

Respuesta germinativa de *Phaseolus vulgaris* var. Velazco. en condiciones de estrés salino

Maryla Sosa del Castillo¹, Iris Mercedes Pintado Álvarez², Conrado Camacho Campos³, Yordanys Martínez Dávalos⁴, Daynet Sosa del Castillo⁵ & Yunel Pérez Hernández⁶

¹ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4591-8507>, Universidad de Matanzas, Centro de Estudios Biotecnológicos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuba, ²ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7131-2963> Universidad de Matanzas, Centro de Estudios Biotecnológicos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuba, ³ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1675-1402>, Universidad de Matanzas, Centro de Estudios Biotecnológicos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuba,

⁴ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5561-673X>, Universidad de Matanzas, Centro de Estudios Biotecnológicos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuba, ⁵ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5403-9072>, Escuela Superior Politécnica del Litoral, SPOL, Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil P.O. Box 09-01-5863, Ecuador, ⁶ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7245-5632>, Universidad de Matanzas, Centro de Estudios Biotecnológicos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuba.

Citación: Sosa del Castillo, M., Pintado Álvarez, I. M., Camacho Campos, C., Martínez Dávalos, Y., Sosa del Castillo, D., & Pérez Hernández, Y. (2025). Respuesta germinativa de *Phaseolus vulgaris* var. Velazco. en condiciones de estrés salino. *Agrisost*, 31, 1-10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18404172>

Recibido: 12 de abril de 2024

Aceptado: 26 de septiembre de 2025

Publicado: 16 de diciembre de 2025

Financiamiento: no se declara.

Conflictos de interés: no se declaran.

Correo electrónico: yunel.perez@umcc.cu

Resumen

Contexto: La salinidad de los suelos constituye uno de los estreses abióticos más importantes que afecta el crecimiento y el desarrollo de los cultivos, en especial durante la etapa de germinación, donde la planta es más vulnerable.

Objetivo: El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la respuesta de *Phaseolus vulgaris* L. var. Velazco durante el proceso de germinación en condiciones de estrés salino.

Métodos: Las semillas se sembraron en placas Petri con diferentes soluciones de cloruro de sodio (0-200 mmol L⁻¹) durante siete días. Se evaluaron los indicadores porcentaje de germinación, valor de germinación, longitud de la raíz e hipocótilo, número de raíces secundarias, peso fresco y seco de raíces e hipocótilo, el contenido de proteínas solubles totales y de azúcares reductores. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro réplicas por tratamiento.

Resultados: Las concentraciones elevadas de cloruro de sodio afectaron el porcentaje de germinación, el crecimiento de la raíz, del hipocótilo y la velocidad de germinación. La parte aérea mostró una mayor sensibilidad al estrés salino que la raíz con relación al peso fresco y seco. El contenido de azúcares reductores fue superior en los tratamientos 150, 175, 200 mmol L⁻¹ de la sal con relación al control, mientras que los valores más elevados de proteínas solubles se obtuvieron en los tratamientos con 75 y 100 mmol L⁻¹ de NaCl.

Conclusiones: Los resultados obtenidos indican posibles mecanismos de osmoprotección en esta variedad para reducir el efecto negativo del estrés salino en el proceso de germinación y crecimiento temprano de las plántulas, y mantener el funcionamiento de los procesos metabólicos y la homeostasis celular.

Palabras clave: azúcares reductores, bioquímica, frijol, salinidad.

Germination response of *Phaseolus vulgaris* var. Velazco under salt stress conditions

Abstract

Context: Soil salinity is one of the most important abiotic stresses that affect growth and development of crops, especially during the germination stage where seedling is more vulnerable.

Aim: The aim of the present work was to evaluate the response of *Phaseolus vulgaris* L. var. velazco during the germination process under saline stress conditions.

Methods: Seeds were placed in Petri dishes with different solutions of sodium chloride (0-200 mmol L⁻¹) for seven days. The percentage and value of germination, length of root and hypocotyl, number of secondary roots, fresh and dry weight of roots and hypocotyls, as well as content of total soluble proteins and reducing sugars were evaluated. A randomized completely design was performance with four replications.

