillo, Ortiz, Loza, Frausto y Metwally, 2019; Caicedo-López *et al.*, 2021). La elicitación se ha estudiado en semillas de tomate (Díaz-Leyva *et al.*, 2017), soya (Radhakrishnan, 2018), maíz (Sadeghianfar, Nazari y Backes, 2019), trigo (Huamaní *et al.*, 2022), entre muchas otras especies de importancia agronómica. Podleśny, Stochmal, Podleśna y Misiak (2012) evaluaron el efecto de la radiación láser en semillas de haba (*Vicia faba*) y encontraron que las semillas tratadas tenían mayor biomasa fresca durante la imbibición, así como una germinación más temprana y uniforme en comparación con las semillas no tratadas. La elicitación con campo magnético se ha reportado que activa e incrementa los procesos metabólicos (Domínguez-Pacheco *et al.*, 2010), y tiene un efecto estimulante en el proceso germinativo de las semillas durante sus primeras etapas de desarrollo (Huamaní *et al.*, 2022). Estos efectos positivos también se han observado en la tolerancia al estrés abiótico y biótico, resultando en mejores rendimientos de numerosos cultivos (Maharaj, 2015). Las contribuciones científicas de estudios básicos en *Arachis hypogaea* deben impactar significativamente en la cadena de valor de esta especie de interés para la industria agroindustrial y farmacéutica de México (Sánchez-Roque, Pérez, Santos y Gutiérrez, 2022). Hasta donde buscamos, no encontramos reportes sobre el uso de la bioestimulación de semillas de cacahuete usando elicitors

<sup>1</sup> Cifuentes, M. P. (2014). *Extracción de aceite fijo de maní (Arachis hypogaea) para ser utilizado en la elaboración de brillo labial y crema para la piel*. Tesis para obtener el grado de Química Farmacéutica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/1703>

físicos, para aumentar el rendimiento del cultivo. Estudiar el efecto de los elicitores en cultivos de importancia agronómica, como el cacahuate, es esencial para mejorar el rendimiento y contribuir a la seguridad alimentaria y a la adaptación a los desafíos climáticos futuros. Por lo tanto, el objetivo principal del presente trabajo fue evaluar el impacto de la exposición de semillas de cacahuate a la radiación láser, campo magnético y luz UV-C en variables agronómicas relacionadas con el crecimiento y rendimiento en condiciones de campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La elicitación de semillas y lectura de variables morfométricas (dimensiones y biomasa) se llevaron a cabo en el laboratorio de cultivo de tejidos vegetales, del TecNM Campus Tuxtla Gutiérrez; la parcela se estableció en el campo experimental "Capricho divino" ubicado en Suchiapa, Chiapas. La siembra se realizó en suelo arenoso, en condiciones climáticas de temporal, incluyendo el periodo de canícula.

El material vegetal consistió en semillas locales de cacahuate. Se seleccionaron las semillas eliminando aquellas con imperfecciones y homogenizando su tamaño. Posteriormente, se realizaron pruebas para seleccionar la dosis y tiempos de exposición adecuados. Las condiciones de elicitación fueron las siguientes: Luz UV-C: las semillas se colocaron a 30 cm de una lámpara tubular Philips G11T5, con emisión central de 253.1 nm, un ancho de banda de 2 nm y una potencia de 15 Watts, durante 30 minutos. Radiación láser: Las semillas se expusieron a un haz láser generado por una barra motorizada Steelpro® con una longitud de onda de 636 nm y una intensidad de 120 mW, a una distancia de 15 cm, durante 15 minutos.

**Campo magnético.** Se generó con un imán dipolar toroidal magnetizado a través de su espesor, colocado en una estructura de plástico, con la polaridad norte en la cara superior; en la cara inferior, dos bobinas coaxiales circulaban una corriente eléctrica de 110 V, exponiendo las semillas durante 30 minutos a una intensidad de 100 mT. Además, se establecieron dos condiciones de imbibición, 0 y 6 h, previas a la siembra.

Todas las labores agronómicas se realizaron manualmente. La labranza del suelo y la remoción de arvenses se realizaron con "Coa". La siembra se efectuó con macana, a una distancia de 30 cm entre plantas y 60 cm entre surcos. El manejo de arvenses se realizó semanalmente hasta el día 50 después de la siembra. Para el manejo de plagas, principalmente lepidópteros, se utilizó Spinetoram según el porcentaje de infestación observado. Asimismo, para el control de fitopatógenos, se realizaron cuatro aplicaciones preventivas quincenales de productos minerales a base de cobre y azufre. La fertilización se llevó a cabo con vermicomposta (300 g por planta) y lixiviados de lombriz al 5%. La cosecha se realizó a los 105 días después de la siembra (Cód. BBCH 97: Senescencia, partes aéreas de las plantas secas (Meier, 2001).

