



Fecha de recibido: 14/11/2022

Fecha de aceptado: 01/03/2023

DOI: 10.22490/21456453.6506



GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE SEMILLAS DE ARVEJA VAR. 'SANTA ISABEL' SOMETIDAS A DIFERENTES DOSIS DE GIBERELINAS

GERMINATION AND GROWTH OF PEA SEEDS VAR. 'SANTA ISABEL' SUBJECTED TO DIFFERENT DOSES OF GIBBERELLINS

Marilcen Jaime-Guerrero¹, Javier G. Álvarez-Herrera², Jesús H.
Camacho-Tamayo³

¹ Ingeniera Agrónoma. Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

² Ingeniero Agrícola, Mag. y Dr. en Ciencias Agrarias. Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

³ Ingeniero Agrícola, Mag. en Ingeniería Agrícola, Dr. en Ciencias Agrarias. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

¹marilcen.jaime@uptc.edu.co, ²javier.alvarez@uptc.edu.co,
³jhcamachot@unal.edu.co

Citación: Jaime-Guerrero, M., Álvarez-Herrera, J. y Camacho-Tamayo, J. (2023). Germinación y crecimiento de semillas de arveja Var. 'Santa Isabel' sometidas a diferentes dosis de giberelinas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 91 - 112. <https://doi.org/10.22490/21456453.6506>

RESUMEN

Contextualización: La arveja es una leguminosa con un alto potencial nutricional debido a que es fuente de proteína y se cultiva ampliamente en todo el mundo.

Vacío de investigación: A pesar de que el porcentaje de germinación de las semillas de arveja es alto, esta germinación es poco uniforme debido a que la mayoría de las leguminosas tienen diversos grados de latencia, lo que genera plantas de diferentes tamaños y con desfases en las etapas fenológicas del cultivo.

Propósito del estudio: El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes dosis de giberelinas [GAs] en la germinación y el crecimiento de semillas de arveja, variedad 'Santa Isabel'.

Metodología: Se usó un diseño completamente aleatorizado [DCA] con seis tratamientos, que correspondieron a las diferentes dosis de giberelinas aplicadas [0, 200, 400, 600, 800 o 1000 mg L⁻¹], en los cuales se evaluaron variables de

germinación y posterior crecimiento de las plántulas de arveja.

Resultados y conclusiones: La aplicación de GAs disminuye el tiempo medio de germinación. Las GAs generaron plántulas con mayor altura [16,5 cm], pero con tallos más delgados; mientras que las plántulas provenientes de semillas sin GAs fueron más pequeñas [5,26 cm], pero con mayor masa fresca y seca de hojas, y con mayor aptitud para el trasplante. La aplicación de GAs en semillas de arveja no afectó la masa seca y fresca total de las plántulas de arveja, ni tampoco la masa seca y fresca de raíces. Las GAs promovieron la redistribución de fotoasimilados al aumentar la masa seca y fresca de tallos, a costa de la disminución de la masa seca y fresca en hojas y estípulas. Conforme aumentó la dosis de giberelinas, se incrementó la translocación de fotoasimilados desde la semilla hacia el tallo específicamente.

Palabras clave: ácido giberélico, fitohormonas, leguminosa, plántulas, vigor

SUMMARY

Contextualization: pea is a legume with a high nutritional potential because it is a source of protein and is widely cultivated throughout the world.

Knowledge gap: Even though the percentage of germination of pea seeds is high, this germination is uneven since

most legumes have different degrees of dormancy, which generates plants of different sizes and with gaps in the phenological stages of the crop.

Purpose: evaluate the effect of different doses of gibberellins [GAs] on the ger-

mination and growth of pea seeds, variety 'Santa Isabel'.

Methodology: through a completely randomized design [DCA] with six treatments, which corresponded to the different doses of gibberellins applied [0, 200, 400, 600, 800 or 1000 mg L⁻¹], every germination variable and subsequent growth of pea seedlings were evaluated.

Results and conclusions: The application of GAs decreases the average germination time. The GAs generated seedlings with more height, but with thinner stems; while the seedlings from seeds without GAs were smaller,

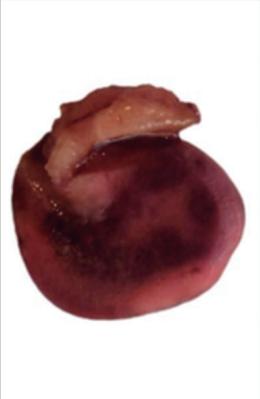
but with greater fresh and dry mass of leaves, and with greater aptitude for transplanting. The application of GAs in pea seeds did not affect the total dry and fresh mass of the pea seedlings, neither the MSR nor the MFR. The GAs promoted the redistribution of photo-assimilates by increasing the dry and fresh mass of stems at the expense of decreasing the dry and fresh mass of leaves and stipules. As the dose of gibberellins increased, the translocation of photo-assimilates from the seed to the stem specifically increased.

Keywords: seedlings, legume, gibberellic acid, phytohormones, vigor index

RESUMEN GRÁFICO

La aplicación de GAs disminuye el tiempo medio de germinación e incrementa considerablemente la altura de la plántula. Las GAs promueven una

mayor acumulación de masa en los tallos, disminuyendo consecuentemente la masa de estípulas y hojas.

			
Semilla viable de arveja sometida a prueba de 2, 3, 5-cloruro trifeníltetrazolio al 0,1 %, formada por dos cotiledones y un eje embrionario con hipocótilo, epicótilo y dos brácteas trifidas.	Plántula de arveja a los 14 días después de siembra [dds] sin la aplicación de GAs (Altura 5,2 cm).	Plántula de arveja a los 14 dds con aplicación de GAs (Altura promedio 16,5 cm).	Plántulas de arveja provenientes de semillas con (pequeñas) y sin (altas) aplicación de giberelinas.
Fuente: Fotografías M. Jaime-Guerrero			

1. INTRODUCCIÓN

La arveja es una leguminosa con un alto potencial nutricional debido a que es fuente de proteína y se cultiva ampliamente en todo el mundo (Cantaro-Segura & Huaranga-Joaquín, 2021); China aparece como el mayor productor, seguido de India, Estados Unidos, Francia y Egipto, por su parte, Colombia alcanzó una producción de 46 970 t para el año 2017 (Agronet, 2022), y los departamentos más productores son Nariño, Cundinamarca y Boyacá con una producción que alcanza el 53 %, 21 % y 9,7 % del total, respectivamente (Agronet, 2022). Debido a su adaptabilidad entre los 2 200 y 3 000 m sobre el nivel del mar, la variedad ‘Santa Isabel’ es una de las más sembradas en Colombia (Padilla & Zurita, 2015).

A pesar de que el porcentaje de germinación de las semillas de arveja es alto, en muchos casos esta germinación es poco uniforme debido a que la mayoría de las leguminosas tienen diversos grados de latencia (Li et al., 2022), lo que genera plantas de diferentes tamaños y con desfases en las etapas fenológicas del cultivo (Singh et al., 2017). Lo anterior se traduce en dificultades para la realización de las labores propias del cultivo; como riego y fertilización, bajos rendimientos y problemas en el pronóstico de producción para la comercialización. Estos rendimientos irregulares han impedido el crecimiento de las áreas de siembra ya que, según Nadeem et al. (2019), la baja uniformidad del cultivo es responsable

de una disminución de hasta un 18 % en la producción.