Results: The high concentrations of sodium chloride affected the percentage of germination, length of root and hypocotyl and germination speed. Based on fresh and dry matter content, the aerial part showed a higher susceptibility to salt stress in comparison with the roots. The concentration of reducing sugar in the treatments 150, 175 and 200 mmol L⁻¹ NaCl was higher than the control, whereas the higher values of soluble proteins were obtained in 75 and 100 mmol L⁻¹ NaCl.

Conclusions: The results indicated the presence of possible mechanisms of osmoprotection to reduce the negative effect of saline stress on germination and early growth stages of plantlets, and to maintain the functioning of metabolic processes and cellular homeostasis.

Key words: biochemistry, common beans, reducing sugar, salinity.

Introducción

La salinización de los suelos constituye uno de los estreses ambientales más comunes e importantes que, a nivel mundial, afectan el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de los cultivos (Gupta et al., 2021). Este fenómeno representa un problema para el desarrollo de la agricultura, la cual tiene el reto de alimentar una población que continua en aumento y se espera que alcance una cifra de 2,3 mil millones de personas para el año 2050 (Anwar & Kim, 2020).

En la actualidad, aproximadamente 1 125 millones de hectáreas de tierras cultivables están afectadas por este estrés abiótico, y se espera que aumente este porcentaje en los próximos años, debido a procesos como la industrialización, la sobrefertilización, el uso de agua de baja calidad para el riego, así como otras causas naturales como la intrusión de sales en zonas costeras debido al aumento del nivel del mar (Anwar & Kim, 2020; Saima et al., 2022).

El estrés salino afecta negativamente todas las etapas del ciclo de vida de los cultivos, en especial la germinación donde la plántula es más vulnerable (Dehnavi et al., 2020). Esto dificulta el establecimiento del vegetal y en consecuencia reduce su potencial productivo (El-Bastawisy et al., 2018; Polash et al., 2019). A nivel bioquímico y fisiológico, las concentraciones elevadas de iones en el medio reducen el potencial hídrico de la planta, inducen la toxicidad iónica, el estrés oxidativo y el desbalance nutricional (Singh et al., 2018). Estos cambios disminuyen otros procesos vitales como la fotosíntesis, la respiración y la absorción de minerales, lo cual afecta la homeostasis celular y el crecimiento y desarrollo de las plantas (Hnilickova et al., 2021; Aslam et al., 2023).

La búsqueda o desarrollo de nuevos cultivares tolerantes a salinidad, a través de programas de mejoramiento genético por selección convencional, constituye una de las estrategias sostenibles para reducir el impacto de este estrés sobre la productividad de los cultivos; y a su vez, se logra un aprovechamiento óptimo de los recursos agua, suelo y planta (Ceritoğlu et al., 2020). Como resultado, existe un aumento en el número de investigaciones

relacionadas con el estudio de los indicadores y los mecanismos fisiológicos y bioquímicos de tolerancia a estrés salino, durante las etapas de germinación y crecimiento temprano de los cultivos. Estos indicadores constituyen criterios importantes para la selección de variedades o genotipos tolerantes a salinidad (Sagar et al., 2019). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta de *Phaseolus vulgaris* L. var. velazco durante el proceso germinativo en condiciones de estrés salino.

Materiales y Métodos

Material vegetal

Se utilizaron semillas certificadas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Velazco suministradas por la Empresa Provincial de Semillas, del municipio Jovellanos, provincia de Matanzas, Cuba.

Prueba de germinación

Se colocaron 10 semillas en placas Petri de 5 cm de diámetro sobre papel de filtro humedecido con diferentes concentraciones de cloruro de sodio (0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 y 200 mmol L⁻¹), en una proporción de tres veces el peso del sustrato seco (ISTA, 2010). Se realizaron cuatro réplicas por tratamiento y las placas se colocaron en un cuarto de crecimiento a una temperatura de 25 ± 2°C, con un fotoperíodo de 16 h (35 µmol m⁻² s⁻¹). El proceso de germinación se evaluó diariamente durante siete días y los resultados se expresaron en porcentaje de plántulas normales.