Para cada tratamiento se evaluaron 41 variables cuantitativas, descritas a continuación. El porcentaje de emergencia se determinó mediante la observación del número de plantas emergidas diariamente hasta alcanzar valores estables; el índice de velocidad de emergencia (IVE) se calculó utilizando el método adaptado de Joya-Davila *et al.* (2021), empleando la ecuación (1). Además, se determinó el número y producción total de vainas por planta, así como la distribución porcentual de vainas con una, dos o tres semillas. Utilizando un Vernier digital, se midieron 18 variables relacionadas con las dimensiones (grosor, longitud y ancho) de cada tipo de vaina y semillas ( $n = 30$ ). También se llevó a cabo la medición de la biomasa fresca y seca de los tres grupos de vainas, considerando grupos de 100 vainas para aquellas con dos semillas y grupos de 10 para aquellas con una y tres semillas, respectivamente. Con las vainas secas, se determinó el número de vainas por litro y la densidad de la vaina. Además, se evaluó la biomasa seca de 100 semillas y la del cascabillo específicamente para las vainas que contenían dos semillas. Se registró la producción (g) de vainas y semillas para cada tipo de vaina presente en cada planta ( $n = 10$ ). Finalmente, el rendimiento obtenido de vainas, semillas y cascabillo por planta se determinó utilizando la biomasa seca total correspondiente a los tres tipos de vainas, el cascabillo y las semillas, considerando la distancia de siembra, la producción por planta y la masa de vainas y semillas. Este cálculo se realizó multiplicando por la densidad de siembra, la producción por planta y el porcentaje de emergencia.

$$IVE = \frac{n_1}{t_1} + \frac{n_2}{t_2} + \frac{n_3}{t_3} + \dots + \frac{n_x}{t_x} \quad (1)$$

Donde  $n$  es el número de semillas emergidas y  $t$  es el tiempo en días desde la siembra hasta la emergencia final de los cotiledones (Figura 1A) en todos los tratamientos.



**Figura 1. Observación del ciclo de vida y estructuras morfológicas de la planta de cacahuete.** A = emergencia; B = planta en etapa BBCH 2.3 "formación de brotes laterales"; C = floración; D = tipo de vaina; 1V = vaina con una semilla; 2V = vaina con dos semillas; 3V = vaina con tres semillas.

**Figure 1. Observation of the life cycle and morphological structures of the peanut plant.** A = emergence; B = plant at BBCH 2.3 "lateral bud formation" stage; C = flowering; D = pod type; 1V = pod with one seed; 2V = pod with two seeds; 3V = pod with three seeds.

## Diseño Experimental y Análisis Estadístico

El cultivo se estableció mediante un diseño de bloques completos al azar, utilizando la imbibición y no imbibición de semillas como condición de bloqueo. Se evaluaron cuatro tratamientos, que incluyeron tres elicitors (campo magnético, luz UV-C y radiación láser) y un control sin elicitación. Cada tratamiento se replicó tres veces, utilizando una unidad experimental conformada por 100 semillas. Se realizó un ANOVA unidireccional a las 41 variables evaluadas; aquellas que presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) se les aplicó la prueba de Tukey para evaluar la diferencia de medias entre tratamientos y se realizó un análisis de componentes principales para agrupar las principales variables que representan la varianza en el estudio. El análisis de datos se realizó utilizando Statgraphics Centurion XVI (Statgraphics Technologies, 2009).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las observaciones en campo sobre la respuesta fenotípica bajo la influencia de campo magnético, radiación láser y luz UV-C indican que no hubo variaciones significativas en las etapas fenológicas en comparación con las plantas no elicidadas. La emergencia de las plantas y la estructura del tallo principal fueron similares en todos los tratamientos (Figura 1A). La Figura 1B ilustra una planta al día 15, mostrando la formación de tallos laterales, y la Figura 1C muestra la floración, donde no se evidenciaron cambios en el color de las flores ni en sus características físicas, aunque sí hubo una variación en el número de flores.

Además, no se observaron cambios en la coloración de las hojas, tallos, vainas y semillas, ni en la textura y forma de estas últimas. La Figura 1D presenta los diferentes tipos de vainas producidas, destacando aquellas que contienen una, dos o tres semillas. El color de las semillas fue similar en todos los tratamientos, lo que sugiere que, en términos de variables morfológicas cualitativas, no hubo cambios visibles. Estos resultados indican que la dosis y el tiempo de exposición utilizados no generaron cambios en el fenotipo de la planta. Resultados similares fueron reportados por Díaz-Leyva *et al.* (2017), quienes no encontraron diferencias en el fenotipo de