La germinación de las semillas es un proceso que puede afectar la producción de los cultivos y está influenciada por una serie de factores como las enzimas y hormonas. De tal manera, se ha comprobado que las giberelinas [GAs] controlan algunos aspectos en las semillas (Miransari & Smith, 2014) como la activación del crecimiento vegetativo del embrión, el debilitamiento de la capa del endospermo presionado por el crecimiento que rodea el embrión y la movilización de las reservas almacenadas en el endospermo (Kalra & Bhatla, 2018). Específicamente en la capa de aleurona, las GAs estimulan la producción de numerosas hidrolasas como la α -amilasa, encargada de la degradación del almidón y los asimilados almacenados; estos componentes son trasladados al escutelo para alimentar la radícula y el hipocótilo y así dar inicio al crecimiento de la plántula (Balaguera-López, Deaquiz et al., 2009). Así mismo, las semillas maduras de arveja contienen altos niveles endógenos de GA_{20} que disminuyen durante el crecimiento y desarrollo temprano de las plántulas, debido a que son transportados desde los cotiledones a la radícula y los brotes; así, las reservas de GA_{20} en los cotiledones proporcionan el sustrato para la síntesis de GA_1 , el cual es el encargado de la expansión y alargamiento de la plántula (Ayele et al., 2012).



Se han probado muchas técnicas con el fin de sincronizar la germinación y hacer que los tiempos y la uniformidad de esta mejoren, para así, realizar mejores establecimientos de los cultivos (Singh et al., 2017). Dentro de estas técnicas se destaca la aplicación de GAs en semillas para la obtención de plántulas con mayor masa fresca y seca, y mayor área foliar y altura (Balaguera-López, Deaquiz et al., 2009; lo cual es corroborado por Bohórquez-Sandoval et al. (2011), quienes afirman que la aplicación en semillas de GAs, en dosis de 200 mg L⁻¹, generó plantas de tomate con 12 % más de altura y entre un 26 % a 34 % más de masa fresca y seca. Si bien son escasos

los estudios sobre la aplicación de GAs en semillas de arveja, Javed et al. (2021) reportan que, en plántulas de arveja, la aplicación foliar de 100 mg L⁻¹ de ácido giberélico (GA₃) mejoró la altura, masa fresca, contenidos de clorofila, tasa fotosintética y concentración de CO₂, así como, también, el número de hojas, comparadas con el tratamiento control. Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de giberelinas en la germinación y el crecimiento de semillas de arveja, variedad 'Santa Isabel', con el fin de brindar a los productores alternativas para obtener plantaciones más homogéneas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El experimento se llevó a cabo en el invernadero de cubierta plástica del Grupo de Investigaciones Agrícolas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja, ubicado en las coordenadas 5,5528° N y 73,3602 W, a una altitud de 2700 m sobre el nivel del mar; con una precipitación promedio anual de 726 mm, unas condiciones de temperatura promedio dentro del invernadero de 18 °C y una humedad relativa del 70 %.

Diseño Experimental

Se usó un diseño completamente aleatorizado [DCA] con seis tratamientos que correspondieron a las diferentes

dosis de giberelinas aplicadas [0, 200, 400, 600, 800 o 1000 mg L⁻¹] acorde con Balaguera-López, Cárdenas-Hernández et al. (2009), para lo cual se empleó ProGibb® 10 SP [fabricado por Valen BioSciences]. Las semillas se embebieron durante 24 horas en cada una de las concentraciones empleadas. Cada tratamiento tuvo 4 repeticiones para conformar 24 unidades experimentales [UE], y cada UE estuvo compuesta por 30 semillas de arveja, lo que dio un total de 720 semillas empleadas. Se emplearon semillas de arveja, variedad 'Santa Isabel', de la empresa semillero LERL [Distribuciones Semillas LERL Ltda.], del lote 5013182857-03, con una pureza del 98 %. Las semillas se sembraron en bandejas de propagación de 72 alvéolos

A-BA72 [A y P de Colombia]. El sustrato utilizado fue turba canadiense [Confiabonos] y se regó diariamente con el fin de mantener la humedad para así favorecer la germinación. Las semillas fueron sembradas el 8 y se recolectaron el 22 de septiembre de 2022.

Variables de respuesta

Las semillas germinaron a partir de los cinco días después de siembra [dds], luego se comenzaron a medir diariamente el número de semillas germinadas y el tiempo en días para la germinación. Con los resultados se calcularon los siguientes parámetros: porcentaje de germinación [PG], potencial de germinación [PotG], tiempo medio de germinación [TMG], velocidad media de germinación [VMG] e índice de vigor [IV], según Tsegay & Andargie (2018), hasta que las plantas estaban aptas

para trasplantarse a los 14 dds, según las ecuaciones de la Tabla 1.

A partir de los 14 dds se midieron las variables destructivas que se describen a continuación: volumen radicular [VR]; masa fresca y seca de tallos, raíz y hojas; estípula; y semilla germinada. La medición se realizó en una balanza Boeco Bas 31 plus [fabricada por Boeckel & Co., y GmbH & Co. KG en Hamburg, Alemania] de precisión 0,0001 g, después de someter los diferentes órganos de las plantas a 70 °C durante 48 h (Teixeira et al., 2017) en una estufa de secado Memmert UNB500 [elaborada por Memmert GmbH, y Co. KG en Schwabach, Alemania]. A partir de los 5 dds, en la etapa de plántula, se evaluó cada dos días la altura de las plantas con un flexómetro; además, se calculó el coeficiente de uniformidad de la altura de la plántula (CUAP), acorde a la ecuación plasmada en la Tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones empleadas para las variables de germinación.

Variable	Ecuación	Unidades
Porcentaje de germinación	$PG = \left(\frac{N_s}{N} \right) * 100$	%
Potencial de germinación	$PotG = \left(\frac{N_{max}}{N} \right) * 100$	%
Tiempo medio de germinación	$TMG = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$	Días a germinación
Velocidad media de germinación	$VMG = \sum \left(\frac{n_i}{t_i} \right)$	Semillas germinadas /día

Índice de vigor	$IV = \frac{PG(\%) * A(cm)}{100}$	---
Volumen radicular	$VR = \frac{(M - Ms) * 1000}{(\rho_{arveja})}$	mm ³
Coefficiente de uniformidad de la altura de la plántula	$CUAP = \left(1 - \frac{Sd}{\mu}\right) * 100$	%

N_{max}: número máximo de semillas germinadas en un día.

N: número total de semillas sembradas.

N_s: número de semillas germinadas.

N_i: número de semillas germinadas en el i-ésimo día.

T_i: tiempo en días, para la germinación en el i-ésimo día.

M: masa fresca de las raíces (g).

M_s: masa medida en balanza cuando se sumergieron las raíces en agua, $\rho_{arveja} = 0,8 \text{ g/cm}^3$ (De Lucia y Assennato, 1993).

A: altura de plántula al final del ensayo.

Sd: desviación estándar de los datos de altura de plántula.

μ : promedio de los datos de altura de cada unidad experimental.