Valor de germinación (VG)

Se determinó según la fórmula de Djavanshir & Pourbeik (1976) a partir de la cantidad diaria de semillas germinadas, no germinadas y podridas en los diferentes tratamientos.

$$VG = (\sum_{i=1}^n Vedi) \left(\frac{Ef}{10N} \right)$$

Donde,

Ved = velocidad de emergencia diaria, calculada como el porcentaje de la emergencia acumulada entre el número de días desde el inicio de la prueba.

N = frecuencia o número de Ved calculada durante la prueba.

Ef = porcentaje de la emergencia de plántulas al final de los siete días de la prueba.

Emergencia pico

La emergencia pico (EP) se determinó mediante el porcentaje máximo de emergencia en un mismo día (Murillo, 1998).

Indicadores morfológicos

Se determinó la longitud de la raíz y del epicótilo de las plántulas con el uso de un papel milimetrado y los valores se expresaron en centímetros. Se evaluó el peso fresco y seco de la raíz y del hipocótilo con el uso de una balanza digital Sartorius. Para determinar el contenido de materia seca se deshidrataron los órganos de las plántulas en una estufa (Boxun®) a 60°C hasta obtener valores constantes de peso seco. El número de raíces laterales se determinó por conteo directo.

Indicadores bioquímicos

La extracción y cuantificación de proteínas solubles y azúcares reductores se realizó mediante la maceración en frío de las raíces y la parte aérea de las plántulas, en una solución tampón de fosfato de sodio 50 mmol L⁻¹, pH 7,0 y en una proporción 1:10 (p/v). El homogenizado se centrifugó a 10 000 rpm y se colectó el sobrenadante, el cual se conservó a -20°C hasta el momento de las determinaciones bioquímicas.

Contenido de proteínas solubles totales

La concentración de proteínas se determinó de forma colorimétrica con el uso de albúmina de suero bovino (BSA) como patrón (Lowry et al., 1951). Los valores de absorbancia se obtuvieron a 750 nm y las concentraciones se determinaron mediante una curva patrón y se expresaron en mg mL⁻¹.

Contenido de azúcares reductores

Se determinó por el método del ácido dinitrosalisílico y se empleó la D-glucosa (Sigma) como azúcar patrón (Miller, 1959). Los valores de absorbancia se obtuvieron a una longitud de onda de 456 nm y las concentraciones (mg mL⁻¹) se calcularon a partir de la curva patrón. Todas las mediciones espectrofotométricas descritas se realizaron en un espectrofotómetro UV/VIS Ultrospec 2000 (Pharmacia Biotech, Suecia).

Análisis estadístico

Los ensayos se desarrollaron según un diseño completamente aleatorizado. Para los análisis bioquímicos se tomaron cinco muestras por tratamientos, mientras que para la evaluación de parámetros morfológicos y fisiológicos se analizaron 10 plántulas seleccionadas de manera aleatoria. Los datos se procesaron con el programa Statgraphic plus

5.1 sobre Windows. Se determinó el ajuste de los datos a una Distribución Normal mediante la prueba de Bondad de Ajuste Kolmogorov-Smirnov y la Homogeneidad de Varianza mediante las Pruebas de Bartlett. Se realizó una Análisis de Varianza Simple y la Prueba de Rangos Múltiples de Tukey ($P<0,05$) para la comparación entre las medias.

Resultados y discusión

Porcentaje de germinación

La Figura 1 muestra el efecto del cloruro de sodio sobre el porcentaje de germinación de *Phaseolus vulgaris* L. var. velazco durante los 7 días de ensayo. En los tratamientos 0 (control), 25, 50, 75 y 100 mmol L⁻¹ se obtuvo un 100% de germinación al finalizar el experimento, mientras que los porcentajes más bajos se observaron en 175 mmol L⁻¹ (82,5%) y 200 mmol L⁻¹ (80,0%) de la sal.