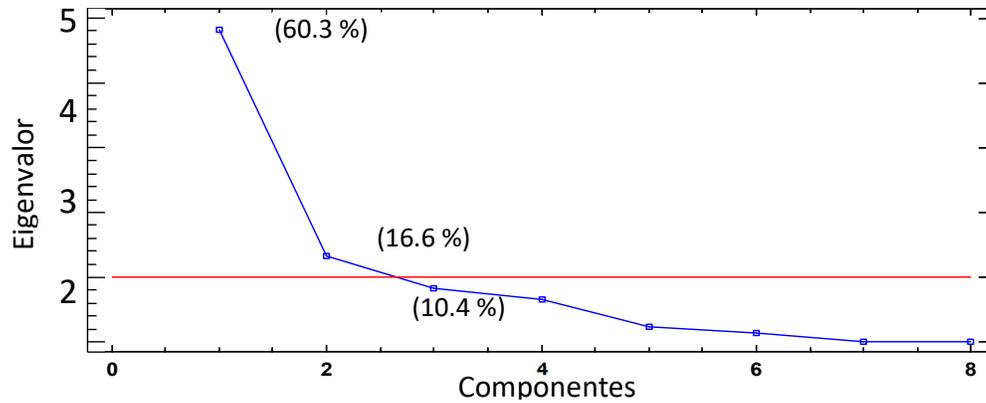
plantas de tomate después de la irradiación de semillas con UV-C antes de la siembra, en comparación con el control. Hernández-Aguilar *et al.* (2016), reportaron que las dosis de radiación de baja intensidad provocaron un aumento en el potencial bioenergético de las células, generando cambios positivos sin causar daños en el ADN. Sin embargo, la exposición a dosis altas de radiación afecta el material genético de las células, produciendo cambios genéticos en las plantas. En el caso del cacahuate, Ou, Chen, Lin, Li y Zhuang (2005), encontraron que la irradiación láser a una longitud de onda de 1060 nm puede inducir diversos efectos biológicos, incluyendo mutaciones en los genes y reorganizaciones en la estructura cromosómica. Esta longitud de onda actúa sobre el cuerpo biológico rompiendo los enlaces de las bases del ADN por efecto de resonancia, provocando un nuevo carácter hereditario.

El análisis de componentes principales (PCA) basado en las variables cuantitativas en respuesta a la elicitación reveló que los tres primeros componentes principales (CP) explicaron el 87.3% de la variabilidad total, con valores propios  $\geq 1$  (Figura 2). El CP1, con un valor propio de 4.8, explicó el 60.3% de la variabilidad total, capturando la mayor parte de la información contenida en las variables originales y destacando su importancia en la representación de los patrones subyacentes en el conjunto de datos. Las variables como porcentaje de emergencia, IVE, rendimiento de vainas, rendimiento de cascabillo, rendimiento de semillas y producción de vainas con tres semillas mostraron las mayores cargas positivas en CP1, mientras que la masa de 100 semillas tuvo una carga relativamente baja. El CP2, con un valor propio de 1.3, capturó el 16.6% de la variabilidad total y estuvo positivamente correlacionado con la masa de 100 semillas, así como con los rendimientos de vainas y cascabillo (Cuadro 1), sugiriendo que estas variables tienen un impacto significativo en las diferencias representadas por este componente.

El agrupamiento de las variables en los espacios de CP1 y CP2 permitió identificar patrones de respuesta a la elicitación. El porcentaje de germinación, IVE y los rendimientos de semillas, vainas y cascabillo se correlacionaron positivamente con CP1, ubicándose en la parte derecha del biplot, mientras que la producción de vainas con tres semillas mostró una correlación negativa con CP1 (Figura 3). La masa de 100 semillas se correlacionó fuertemente con CP2, situándose en la parte superior del biplot, mientras que las demás variables presentaron contribuciones más bajas o negativas en este componente. Este análisis subraya que CP1 y CP2 capturan el 76.89% de la variabilidad total, lo que respalda su selección para simplificar y comprender mejor las respuestas a la elicitación. Nuestros hallazgos son consistentes con investigaciones previas en *Arachis hypogaea* realizadas en diversas regiones. Por ejemplo, en África, se observó que el rendimiento de semillas y vainas contribuyó significativamente al CP1, mientras que la masa de 100 semillas se asoció principalmente al CP2 (Habite y Sendekie, 2023). De manera similar, en India, Patil *et al.* (2020) encontraron que la expresión genotípica está estrechamente ligada a los componentes principales relacionados con el rendimiento por planta y por hectárea. En contraste, en la Cuenca del Mediterráneo, la masa de 1000 semillas y las variables relacionadas con la fenología de la floración fueron los factores que más contribuyeron al CP1, explicando el 34% de la variabilidad total. Por su parte, el CP2 en estos estudios se relacionó principalmente con el rendimiento y el número de vainas por planta definiendo claramente los componentes principales (Yol, Furat, Upadhyaya y Uzun, 2018).

**Cuadro 1. Valor relativo de coeficientes que integran los componentes principales 1, 2 y 3.**  
**Table 1. Relative value of coefficients comprising principal components 1, 2 and 3.**

Efectos principales Variables	Componentes (CP)		
	1	2	3
Emergencia	0.389 468	0.253 18	-0.261 114
Índice de velocidad de emergencia	0.362 952	0.184 501	-0.093 3159
Masa de 100 semillas	0.055 5692	0.569 254	0.816 143
Rendimiento de vainas	0.445 548	-0.019 664 6	-0.013 323 6
Rendimiento de cascabillo	0.447 051	-0.052 883 5	-0.033 714 4
Rendimiento de semillas	0.434 533	0.001 395 09	-0.000 367 19
Masa de vainas con 3 semillas	0.0749 419	-0.683 028	0.454 011