Fuente: autores

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con el fin de cumplir los supuestos para la realización posterior de un análisis de varianza (ANOVA) (P

$\leq 0,05$) y una prueba de Tukey ($P \leq 0,05$), y así determinar las diferencias significativas para clasificar los tratamientos. Se utilizó el programa estadístico SAS v. 9,1e [fabricado por SAS Institute Inc.].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de germinación [PG]

El PG tuvo diferencias significativas entre tratamientos a los seis, siete y ocho dds. Se observa que el tratamiento control, a pesar de presentar un menor por-

centaje al inicio de la emergencia [0,83 %] de las semillas, con el tiempo fue mejorando progresivamente y a los 14 dds logró alcanzar el mayor valor de PG [65,83 %] que los demás tratamientos [Figura 1]. Asimismo, la aplicación de 200 mg

L⁻¹ obtuvo el mejor comportamiento en el PG [62,50 %] comparado con las dosis de 800 y 1 000 mg L⁻¹, los cuales crecieron en menor proporción y al final de las mediciones tan solo alcanzaron 54,17 % y 50,00 %, respectivamente.

Lo anterior concuerda con Lamichhane et al. (2021), quienes encontraron que aplicaciones de 200 mg L⁻¹ de GA₃, en semillas de *Abelmoshus sculentum*, alcanzaron el mayor PG [60,12 %], IV y VMG, lo que demuestra tres fases antes

de la emergencia de las plántulas: de imbibición, de latencia y de crecimiento radicular. Es bien sabido que una germinación más temprana y mejor sincronizada está asociada con un aumento de las actividades metabólicas en las semillas embebidas (Singh et al., 2017); en ese sentido, GA₃ afecta de forma positiva la germinación, la elongación del tallo y el crecimiento al sintetizarse en órganos de crecimiento activo, como semillas [endospermo en desarrollo], hojas jóvenes y raíces (Bagale et al., 2022).

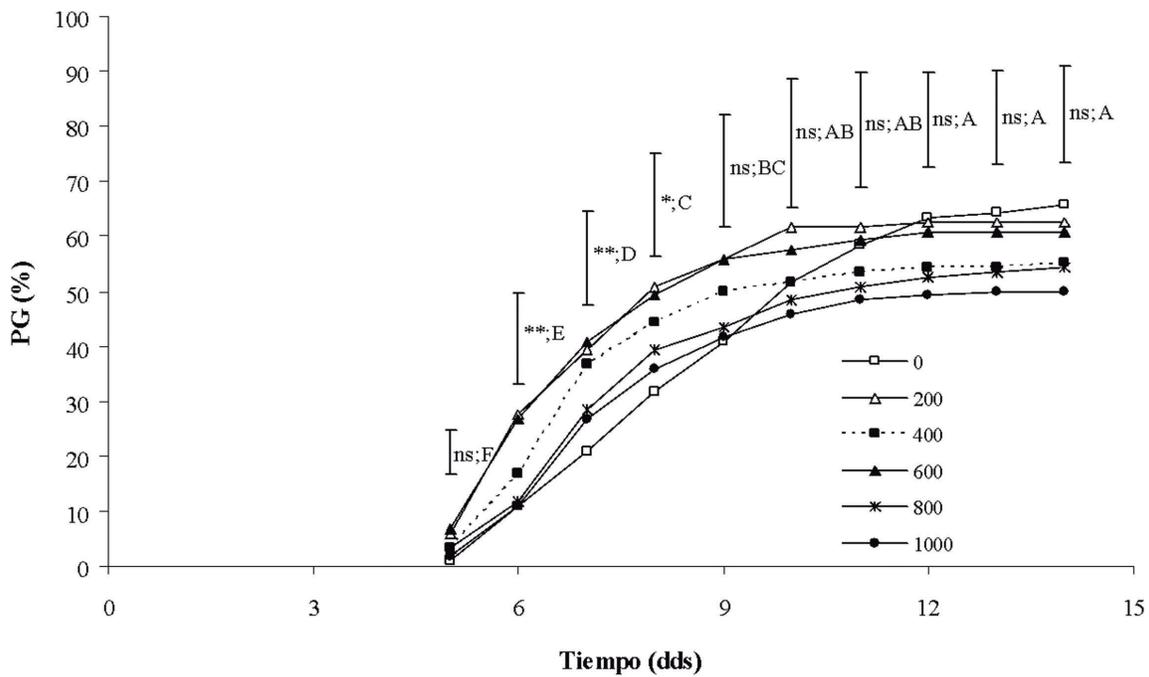


Figura 1. Porcentaje de germinación de plántulas de arveja provenientes de semillas sometidas a diferentes dosis de ácido giberélico. **dds:** días después de siembra. **ns:** no significativo, * y ** indican efecto significativo de acuerdo con el ANOVA [$P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$, respectivamente]. Letras antes y después del punto y coma indican diferencias significativas entre tratamientos y entre mediciones en el tiempo, respectivamente, según Tukey [$P \leq 0,05$]. Las barras verticales indican la diferencia mínima significativa, según Tukey, entre tratamientos [$P \leq 0,05$]. **Fuente:** autores.

Potencial de germinación [PotG]

El PotG no mostró diferencias significativas entre las distintas dosis de giberelinas aplicadas y tuvo un promedio general de 18,9 % [Tabla 2], lo que significa que aproximadamente 19 de cada 100 semillas brotaron el día de máxima germinación. Sin embargo, los tratamientos sin aplicación de GAs y con la dosis de 1 000 mg L⁻¹ tuvieron los menores valores de PotG [15,8 %]) y fueron un 29,6

% inferiores a los de la dosis de 400 mg L⁻¹, la cual obtuvo el mayor PotG. Estos valores son superiores a Ouerghi et al. (2016), quienes encontraron que el PotG en semillas de arveja fue de 8,85; así mismo, Xia et al. (2022) mencionan que las giberelinas incrementaron de manera significativa el PotG en un 11,8 % en semillas de algodón. Cabe resaltar que se recomienda aumentar el número de repeticiones con el fin de obtener valores de PotG menores y con mayor uniformidad de distribución en el tiempo.

Tabla 2. Variables de germinación medidas en semillas de arveja variedad 'Santa Isabel' sometidas a diferentes dosis de ácido giberélico.

Dosis de GAs (mg L ⁻¹)	PotG (%)	TMG (días)	VMG (No. de semillas germinadas por día)	IV	VR (mm ³)
0	15,83±1,59a	8,79±0,53a	2,38±0,15a	3,46±0,62b	39,06±11,90a
200	22,50±4,38a	7,16±0,23b	2,73±0,09a	10,71±0,82a	34,69±12,51a
400	22,50±3,69a	7,32±0,25b	2,33±0,12a	8,48±1,05a	43,75±9,39a
600	20,00±3,04a	7,16±0,15b	2,68±0,21a	11,38±1,25a	35,83±7,04a
800	16,67±2,35a	7,86±0,20ab	2,17±0,18a	8,85±0,88a	29,69±10,19a
1000	15,83±3,15a	7,85±0,18ab	2,01±0,21a	7,48±0,89ab	32,50±9,64a

GAs: Giberelinas; PotG: potencial de germinación; TMG: tiempo medio de germinación; VMG: velocidad media de germinación; IV: índice de vigor; VR: volumen radicular. Fuente: autores.