El efecto negativo del cloruro de sodio sobre el proceso de germinación también fue referido en distintas especies de leguminosas como *Phaseolus vulgaris* L. (Can-Chulim et al., 2017; Yu et al., 2019; Al-huraby & Bafeel, 2022), *Lens culinaris* Medik (Das & Rafiqul-Islam, 2018) y *Cicer arietinum* L. (Shtaya et al., 2021). Los resultados obtenidos coinciden con los observados por Mena et al. (2015) en *Phaseolus vulgaris* L. var. ICA Pijao, donde se obtuvo una estabilidad en los porcentajes de germinación entre los tratamientos 0 y 150 mmol L⁻¹ de NaCl. Sin embargo, en 200 mmol L⁻¹ de la sal esta variedad mostró una mayor susceptibilidad con un porcentaje de germinación del 40%, en comparación con la variedad “velazco” investigada (80%).

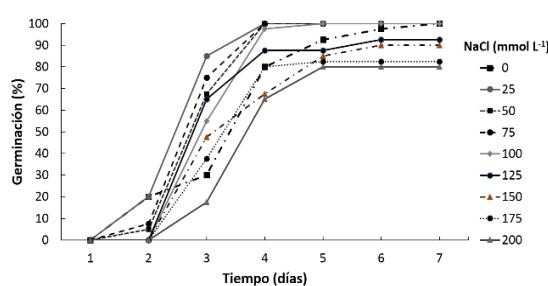


Fig. 1. Porcentaje de germinación de semillas de *Phaseolus vulgaris* L. var. velazco en presencia de diferentes concentraciones de cloruro de sodio.

El efecto del estrés salino sobre el porcentaje de germinación puede estar asociado primariamente con una reducción del potencial osmótico e hídrico, debido a la presencia de iones Na^+ y Cl^- disueltos del medio (Zhao et al., 2021). Esto afecta el proceso de imbibición de la semilla y, en consecuencia, la activación de los procesos metabólicos en el embrión (Can-Chulim et al., 2017). La absorción de agua es indispensable para mantener una presión de turgencia adecuada en las células del vegetal, que permite el alargamiento celular y el crecimiento de la radícula del embrión (Taiz & Zeiger, 2010).

Emergencia pico, valor de germinación y número de raíces laterales

Los valores de emergencia pico, el valor de germinación y el número de raíces laterales en los distintos tratamientos se observan en la Tabla I. Las concentraciones elevadas de NaCl provocaron un retardo en la germinación de *Phaseolus vulgaris* L. var. Velazco. En los tratamientos 0 – 150 mmol L⁻¹, la emergencia pico más elevada se observó en el tercer día del ensayo, mientras que en las concentraciones más elevadas (175 y 200 mmol L⁻¹) de la sal, la emergencia pico se obtuvo al cuarto día.

El valor de germinación mostró valores similares entre el control y los tratamientos hasta 150 mmol L⁻¹ de NaCl, mientras que en concentraciones superiores de la sal se observó una disminución de este indicador con relación al control. Por otra parte, la presencia de cloruro de sodio en concentraciones elevadas disminuyó el número de raíces secundarias. Los valores más elevados se obtuvieron en el tratamiento 50 mmol L⁻¹, superior al resto de los tratamientos; mientras que los más bajos se observaron en 175 y 200 mmol L⁻¹, con diferencias estadísticas con respecto al control y al resto de los tratamientos.

Tabla 1. Día de emergencia pico, valor de germinación y número de raíces laterales en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Velazco germinadas en presencia de cloruro de sodio

NaCl (mmol L ⁻¹)	EP	VG ± EE	RL ± EE
0	3	1,60 ^a ± 0,11	9,8 ^b ± 0,90
25	3	1,44 ^{ab} ± 0,10	12,2 ^b ± 1,25
50	3	1,47 ^{ab} ± 0,09	18,0 ^a ± 2,01
75	3	1,42 ^{ab} ± 0,07	8,8 ^{bc} ± 0,46
100	3	1,39 ^{ab} ± 0,09	8,4 ^{bc} ± 0,53
125	3	1,33 ^{ab} ± 0,11	8,8 ^{bc} ± 0,86
150	3	1,26 ^{ab} ± 0,09	7,3 ^c ± 0,31
175	4	0,84 ^b ± 0,08	5,8 ^d ± 0,35
200	4	0,81 ^b ± 0,04	5,2 ^d ± 0,32

Subíndices con letras diferentes indican diferencias significativas según Prueba de Rangos Múltiples de Tukey ($P<0,05$).