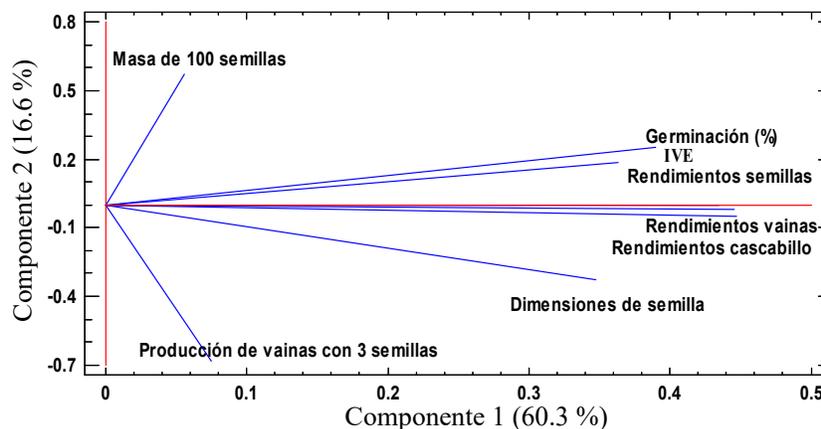


**Figura 2. Gráfico de sedimentación del comportamiento de la varianza en los componentes principales.**  
**Figure 2. Scree plot of variance behavior in principal components.**

En nuestro estudio, las variables relacionadas con el rendimiento, como la producción de vainas y cascabillo, se agruparon predominantemente en el CP1, lo que sugiere que en nuestro contexto, el rendimiento es el factor más influyente en la variabilidad observada. Por otro lado, la masa de las semillas ocupó el CP2, indicando una menor influencia en comparación con el rendimiento. Este patrón sugiere que las condiciones agroecológicas y las prácticas de manejo agronómico en nuestra región podrían estar favoreciendo un enfoque más fuerte en el rendimiento de la planta, desplazando a la masa de las semillas a un segundo plano. Además, las diferencias en la estructura de los componentes podrían reflejar variaciones genéticas y fenotípicas, subrayando la necesidad de adaptar estrategias de mejoramiento genético y prácticas de cultivo a las particularidades locales para optimizar tanto el rendimiento como la calidad de la semilla.

### Impacto de la Imbibición y Elicitación

Los tratamientos de elicitación física no mostraron influencia significativa en varias variables. En particular, no se encontraron diferencias en el número total de vainas ni en la distribución porcentual de los tres tipos de vainas observados, siendo notable que el  $77 \pm 3\%$  corresponde a vainas con dos semillas. Tampoco se observaron efectos significativos sobre la masa fresca y seca de las vainas con una, dos y tres semillas. Del mismo modo, no se evidenció impacto en el volumen de las vainas, variable crítica para el empaque y transporte del producto. No se detectaron diferencias significativas en el grosor y largo de vainas y semillas entre los tres tipos de vainas. Sin embargo, se observó variación en el rendimiento por planta en las vainas con tres semillas, mientras que no se encontraron diferencias significativas en las vainas con una y dos semillas. Estudios muestran que características como la forma y las características estructurales, son influenciadas principalmente por el genotipo, y no por el entorno. Esto subraya que algunas características son inherentemente estables y determinadas por la genética, sin cambios significativos ante estímulos externos (Onogi *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2021).



**Figura 3. Biplot del análisis de los componentes principales con mayor efecto**  
**Figure 3. Biplot of principal component analysis with the greatest effect.**

Existe una diferencia significativa en la masa seca de 100 semillas entre los tratamientos ( $P = 0.0184$ ). La radiación láser resultó una mayor biomasa (99.1 g), significativamente diferente del tratamiento luz UV-C, pero no del control ni del campo magnético. Estos resultados sugieren que la exposición a radiación láser puede incrementar la biomasa de las semillas, lo cual es un indicativo de una posible mejora en la calidad y el vigor de las semillas (Cuadro 2). La luz UV-C aumentó significativamente la producción de vainas con tres semillas en comparación con la radiación láser, sugiriendo que la luz UV-C puede tener un efecto estimulante en la formación de este tipo de vainas. No obstante, no hubo diferencias significativas entre el control, radiación láser y campo magnético, lo que indica que, aunque hay un efecto positivo, este no es lo suficientemente fuerte como para ser consistentemente mejor que todos los otros tratamientos. Uno de los mecanismos que explican cómo se da la bioestimulación láser es la acción térmica, la cual asume que el láser provoca un incremento en la temperatura de las células en la semilla generando una excitación convertida en calor, esto ocasiona que haya un incremento en actividades y reacciones enzimáticas, lo cual se expresa en el vigor de la semilla y en la planta emergida (Hernández-Aguilar *et al.*, 2016).

El tratamiento con campo magnético resultó en un aumento significativo en el rendimiento de vainas, cascabillo y semillas en comparación con el control, mientras que los tratamientos con luz UV-C y radiación láser, aunque no mostraron diferencias estadísticas significativas, evidenciaron una tendencia al aumento del rendimiento (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con estudios previos, como los de Siddiqui *et al.* (2011) y Sadeghianfar *et al.* (2019). En esos estudios, se demostró que la exposición a UV-C mejoró parámetros de crecimiento como la biomasa y la longitud de brotes y raíces, así como el área foliar y el número de nódulos en plantas. Además, se observó una reducción en la presencia de hongos patógenos y un aumento en la eficiencia fotosintética, lo que sugiere un impacto positivo en el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, en nuestro estudio, aunque se observó una tendencia positiva, la magnitud del incremento en el rendimiento no fue suficiente para alcanzar una significancia estadística.