Tiempo medio de germinación [TMG]

Se presentaron diferencias significativas para el TMG [Tabla 2] en las que el tratamiento control registró los mayores valores [8,78 días], mientras que las aplicaciones de GAs mostraron un comportamiento similar entre sí; la dosis de

200 mg L⁻¹ obtuvo el menor promedio [7,16 días], lo que indica que las GAs ayudan a que se produzca una germinación de manera más rápida. Lo anterior es acorde a Ouerghi et al. (2016) quienes reportan valores de TMG de 6 ± 0,1 en plantas de arveja y mencionan que al someterlas a un estrés salino, estas aumentan el TMG. Del mismo modo, Gardarin



et al. (2016) mencionan que los valores de TMG son de 24, 32 y 34 grados día calor [GDC] para los cultivares de arveja 'Champagne', 'Térèsé' y 'Baccara', respectivamente, siendo las especies de origen tropical las que requieren mayor temperatura. Cabe resaltar que la germinación en semillas de arveja se hace lenta, debido a que la emergencia de la radícula de la semilla requiere el debilitamiento y la ruptura del entorno del endospermo, y también debido a que el TMG depende del sitio en donde la semilla acumule las reservas de fotoasimilados que, para el caso de la arveja, es en el embrión (Kalra & Bhatla, 2018).

Velocidad Media de germinación [VMG]

La VMD no tuvo diferencias estadísticas significativas para ninguna de las dosis evaluadas. La aplicación de 200 mg L⁻¹ registró el mayor promedio, con 2,7 semillas germinadas por día, mientras que la dosis de 1000 mg L⁻¹ tan solo alcanzó 2,0 semillas germinadas al día, cuyos valores son inferiores a Khatami & Ahmadinia (2018), quienes encontraron en arvejas un promedio de 3,6 ± 0,1 semillas germinadas por día. Cabe resaltar que algunos compuestos reactivos [oxígeno reactivo y nitrógeno] juegan un papel importante en el ajuste del ácido abscísico [ABA] y en la biosíntesis de las GAs durante la imbibición de las semillas. Con un buen contenido de agua y condiciones óptimas de temperatura cambia la proporción de ABA y GA, siendo esta última más alta, por lo que se promueve la germinación

de semillas a través de genes mediante la ruta de señalización de GA, usando como receptores los genes como SLY1 y GID1 (Reed et al., 2022).

Índice de Vigor [IV]

El IV tuvo diferencias significativas entre las dosis de GAs. El control tuvo los menores valores de IV [3,46], los cuales fueron un 63 % más bajos que el promedio de los tratamientos que recibieron la aplicación de GAs [9,37], y resultan similares a los encontrados por Ouerghie et al. (2016) de 6,53 para plantas de arveja sin estrés salino; sin embargo, todos estos valores resultan menores a los encontrados por Tsegay & Andargie (2018) para plántulas de arveja con y sin GA₃ de 33,89 y 21,8, respectivamente, lo cual se puede atribuir a que estos mismos autores suman la longitud de raíz dentro del cálculo del IV. Al respecto, Reed et al. (2022) mencionan que el IV depende de la relación ABA/GA y de la expresión de genes como el ABI4 en el endospermo, el cual está asociado a la adquisición de vigor por parte de la semilla en el embrión; de tal forma que, si aumenta la concentración de GAs, el ABI4 es inhibido (Bizouerne et al., 2021).

Volumen Radicular [VR]

El VR no se vio afectado de manera significativa por la aplicación de distintas dosis de GAs; sin embargo, la dosis de 400 mg L⁻¹ mostró los mayores valores promedio, de 43,75 mm³, seguido por el tratamiento control con 39,06 mm³, mientras que la dosis de 800 mg L⁻¹ ob-

tuvo los menores valores [29,69 mm³]. Lo anterior es acorde a lo reportado por Gangwar et al. (2011), quienes encontraron que las aplicaciones de GA₃ disminuyen la longitud de la raíz en comparación con los tratamientos control; sin embargo, no ocurre lo mismo en todas las dosis empleadas. Asimismo, Inada & Shimen (2000) reportan que las GAs no afectan directamente el crecimiento radicular y el desarrollo de la planta, pero sí pueden actuar anulando el efecto de inhibidor del Uniconazol-P.

Altura de la Plántula

Las dosis de GAs evaluadas afectaron de manera significativa la altura de la plántula [Figura 2]. El tratamiento con 600 mg L⁻¹ mostró los mayores valores durante todo el periodo de evaluación,

obteniendo un valor promedio de 18,55 cm a los 14 dds, seguido de la aplicación de 200 mg L⁻¹ con un promedio de 17,10 cm, mientras que el tratamiento control registró los menores valores [5,26 cm] al final del tiempo de medición. Al respecto, Khatami & Ahmadinia (2018) reportan alturas de 12 ± 0,3 cm, mientras que Javed et al. (2021) encontraron que, con aplicaciones foliares de 100 mg L⁻¹ de GA₃, la altura de la plántula alcanzó 40,1 cm a los 40 dds. Asimismo, Singh et al. (2017) reportan alturas de plántulas que oscilan entre 22 y 24 cm. Bajo las condiciones del presente estudio, es mejor no aplicar GA₃ con el fin de obtener plantas con menor porte, pero más robustas, ya que las semillas embebidas en GAs generaron plántulas altas, pero débiles con tallos muy delgados.

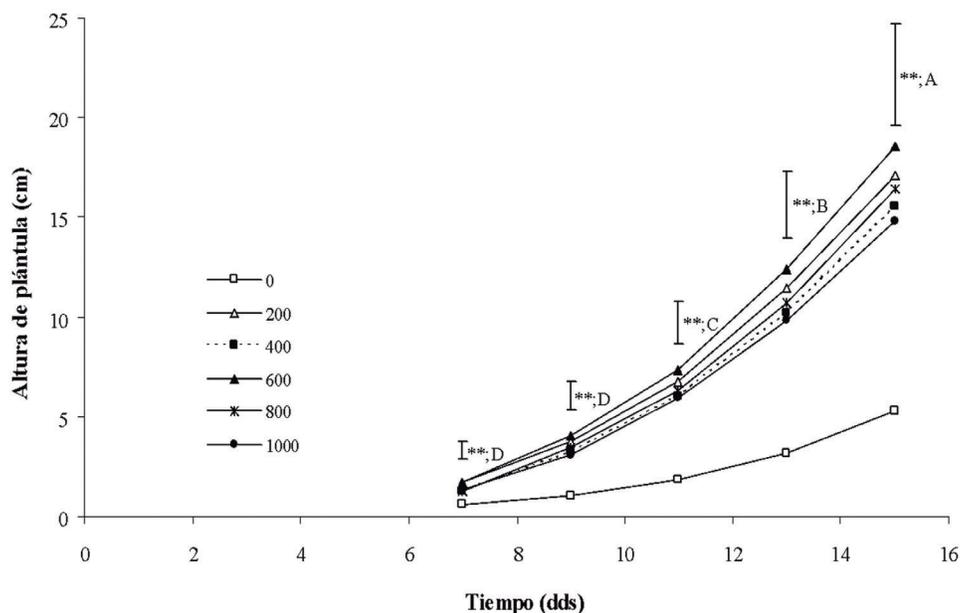


Figura 2. Altura de plántulas de arveja provenientes de semillas sometidas a diferentes dosis de ácido giberélico. dds: días después de siembra. ** indica efecto significativo de acuerdo con el ANOVA [$P \leq 0,01$]. Letras antes y después del punto y coma indican diferencias significativas entre tratamientos y entre mediciones en el tiempo, respectivamente, según Tukey [$P \leq 0,05$]. Las barras verticales indican la diferencia mínima significativa, según Tukey, entre tratamientos [$P \leq 0,05$]. **Fuente:** autores.

Es conocido que las GAs son diterpenoides, las cuales regulan el crecimiento de las plantas y el alargamiento celular influyendo en varios procesos de desarrollo, como la elongación del tallo y el alargamiento de entrenudos en las plantas. Debido a la acción de las GAs sobre el meristemo intercalar, estas participan tanto en la extensibilidad mecánica de las paredes celulares como en la relajación del estrés de estas; así, la tasa de elongación está influenciada tanto por la célula y la extensibilidad de la pared como por la velocidad de absorción del agua impulsada osmóticamente. Además, existe evidencia de que la enzima xiloglucano endotransglucosilasa [XET] participa en la extensión de la pared celular y esta es promovida por la acción de GAs; de tal manera, la XET cumple la función de facilitar la penetración de las expansinas en las microfibrillas de celulosa de la pared celular (Kalra & Bhatla, 2018). Así como las GAs estimulan el crecimiento de las plantas, también alivian los efectos inhibidores de diferentes factores estresantes abióticos en los atributos fisiológicos y de crecimiento de las plantas, como la acumulación de biomasa vegetal, clorofila, acumulación de minerales, intercambio de gases, fuga de electrolitos: así como la actividad de las especies reactivas de oxígeno (Javed et al., 2021).

Coeficiente de uniformidad de la altura de la plántula [CUAP]

Las dosis de GAs evaluadas no generaron diferencias significativas entre tra-

tamientos ni entre las mediciones realizadas en el tiempo para el CUAP, y mostraron valores promedio al final del ensayo de 49,94 % [$\pm 2,02$], los cuales se aprecian en Figura 3 y que resultaron inferiores a los obtenidos por Thakare et al. (2011), en *Cicer arietinum*, de 59,93 % para el coeficiente de uniformidad en la velocidad de germinación. Se obtuvo un modelo cuadrático entre el CUAP promedio para todos los tratamientos y el tiempo de germinación, el cual mostró un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9339$, lo que indica que gran parte de la varianza de los datos observados es explicada por el modelo. Del mismo modo, se aprecia que la uniformidad va aumentando conforme el tiempo de germinación avanza, debido a que las plantas van estabilizando su crecimiento en altura al ir generando nuevas hojas.

A pesar de que las dosis de 400, 600 y 800 mg L⁻¹ aumentaron el CUAP, no se puede inferir un efecto de las GAs sobre el crecimiento uniforme de las plántulas de arvejas. Lo anterior indica que la uniformidad de las plantas debe seguir siendo estudiada y otras variables, tanto ambientales como de nutrición y genética, deben tenerse en cuenta. Hoy, una práctica generalizada con el fin de mejorar la uniformidad de los cultivos es la del 'priming' en semillas, con el cual se aumentan los rendimientos y se reducen los tiempos de germinación (Reed et al., 2022).

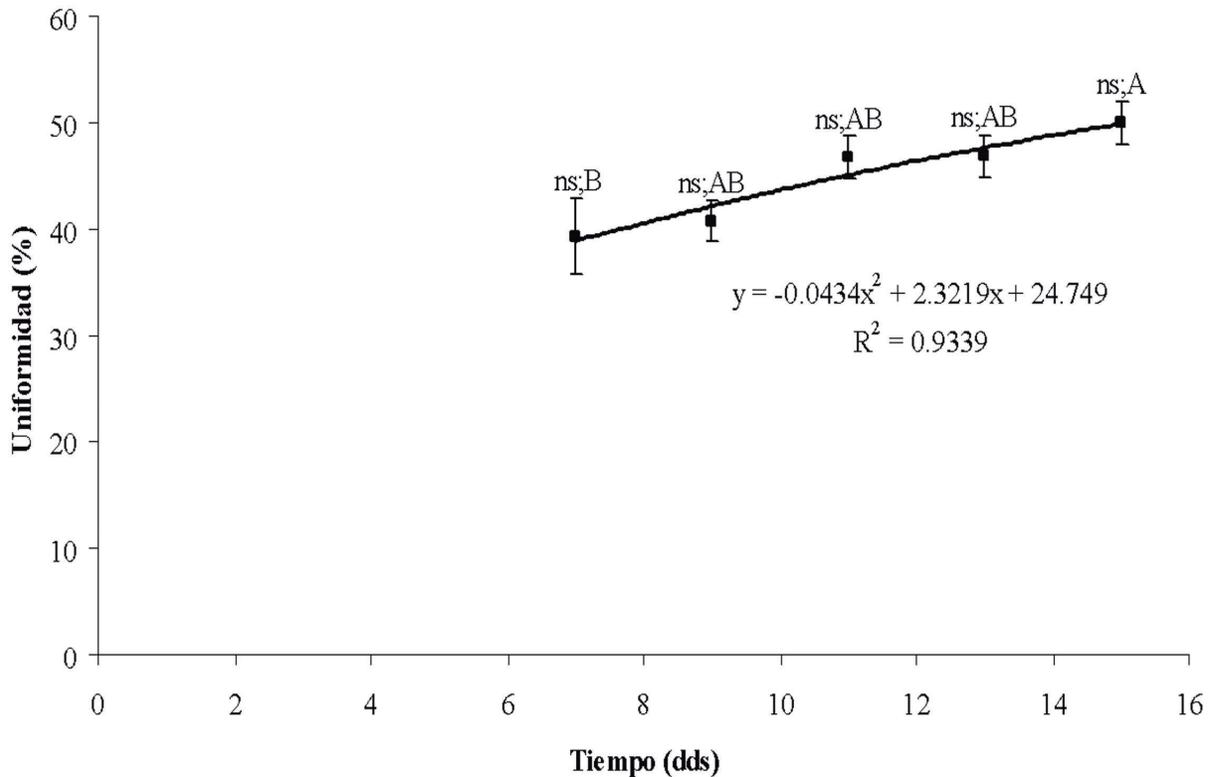


Figura 3. Uniformidad promedio de la altura de plántulas de arveja provenientes de semillas sometidas a dosis de giberelinas. **dds:** días después de siembra. **ns:** no significativo entre tratamientos de acuerdo con el ANOVA [$P \leq 0,05$]. Letras mayúsculas distintas después del punto y coma indican diferencias significativas entre las mediciones en el tiempo, según Tukey [$P \leq 0,05$]. Las barras verticales indican el error estándar [$n=24$]. **Fuente:** autores.

Masa seca de raíz [MSR]

Las diferentes dosis de giberelinas aplicadas a las semillas no afectaron estadísticamente la MSR de las plántulas de arveja [Figura 4A]; no obstante, las dosis más bajas de GAs [0 y 200 mg L⁻¹] tuvieron valores más altos con 0,65 g [0,0373 g por planta], mientras que las dosis más altas de GAs [800 y 1000 mg

L⁻¹] mostraron valores de 0,43 g [0,024 g por planta] en promedio, cuyos datos son similares a los reportados [0,02 g] por Tsegay & Andargie (2018). En contraste, uno de los efectos de las GAs es la promoción del crecimiento en las raíces, debido a que regulan la división de las células al acortar el ciclo celular, induciendo la síntesis de ácido desoxirribonucleico (Kalra & Bhatla, 2018).