Dada la necesidad de incrementar la producción de cacahuate, especialmente en regiones como Chiapas, donde las condiciones agroclimáticas son favorables, es crucial explorar y optimizar el uso de tratamientos que mejoren el rendimiento. La estabilidad en la producción de Chiapas, frente a la reciente disminución en Jalisco debido a la sequía, subraya la importancia de concentrar esfuerzos en mejorar el rendimiento en áreas con alto potencial productivo. Además, es relevante evaluar la eficacia de estas técnicas en zonas afectadas por la sequía para determinar su pertinencia en diferentes condiciones agroecológicas.

**Cuadro 2. Influencia de elicitors físicos y condiciones de imbibición en parámetros del rendimiento en *Arachis hypogaea*.**  
**Table 2. Influence of physical elicitors and imbibition conditions on yield parameters in *Arachis hypogaea*.**

Tratamiento	Masa 100 semillas	MV3/P	ROV	ROC	ROS
	g	g	----- kg -----		
Control	93.5 ab	3.0 ab	1953.6 b	554.6 b	1399 b
Luz UV-C	91.8 b	5.5 a	2653.8 ab	879.7 ab	1774 ab
Radiación láser	99.1 a	2.6 b	2594.4 ab	852.5 ab	1741 ab
Campo magnético	97.2 ab	4.0 ab	3638.2 b	1232.8 a	2405 a
DMS	6.4	2.83	1102	393.9	731.2
<i>P</i>	0.0184	0.0416	0.0038	0.0013	0.0086
	Efecto del bloque				
Sin imbibición	96.4 a	4.2 a	2469.81 a	761.28 b	1708.5 a
Imbibición	94.4 a	3.4 a	2950.22 a	998.62 a	1951.6 a
DMS	3.4	1.5	579.9	207.3	384.8
<i>P</i> =	0.2454	0.2848	0.0991	0.0270	0.2018

MV3/P = masa promedio de vainas con tres semillas por planta; ROV = rendimiento obtenido de vainas; ROC = rendimiento obtenido de cascabillo; ROS = rendimiento obtenido de semillas; DMS = diferencia mínima significativa.

MV3/P = average mass of pods with three seeds per plant; ROV = yield obtained from pods; ROC = yield obtained from shells; ROS = yield obtained from seeds; LSD = least significant difference.

El Cuadro 2 presenta un análisis exhaustivo sobre los efectos de la imbibición en diversas variables agronómicas, destacando la significancia estadística de las diferencias observadas. Aunque no se encontraron efectos significativos de la imbibición en la biomasa de 100 semillas ni en el rendimiento obtenido de semillas (ROS), se observó una tendencia positiva en el ROS, lo que sugiere un posible beneficio en su aplicación. Respecto al rendimiento obtenido de vainas, los datos indican un efecto potencialmente favorable de la imbibición. De manera más notable, el rendimiento de cascabillo mostró un incremento significativo asociado a este tratamiento. Esto concuerda con estudios previos en leguminosas, donde se ha demostrado que la elicitación con láser antes de la siembra mejora los procesos germinativos y la tasa de emergencia (Asghar, Jamil, Iqbal y Abba, 2016). Estos procesos metabólicos y de desarrollo temprano influyen positivamente en la formación de plántulas vigorosas y estructuras reproductivas, lo que finalmente podría incrementar el número de vainas y el rendimiento de cascabillo (Shehata *et al.*, 2023). Además, la imbibición podría estar involucrada en mecanismos que favorecen un mayor rendimiento final, aunque se requiere de investigaciones adicionales para confirmar estos efectos y entender mejor los mecanismos subyacentes (Pérez-Mendoza, Carrillo, Vidal y Ortiz, 2016; Neto *et al.*, 2024).

Se observó una diferencia significativa en el porcentaje de emergencia entre los tratamientos (Cuadro 3). El campo magnético resultó en el mayor porcentaje de emergencia (70.6%), significativamente diferente del control y la luz UV-C. Esto puede atribuirse a que el campo magnético estimula el proceso germinativo de las semillas, jugando un rol crucial en el crecimiento celular y la orientación de biomoléculas, generando cambios en las biomembranas y alterando el flujo de iones (Huamaní *et al.*, 2022). La radiación láser también mostró un aumento significativo en la emergencia comparado con el control, lo que sugiere que ambos tratamientos mejoran significativamente la germinación debido a una mayor activación metabólica y estímulo en la viabilidad de las semillas. La bioestimulación láser puede provocar la excitación selectiva de cromóforos presentes en las semillas, activando reacciones bioquímicas mediante la absorción de luz y su transformación en energía química para el crecimiento (Hernández-Aguilar *et al.*, 2016).