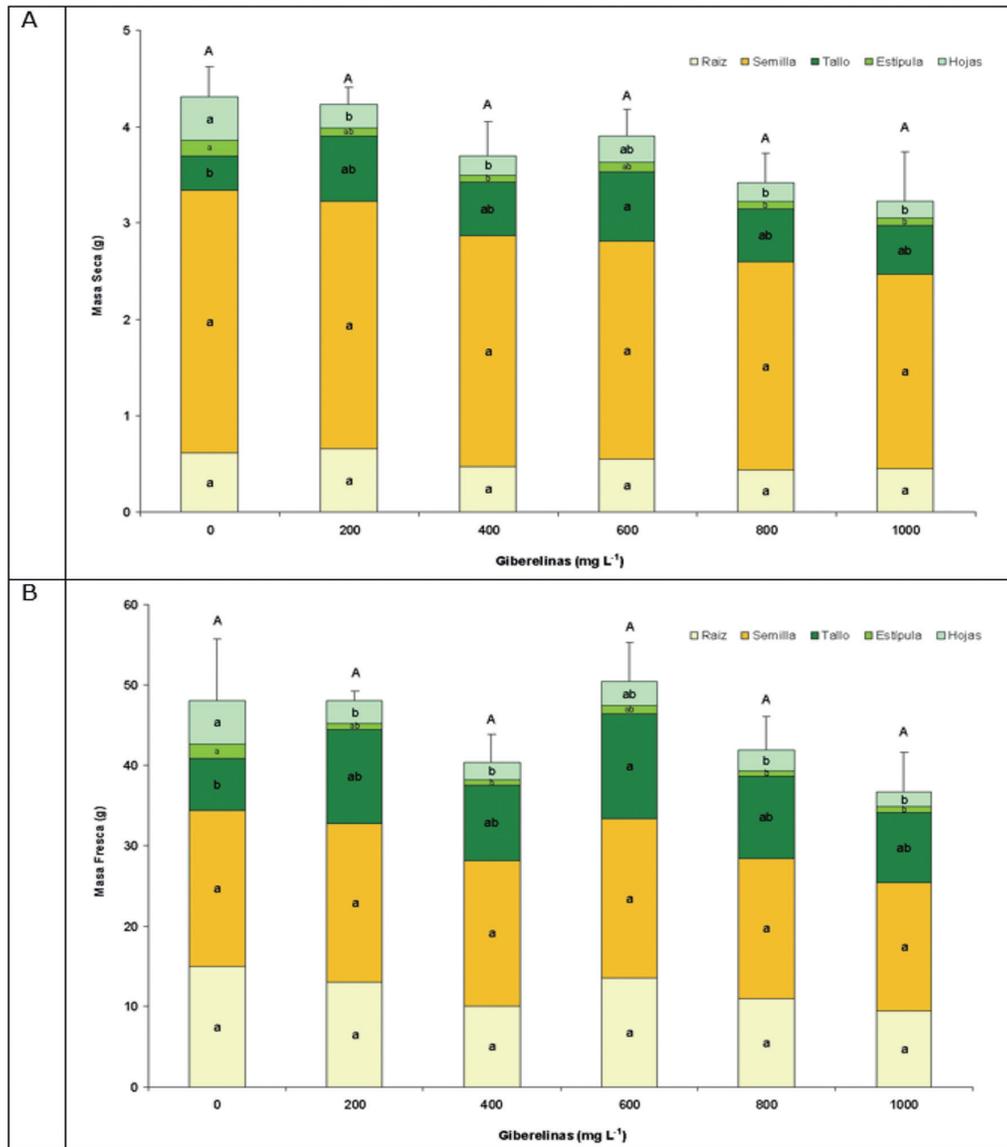


Figura 4. A) Masa seca y B) Masa fresca de raíz, semilla, tallo, estípula y hojas de plántulas de arveja provenientes de semillas sometidas a diferentes dosis de giberelinas. Letras minúsculas y mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para el mismo órgano de la plántula y para las masas totales, respectivamente, según Tukey [$P \leq 0,05$]. Las barras verticales indican el error estándar [$n=24$]. **Fuente:** autores.

Masa Fresca de raíz (MFR)

La MFR en las plántulas de arveja no se vio afectada por la aplicación de diferentes dosis de GAs [Figura 4B]; sin embargo, el tratamiento control mostró los mayores valores [0,75 g por planta], mientras que la dosis con la aplicación

de 1 000 mg L⁻¹, obtuvo los menores valores [0,63 g por planta], los cuales son superiores a los reportados por Tsegay & Andargie (2018) para arveja, variedad 'abyssinicum', que oscilan entre 0,23 y 0,25 g. Lo anterior es acorde a Inada & Shimen (2000), quienes mencionan que



a menudo las GAs no tienen un efecto marcado en la elongación de raíces y que el efecto depende de la especie y las condiciones del experimento. Así mismo, Ubeda-Tomás et al. (2008) mencionan que las GAs juegan un papel clave en la expansión celular, el cual produce el alargamiento de la zona radicular y cuya acción depende de la eliminación efectiva del efecto represor producido por las proteínas DELLA en la endodermis. Por otro lado, es probable que las dosis de GAs empleadas sean muy altas y causen un efecto adverso en la acumulación de masa fresca de la raíz tal como ocurrió en zanahorias, en las que la aplicación de 150 mg L^{-1} de GAs disminuyó el diámetro y la masa de raíz (Wang et al., 2015).

Masa seca de tallos [MSTA]

La MSTA presentó diferencias significativas entre las dosis de giberelinas. La aplicación de GAs, en dosis de 600 mg L^{-1} , generó la mayor cantidad de MSTA en comparación con el control, el cual fue un 51,4 % menor; lo anterior resalta el efecto de las GAs en la acumulación de masa en los tallos. No obstante, Kalra & Bhatla (2018) mencionan que uno de los efectos de las GAs es la disminución del grosor del tallo, y la elongación de los entrenudos; sin embargo, en este estudio se pudo visualizar que, las GAs favorecen la acumulación de MSTA.

Masa fresca de tallos [MFTA]

La aplicación de GAs causó diferencias estadísticas en las MFTA, la dosis de 400

mg L^{-1} tuvo un 102 % más de MFTA que el control. Por lo tanto, se puede mencionar que las GAs, afectan en mayor proporción la MFTA que la MSTA y que podrían favorecer la retención de agua por parte de los tejidos. Esto es similar a lo encontrado por Chauhan et al. (2019), quienes encontraron incrementos en el contenido de agua en los tejidos cuando se aplicó 150 mg L^{-1} de GA_3 en avena, variedad 'NDO-2', lo que ratifica el papel de las GA_3 en la inducción de la tolerancia al estrés. Así mismo, las GAs promueven un incremento significativo de la prolina, lo que ayuda a mantener a las células con altos contenidos hídricos (Dai et al., 2017).

Masa seca de hojas [MSHO]

Las dosis de GAs tuvieron un efecto significativo sobre la MSHO de las plántulas de arveja. Al promediar la MSHO de los tratamientos con aplicación de GAs [0,21 g por UE], esta fue un 51,3 % menor que el control [0,44 g por UE]; lo que implica que las GAs disminuyen la masa acumulada en las hojas. Lo anterior es acorde con el estudio de Kalra & Bhatla (2018), quienes mencionan que, así como el tamaño de las hojas disminuye, también se presenta una coloración verde claro en las hojas de plantas con aplicación de GAs.

Masa Fresca de hojas [MFHO]

La MFHO se vio afectada de manera significativa por la aplicación de GAs a las semillas de arveja, ya que la MFHO del control [5,31 g por UE] fue superior

en un 116 % al promedio de los tratamientos con GAs [2,45 g por UE], lo que implica que la aplicación de GAs disminuye la MFHO y por ende el tamaño, de acuerdo con Kalra & Bhatla (2018).