**Cuadro 3. Impacto de luz UV-C, radiación láser y campo magnético en la germinación y características de semillas bajo diferentes condiciones de imbibición.**

**Table 3. Impact of UV-C light, laser radiation and magnetic field on germination and seed characteristics under different imbibition conditions.**

Tratamiento	Emergencia	IVE	LS-1V	AS-1V	AS-2V
	%			mm	
Control	47.6 c	2.68 b	27.6 a	17.3 a	18.6 a
Luz UV-C	57.0 bc	3.68 ab	28.2 a	17.6 a	18.7 a
Radiación láser	64.7 ab	3.71 ab	27.7 a	17.7 a	18.6 a
Campo magnético	70.6 a	4.63 a	28.3 a	17.7 a	18.3 a
DMS	11.8	1.3	1.48	0.6	1.3
P	0.0002	0.0063	0.4916	0.4167	0.7784
			Efecto del bloque		
Sin imbibición	53 b	3.3 a	27.5 b	17.3 b	19.2 a
Imbibición	67.0 a	4.0 a	28.4 a	17.8 a	17.8 b
DMS	6.2	1.01	0.78	0.3	0.7
P	0.0002	0.0716	0.0116	0.0111	0.0003

IVE = índice de velocidad de emergencia; LS-1V = largo de la semilla de vainas con una semilla; AS-1V = ancho de la semilla de vainas con una semilla; AS-2V = ancho de la semilla de vainas con dos semillas; DMS = diferencia mínima significativa.  
 IVE = emergence speed index; LS-1V = seed length of pods with one seed; AS-1V = seed width of pods with one seed; AS-2V = seed width of pods with two seeds; LSD = least significant difference.

Se encontró una correlación positiva y significativa ( $R^2 = 0.791$ ;  $P = 0.0001$ ) entre el porcentaje de emergencia y el rendimiento de vainas y semillas de cacahuete. Esto indica que el pretratamiento de semillas estimula la emergencia, variable directamente relacionada con el rendimiento del cultivo. Estos resultados sugieren un claro beneficio del uso de elicitores, donde el uso de campos magnéticos aumenta el rendimiento de estos componentes, lo cual podría estar relacionado con mejoras en procesos fisiológicos como la germinación, fotosíntesis y la absorción de nutrimentos (Huamaní *et al.*, 2022). Estudios previos en leguminosas y cereales respaldan estos hallazgos, donde el uso de elicitores como el campo magnético y la radiación UV-C han demostrado incrementar la germinación y el rendimiento de las plantas (Rajasekhar, Kumaz, Subhan, Panduranga y Krishnamurthy, 2012; Huamaní *et al.*, 2022; Sadeghianfar *et al.*, 2019).

En cuanto al índice de velocidad de emergencia (IVE), el campo magnético tuvo el mayor IVE, significativamente diferente del control. El tratamiento con campo magnético no solo mejora la germinación, sino que también acelera el proceso de emergencia de las plántulas, lo cual es crucial para un establecimiento temprano y vigoroso. Un valor alto de IVE indica una germinación rápida, mientras que un valor bajo sugiere una germinación más lenta. Aunque las semillas imbibidas tendieron a tener un mayor IVE, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $P = 0.0716$ ), pero sugiere que la imbibición mejora la velocidad de emergencia. Huamaní *et al.* (2022), encontró que la exposición de semillas de trigo a un campo magnético mejora el vigor de la semilla lo cual se observa en el incremento de la velocidad de emergencia y el porcentaje de establecimiento de plantas. Estos resultados corroboran el efecto positivo de la estimulación en el proceso germinativo y en las primeras etapas del crecimiento de las plantas (Radhakrishnan *et al.*, 2018).

Los tratamientos de elicitación no afectaron de manera significativa el largo y ancho de las semillas cosechadas. Por el contrario, la imbibición si modificó el largo y ancho de las semillas que provienen de vainas con una semilla (monosémicas) y disminuye el ancho de la semilla que provienen de vainas con dos semillas (Cuadro 3). Esto sugiere que la imbibición puede tener un efecto positivo en el desarrollo de la semilla monosémica, posiblemente debido a una mejor hidratación inicial y sugiere una interacción compleja entre la imbibición y el desarrollo de las semillas en vainas con una o múltiples semillas, posiblemente debido a diferencias en la disponibilidad de recursos durante el desarrollo de los cotiledones. El proceso de imbibición de las semillas permite que alcancen el mismo nivel de humedad y activen su proceso metabólico (etapa pregerminativa), por lo que, tienden a mejorar la calidad fisiológica y homogeneidad del cultivo (Pérez-Mendoza *et al.*, 2016). La rápida absorción inicial de agua en semillas de cacahuete es fundamental para la reanudación de la actividad metabólica, como la reparación mitocondrial, ADN y síntesis de proteínas (Li *et al.*, 2014).

## CONCLUSIONES

La elicitación física mostró un impacto positivo en el vigor de establecimiento y el rendimiento del cacahuete, destacando al campo magnético y la radiación láser como tratamientos que favorecen la germinación en condiciones de déficit hídrico. Frente al reto de incrementar la cantidad de cacahuete cosechado por hectárea, el campo magnético se destacó por mejorar significativamente el rendimiento de vainas, cascabillo y semillas, así como el porcentaje de emergencia y el IVE. La radiación láser también mostró beneficios en la germinación. La imbibición mejoró el rendimiento de cascabillo y la calidad de las semillas de vainas con una semilla, aunque tuvo efectos variables en semillas de vainas con dos semillas. Estos hallazgos indican que el pretratamiento con elicitores físicos pueden mejorar la productividad agrícola, siendo necesarias investigaciones adicionales para explorar sus mecanismos y aplicabilidad en diversas variedades y condiciones de cultivo.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores indican que no existen conflictos de interés.

## FINANCIACIÓN

Esta investigación fue financiada por el Tecnológico Nacional de México, a través del proyecto: 19876, titulado: Estimulación de semillas para promover cambios en el crecimiento, rendimiento y calidad nutricional en cacahuate y maíz cultivados en campo.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Trabajo de campo: J.G.J.D. y M.A.O.L. Análisis de laboratorio: A.M.S.E. Metodología: J.G.J.D. y F.A.G.M. Validación: F.A.G.M. Escritura, preparación del borrador original: J.G.J.D. Escritura, revisión y edición: J.G.J.D., F.A.G.M., A.M.S.E. y M.A.O.L.

## AGRADECIMIENTOS

No aplicable.

## LITERATURA CITADA

- Alemán-Carrazana, M., Martín-Triana, E. L., & Díaz-Castellanos, M. (2016). Micobiota asociada a semillas de maní (*Arachis hypogaea* L.) variedad Crema VC-504. *Centro Agrícola*, 43(3), 90-91
- Álvarez, A., Ramírez, R., Chávez, L., Camejo, Y., Licea, L., Porras, E., & García, B. (2011). Efectos del tratamiento de semillas con láser de baja potencia sobre el crecimiento y rendimiento en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Información Técnica Económica Agraria*, 107(4), 290-299.
- Asghar, T., Jamil, Y., Iqbal, M., & Abbas, M. (2016). Laser light and magnetic field stimulation effect on biochemical, enzymes activities and chlorophyll contents in soybean seeds and seedlings during early growth stages. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 165, 283-290.
- Caicedo-López, L. H., Aranda, A. L. V., Sáenz de la O, D., Gómez, C. E. Z., Márquez, E. E., & Zepeda, H. R. (2021). Elicitores: implicaciones bioéticas para la agricultura y la salud humana. *Revista Bioética*, 29(1), 76-86. <https://doi.org/10.1590/1983-80422021291448>
- Costilla-Hermosillo, M. G., Ortiz-Morales, M., Loza-Cornejo, S., Frausto-Reyes, C., & Metwally, S. A. (2019). Laser biostimulation for improving seeds germinative capacity and seedlings growth of *Prosopis laevigata* and *Jacaranda mimosifolia*. *Madera y Bosques*, 25(2), 1-14. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521665>
- Díaz-Leyva, C. E., Bacópulos-Mejía, E., Ruiz-Torres, N. A., Ibarra-Jiménez, L., Gonzales-Morales, S., & Benavides-Mendoza, A. (2017). Irradiación de semillas de tomate con UV-B y UV-C: impacto sobre germinación, vigor y crecimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 105-118. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.75>
- Domínguez-Pacheco, A., Hernández-Aguilar, C., Cruz-Orea, A., Carballo-Carballo, A., Zepeda-Bautista, R., & Martínez-Ortiz, E. (2010). Semilla de maíz bajo la influencia de irradiación de campos electromagnéticos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(2), 183-188.
- Foroughbakhch-Pournavab, R., Bacópulos-Mejía, E., & Benavides-Mendoza, A. (2015). Efecto de la irradiación con UV-C en la germinación y vigor de tres especies vegetales. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5), 129-137.
- Habite, D. N., & Sendekie, Y. (2023). Principal component analysis and genetic divergence studies for yield and yield-related trait of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes at Pawe North Western Ethiopia. *EAS Journal of Biotechnology and Genetics*, 5(3), 59-63.
- Hernández-Aguilar, C., Domínguez-Pacheco, A., Cruz-Orea, A., Podlešna, A., Ivanov, R., Carballo-Carballo, A., ... & López-Bonilla, J. L. (2016). Bioestimulación láser en semillas y plantas. *Gayana Botánica*, 73(1), 132-149. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432016000100015>
- Huamani, E. H., Humpiri, J. M. T., Quispe, M. T., Vargas, A. M. C., Cruz, M. R. C. & Cáceres, J. Z. (2022). Estimulación de la germinación de semillas de trigo por exposición a Campos Magnéticos Estacionarios. *Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, 3(4), 55-59. <https://doi.org/10.47190/nric.v3i4.6>
- Joya-Davila, J., Ramírez-González, S., López-Báez, O., Jiménez-Núñez, S., Alvarado-Gaona, Á. A. & Espinosa-Zaragoza, S. E. (2021). Osmocondicionamiento de semillas de *Zea mays* con extractos vegetales para aumentar el vigor de establecimiento. *Ciencia y Agricultura*, 18(1), 21-35. <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n1.2021.12019>
- Li, Y. C., Qian, H., Sun, X. L., Cui, Y., Wang, H. Y., Du, C. & Xia, X. H. (2014). The effects of germination on chemical composition of peanut seed. *Food Science and Technology Research*, 20(4), 883-889. <https://doi.org/10.3136/fstr.20.883>
- Maharaj, R. (2015). Effects of abiotic stress (UV-C) induced activation of phytochemicals on the postharvest quality of horticultural crops. In A. Venket Rao, & Leticia G. (Eds.). *Rao Phytochemicals: Isolation, characterization and role in human health* (pp. 221-244). London, United Kingdom: IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/60050>
- Meier, U. (2001). *Estadios de las plantas mono y dicotiledóneas*. *B BCH Monografía*. Germany: Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura.
- Moreno-Jiménez, A. M., Loza-Cornejo, S., & Ortiz-Morales, M. (2018). Efecto de irradiación láser He-Ne y exposición a diodos emisores de luz sobre el contenido de pigmentos fotosintéticos en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum*). *Interciencia*, 43(7), 484-490.