Masa seca de estípula [MSE]

La MSE de las plántulas de arveja mostró diferencias estadísticas significativas entre las dosis de GAS aplicadas. En concordancia, el control generó un 140 % más de MSE que la dosis de 400 mg L⁻¹ de GAs. Lo anterior indica que la aplicación de GAs también disminuye la MSE, acorde con la reducción que se produce en el tamaño de las hojas (Kalra & Bhatla, 2018). Este hallazgo es similar a lo que encontraron Balaguera-López, Cárdenas-Hernández et al. (2009), quienes reportaron que el área foliar disminuyó de 82,97 a 68,53 cm² en plántulas sometidas a 0 y 900 mg L⁻¹ de GAs, respectivamente.

Masa Fresca de estípula [MFE]

La dosis de GAs afectó de manera significativa la MFE. El tratamiento control tuvo los valores más altos y en general fue un 124 % mayor que el promedio de los tratamientos que recibieron GAs, lo que implica que, en el presente estudio, la aplicación de giberelinas afecta negativamente y de forma similar tanto la MSE como la MFE.

Masa seca de semillas germinadas [MSS]

La MSS de las plántulas de arveja no presentó diferencias significativas entre

los tratamientos de GAS aplicados. No obstante, el tratamiento control tuvo un 35 % más de MSS que la dosis de 1000 mg L⁻¹ de GAs. Según la figura 4, se puede afirmar que, conforme se incrementó la dosis de GAs, la MSS disminuyó, lo que significa que la semilla transfiere menor cantidad de fotoasimilados a los demás órganos de la planta cuando está sometida al efecto de las GAs. Esto implica que la aplicación de GAs en semillas de arveja aceleró la traslocación de fotoasimilados, principalmente desde la semilla hacia el tallo y en menor medida hacia los demás órganos de crecimiento.

Masa Fresca de semillas germinadas [MFS]

La MFS de las plántulas de arveja no mostró diferencias significativas entre las dosis de GAs aplicadas y presentó en promedio un valor de 1,05 g por planta. En este sentido, es probable que la ausencia de diferencias significativas se produzca debido a que el contenido endógeno de las GAs es suficiente para garantizar el debilitamiento del endospermo y facilitar la movilización de reservas al embrión. De igual manera, durante el crecimiento, las GAs realizan una distribución de fotoasimilados homogénea hacia los diferentes órganos de la plántula (Ribalta et al., 2019).

Masa seca total [MSTO]

La MSTO de las plantas de arveja no tuvo diferencias significativas entre las distintas dosis de GAs [Figura 4A]. No



obstante, la aplicación de estas disminuyó, en promedio, un 14,2 % la MSTO frente al control; además, conforme se elevó la concentración de GAs aplicadas, la MSTO disminuyó. En contraste, Tsegay & Andargie (2018) encontraron que la aplicación de GA₃ aumentó de 0,03 a 0,04 g la masa total de las plántulas de arveja, variedad 'abyssinicum'. A pesar de que no hubo diferencias en la MSTO, el efecto de las GAs se reflejó directamente en el aumento de la masa seca y fresca del tallo, y en la disminución de la masa seca de hojas y estípula, mientras que no hubo efecto sobre las raíces ni en el remanente de la semilla.

Masa Fresca total [MFTO]

La MFTO no presentó diferencias significativas entre las dosis de GAs aplicadas y tuvo un promedio general de

2,53 g [Figura 4B]; no obstante, Tsegay & Andargie (2018), al aplicar 200 mg L⁻¹ de GA₃, lograron aumentar de 0,43 a 0,54 g la masa fresca de brotes y raíces en arveja sembrada en cajas de Petri. Estos aumentos son atribuidos a la activación de genes específicos que causa la giberelina para la transcripción del ARNm de la α -amilasa, la cual facilita la degradación del almidón y hace que los fotoasimilados estén disponibles para el embrión recién germinado. Así mismo, las GAs también inducen la producción de otras enzimas vitales para la germinación como las amilasas, catalasas y peroxidasas (Devika et al., 2021) y cualquier aumento en la actividad de estas da como resultado una germinación temprana y vigorosa, así como un buen establecimiento del cultivo (Tsegay & Andargie, 2018).

4. CONCLUSIONES

Las semillas sin aplicación de GAs mostraron los valores más bajos de PG al comienzo del ensayo pero al final terminaron con los valores más altos, lo que implica que la aplicación de GAs disminuye el TMG. La aplicación de GAs en semillas de arveja no afectó la MSTO ni la MFTO de las plántulas ni tampoco la MSR ni la MFR. No obstante, las GAs promovieron la redistribución de fotoasimilados al aumentar la MSTA y la MFTA, a costa de la disminución de

la masa seca y fresca en hojas y estípulas. Conforme aumentó la dosis de GAs se incrementó la traslocación de fotoasimilados desde la semilla hacia el tallo principalmente. La aplicación de GAs generó plantas con mayor altura, pero con tallos más delgados; mientras que las plántulas provenientes de semillas sin GAs fueron más pequeñas, pero con mayor robustez, la cual se vio reflejada en mayor masa fresca y seca de hojas y en una mayor aptitud para el trasplante.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Marilcen Jaime-Guerrero: metodología, logística, análisis de datos, investigación, escritura, borrador original.

Javier G. Álvarez-Herrera: metodología, análisis de datos, investigación, conceptualización, escritura, revisión, edición y supervisión.

Jesús H. Camacho-Tamayo: escritura, análisis de datos, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Ciencia, tecnología e innovación [Minciencias] por la financiación del proyecto titulado “Análisis del efecto interactivo del estrés hídrico y la fenología sobre la fotosíntesis y el rendimiento de arveja (*Pisum sativum* L.)” en la convocatoria 890; y a la Dirección de Investigaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de

Colombia [UPTC] por el apoyo en el proyecto SGI 3335 “Efecto de 24-epibrassinolida en el crecimiento, fotosíntesis y producción de arveja (*Pisum sativum* L.) bajo déficit hídrico”. A Sebastián Torres, Richard Roncancio y Marcela Arias por la colaboración en el desarrollo del proyecto.

LITERATURA CITADA

Agronet. (2022). *Estadísticas agrícolas: Área, producción, rendimiento y participación en el cultivo de arveja*. https://www.agronet.gov.co/Documents/8-ARVEJA_2017.pdf

Ayele, B. T., Ozga, J. A., Wickramaratna, A. D. & Reinecke, D. M. (2012). Gibberellin metabolism and transport during germination and young seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of plant growth regulation*, 31, 235-252. <https://doi.org/10.1007/s00344-011-9234-8>

Bagale, P., Pandey, S., Regmi, P. & Bhusal, S. (2022). Role of plant growth regulator “gibberellins” in vegetable production: an overview. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 9(3), 291-299. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2021.329114.495>

Balaguera-López, H. E., Deaquiz, Y. A. y Álvarez-Herrera, J. G. (2009). Plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de giberelinas (GA_3). *Agronomía Colombiana*,



- 27(1), 57-64. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11360>
- Balaguera-López, H. E., Cárdenas-Hernández, J. F. & Álvarez-Herrera, J. G. (2009). Effect of gibberellic acid (GA₃) on seed germination and growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Acta Horticulturae*, 821, 141-148. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.821.15>
- Bizouerne, E., Buitink, J., Vu, B. L., Vu, J. L., Esteban, E., Pasha, A., Provart, N., Verdier, J. & Leprince, O. (2021). Gene co-expression analysis of tomato seed maturation reveals tissue-specific regulatory networks and hubs associated with the acquisition of desiccation tolerance and seed vigour. *BMC plant biology*, 21(1), 1-23. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-02889-8>
- Bohórquez-Sandoval, C., Álvarez-Herrera, J. G. y Niño-Medina, R. C. (2011). Giberelinas y 6-bencilaminopurina en la plantulación de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido adrale RZ F1. *Temas Agrarios*, 16(2), 42-53. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/690/806>
- Cantaro-Segura, H. & Huaranga-Joaquín, A. (2021). Interaction of triacetonol with other plant growth regulators on morphology and yield of field pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomía Colombiana*, 39(2), 187-195. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v39n2.94096>
- Chauhan, A., AbuAmarah, B. A., Kumar, A., Verma, J. S., Ghramh, H. A., Khan, K. A. & Ansari, M. J. (2019). Influence of gibberellic acid and different salt concentrations on germination percentage and physiological parameters of Oat cultivars. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(6), 1298-1304. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.04.014>
- Dai, L. Y., Zhu, H. D., Yin, K. D., Du, J. D. & Zhang, Y. X. (2017). Seed priming mitigates the effects of saline-alkali stress in soybean seedlings. *Chilean journal of agricultural research*, 77(2), 118-125. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392017000200118>
- De Lucia, M. y Assennato, M. (1993). *La ingeniería agraria en el desarrollo - Manejo y tratamiento de granos poscosecha*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/X5041S/X5041S00.htm>
- Devika, O. S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, P., Suman, J. & Rakshit, A. (2021). Seed priming: a potential supplement in integrated resource management under fragile intensive ecosystems. *Frontier in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.654001>
- Gangwar, S., Singh, V. P., Srivastava, P. K. & Maurya, J. N. (2011). Modification of chromium (VI) phytotoxicity by exogenous gibberellic acid application in *Pisum sativum* (L.) seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(4),



- 1385-1397. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0672-x>
- Gardarin, A., Coste, F., Wagner, M. H. & Dürr, C. (2016). How do seed and seedling traits influence germination and emergence parameters in crop species, a comparative analysis. *Seed Science Research*, 26(04), 317-331. <https://doi.org/10.1017/S0960258516000210>
- Inada, S. & Shimmen, T. (2000). Regulation of elongation growth by gibberellin in root segments of *Lemna minor*. *Plant and Cell Physiology*, 41(8), 932-939. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcp018>
- Javed, T., Ali, M. M., Shabbir, R., Anwar, R., Afzal, I. & Mauro, R. P. (2021). Alleviation of copper-induced stress in pea (*Pisum sativum* L.) through foliar application of gibberellic acid. *Biology*, 10(2), 120. <https://doi.org/10.3390/biology10020120>
- Kalra, G. & Bhatla, S. C. (2018). Gibberellins. En S. C. Bhatla y M. A. Lal (Eds.). *Plant physiology, Development and Metabolism* (pp. 617-628). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_17
- Khatami, S. & Ahmadiania, A. (2018). Increased germination and growth rates of pea and Zucchini seed by FSG plasma. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 12, 33-38 <https://doi.org/10.1007/s40094-018-0280-5>
- Lamichhane, A., Mamata, K. C., Shrestha, M. & Binaya, B. (2021). Effect of seed priming on germination of Okra (*Abelmoschus esculentus* var. Arka Anamika). *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*, 5(2), 111-114. <http://doi.org/10.26480/mjsa.02.2021.111.114>
- Li, X., Yang, X., Li, X., Zhao, Z., Zhang, Z., Lin, H., Kang, D. & Shen, Y. (2022). Nondestructive in situ monitoring of pea seeds germination using optical coherence tomography. *Plant Direct*, 6(7). <https://doi.org/10.1002/pld3.428>
- Miransari, M. & Smith, D. L. (2014). Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 99, 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005>
- Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Sher, A., Ma, C., Wang, X. & Qiu, L. (2019). Research Progress and Perspective on Drought Stress in Legumes: A Review. *International journal of molecular sciences*, 20(10), 2541. <https://doi.org/10.3390/ijms20102541>
- Ouerghi, K., Abdi, N., Maazaoui, H., Hmissi, I., Bouraoui, M. & Sifi, B. (2016). Physiological and morphological characteristics of pea (*Pisum sativum* L.) seeds under salt stress. *Journal of new sciences*, 28(1), 1559-1565. <https://www.jnsciences.org/agri-biotech/36-volume-28/148-physiological-and-morphological-characteristics-of-pea-pisum-sativum-l-seeds-under-salt-stress.html>
- Padilla, L. G. & Zurita, J. H. (2015). Assessment of wax coatings in postharvest preservation of the pea (*Pisum sativum* L.) var. Santa Isabel. *Agrono-*

- mía Colombiana*, 33(1), 84-91. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n1.44543>.
- Reed, R. C., Bradford, K. J. & Khanday, I. (2022). Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, 128, 450-459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>
- Ribalta, F. M., Pazos-Navarro, M., Edwards, K., Ross, J. J., Croser, J. S. & Ochatt, S. J. (2019) Expression Patterns of Key Hormones Related to Pea (*Pisum sativum* L.) Embryo Physiological Maturity Shift in Response to Accelerated Growth Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1154. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01154>
- Singh, S., Lal, G. M., Bara, B. M. & Mishra, S. N. (2017). Effect of hydro-priming and osmopriming on seed vigour and germination of Pea (*Pisum sativum* L.) seeds. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(3), 820-824. <https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue3/PartM/6-3-164-770.pdf>
- Thakare, U., Patil, N. & Malpathak, N. (2011). Performance of chick pea under the influence of gibberellic acid and oxygenated peptone during germination. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 2, 40-45. <http://dx.doi.org/10.4236/abb.2011.21007>
- Teixeira, M. P., Campos, C. N. S., Prado, R., Caione, G., Mingotte, F. L. y Agostinho, F. B. (2017). Secado de tejido de plantas con microondas para el análisis nutricional en *Corymbia citriodora* (Hook.) y *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. *Agrociencia*, 51(5), 555-560. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30252307006.pdf>
- Tsegay, B. A. & Andargie, M. (2018). Seed Priming with gibberellic acid (GA₃) alleviates salinity induced inhibition of germination and seedling growth of *Zea mays* L., *Pisum sativum* Var. *abyssinicum* A. Braun and *Lathyrus sativus* L. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 21(3), 261-267. <https://doi.org/10.1007/s12892-018-0043-0>
- Ubeda-Tomás, S., Swarup, R., Coates, J., Swarup, K., Laplaze, L., Beemster, G. T. S., Hedden, P., Bhalerao, R. & Bennett, M. J. (2008). Root growth in Arabidopsis requires gibberellin/DELLA signalling in the endodermis. *Nature Cell Biology*, 10(5), 625-628. <https://doi.org/10.1038/ncb1726>
- Wang, G. L., Que, F., Xu, Z. S., Wang, F. & Xiong, A. S. (2015). Exogenous gibberellin altered morphology, anatomic and transcriptional regulatory networks of hormones in carrot root and shoot. *BMC Plant Biology*, 15, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0679-y>
- Xia, J., Hao, X., Wang, T., Li, H., Shi, X., Liu, Y. & Luo, H. (2022). Seed priming with gibberellin regulates the germination of cotton seeds under low temperature conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10549-2>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.