- Neelamegam, R., & Sutha, T. (2015). UV-C irradiation effect on seed germination, seedling growth and productivity of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(8), 430-443.
- Neto, J. C. D., Silva, M. N. E. D., Pavão, J. M. D. S. J., Alves, M. C. J. L., Silva, R. B., Martins, G. M. C., ... & Santos Neto, A. L. D. (2024). Imbibition and drying periods in desiccation tolerance of peanut seeds. *Bragantia*, 83, e20230232. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20230232>
- Onogi, A., Sekine, D., Kaga, A., Nakano, S., Yamada, T., Yu, J., & Ninomiya, S. (2021). A method for identifying environmental stimuli and genes responsible for genotype-by-environment interactions from a large-scale multi-environment data set. *Frontiers in Genetics*, 12, 803636. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.803636>
- Ou, L., Chen, R., Lin, T., Li, B. & Zhuang, W. (2005). Cytological effect of laser-irradiated peanut seeds and induction of mutation. In *Optics in Health Care and Biomedical Optics: Diagnostics and Treatment II* (pp. 625-629). Beijing, China: SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.572813>
- Patil, R., Viswanatha, K. P., Upadhyaya, H. D., Lokesh, R., Khan, H., Gururaj, S., & Somasekhar (2020). Genetic diversity, association and principle component analyses for agronomical and quality traits in genomic selection training population of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 80(03), 282-290. <https://doi.org/10.31742/IJGPB.80.3.7>
- Pérez-Mendoza, C., Carrillo-Castañeda, G., Vidal-Lezama, E., & Ortiz-García, E. (2016). Efecto de la imbibición en la calidad fisiológica de semillas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), 1765-1773.
- Podlešny, J., Stochmal, A., Podlešná, A., & Misiak, L. E. (2012). Effect of laser light treatment on some biochemical and physiological processes in seeds and seedlings of white lupine and faba bean. *Plant Growth Regulation*, 67, 227-233. <https://doi.org/10.1007/s10725-012-9681-7>
- Radhakrishnan, R. (2018). Seed pretreatment with magnetic field alters the storage proteins and lipid profiles in harvested soybean seeds. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24, 343-347. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0505-8>
- Rajasekhar, E., Kumar, R. J., Subhan, C. M., Panduranga, P., & Krishnamurthy, T. (2012). Effect of electromagnetic field on germination of groundnut seeds (*Arachis hypogaea* L.). *South Asian Journal of Experimental Biology*, 2(2), 73-78
- Romano-Cadena, M. M. S., Hernández-Vivanco, G. A., García-Alarcón, M. R., & Moreno-Cortés, K. C. (2019). Análisis de la cadena productiva del cultivo de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) producido en Huaquechula, Puebla. *Educatconciencia*, 23(24), 65-80.
- Sadeghianfar, P., Nazari, M., & Backes, G. (2019). Exposure to ultraviolet (UV-C) radiation increases germination rate of maize (*Zea mays* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris*) seeds. *Plants*, 8(2), 49. <https://doi.org/10.3390/plants8020049>
- Sánchez-Domínguez, S., Muñoz-Orozco, A., González-Hernández, V. A., & Martínez-Garza, Á. (2006). Caracterización y clasificación de germoplasma mexicano de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.). *Agrociencia*, 40(2), 171-182.
- Sánchez-Roque, Y., Pérez-Luna, Y. C., Santos-Espinoza, A. M., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2022). Evaluation of the effect of native arbuscular mycorrhizal fungi on vermicompost leachate on the yield and quality of field-grown peanuts. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-15. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1612>
- SIAP (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2024). *Cierre de la producción agrícola (1980-2023)*. Consultado el 20 de junio, 2024, desde [http://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](http://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/)
- Shehata, A. S., Azo, S. N., Khaled, K. A., Hassan, M., Tawfic, G. A., & Fahmy, M. A. (2023). Physiological, anatomical, chemical, and genetic responses of two snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties to *in vitro* optical bio-stimulation induction. *Scientific Journal of Agricultural Sciences*, 5(1), 49-72.
- Siddiqui, A., Dawar, S., Zaki, M. J., & Hamid, N. (2011). Role of ultraviolet (UV-C) radiation in the control of root infecting fungi on groundnut and mung bean. *Pakistan Journal of Botany*, 43(4), 2221-2224.
- Statgraphics Technologies (2009). *Statgraphics Centurion XVI User's Manual*. The Plains, VA, USA: Statgraphics Inc.
- Yang, Q., Lin, G., Lv, H., Wang, C., Yang, Y., & Liao, H. (2021). Environmental and genetic regulation of plant height in soybean. *BMC Plant Biology*, 21, 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-02836-7>
- Yol, E., Furat, S., Upadhyaya, H. D., & Uzun, B. (2018). Caracterización de la recolección de maní (*Arachis hypogaea* L.) mediante caracteres cuantitativos y cualitativos en la cuenca mediterránea. *Journal of Integrative Farming*, 17(1), 63-75.