La disminución en la velocidad de germinación y el vigor de las plántulas en presencia de cloruro de sodio, también se describió en otras leguminosas como *Phaseolus vulgaris* cv. Akman-98 y Karaman-2016 (Cavusoglu, 2023), *Cicer arietinum* L. (Navyashree et al., 2023), *Vicia faba* L. (Yadav et al., 2021) y *Pisum vulgaris* L. (Ehtaiwwesh & Emsahel, 2020).

Este resultado puede estar relacionado con el impacto negativo que tiene el estrés osmótico sobre la velocidad de germinación (Bagum et al., 2017). En condiciones de estrés salino también puede aumentar la síntesis de ácido abscísico en los tejidos del embrión. Esta fitohormona inhibe la expresión de enzimas hidrolíticas como la α -amilasa (inducida por

el ácido giberélico), la cual hidroliza el almidón en glucosa para su uso en el metabolismo energético y otras rutas biosintéticas (Taiz & Zeiger, 2010; Al-huraby & Bafeel, 2022).

Por otra parte, Xiong & Zhu (2002) indicaron que, en condiciones de salinidad, se reduce la eficiencia en la traslocación y la asimilación de las reservas almacenadas en las semillas hacia las estructuras del vegetal, lo cual disminuye el crecimiento de las raíces y del brote en las plántulas estresadas. El estrés salino también induce otros fenómenos en los órganos del vegetal que afectan el proceso de germinación, como la toxicidad iónica asociada a la entrada excesiva de iones Na⁺ y Cl⁻ a los tejidos de la plántula (Polash et al., 2019). El contenido elevado de iones Na⁺ reduce el potencial hídrico en el citoplasma de las células lo cual afecta el ambiente hidrofílico alrededor de las proteínas, y conlleva a cambios conformacionales en las mismas que disminuyen la actividad catalítica de enzimas hidrolíticas importantes (Anwar et al., 2022).

En condiciones de salinidad puede ocurrir un desbalance nutricional en los tejidos del vegetal, asociado a una disminución en las proporciones K⁺/Na⁺ en el interior de las células. La interferencia en la absorción de iones K⁺ puede desencadenar trastornos metabólicos en la plántula, debido a la participación de este elemento como cofactor en numerosas reacciones metabólicas (Polash et al., 2019).

Otro factor que puede incidir en estos resultados es el aumento en la concentración de especies reactivas del oxígeno (ERO), que se exacerbán en condiciones de estrés osmótico y provocan un estado de estrés oxidativo que afecta el metabolismo celular (Anwar et al., 2022). Las ERO, en particular el potente anión hidroxilo (OH⁻), oxidan macromoléculas importantes como proteínas, ácidos nucleicos y lípidos de membrana, lo cual afecta la estructura y función de estos compuestos esenciales en el metabolismo de la planta (Sun et al., 2021).

Los cambios conformacionales que ocurren en las enzimas por acción de las ERO reducen la actividad catalítica de las mismas y consecuencia, se afectan procesos como la respiración celular y la disponibilidad de energía metabólica. Esto se debe no solo a la acción directa de las ERO sobre la estructura de estos polipéptidos, sino también a su efecto negativo sobre la integridad y la funcionalidad de las membranas biológicas donde ocurren la respiración celular y otros procesos biológicos (Kaur et al., 2017).

El aumento significativo en el número de raíces laterales en 50 mmol L⁻¹ de la sal, puede estar relacionado con un aumento en la expresión de genes asociados con la biosíntesis de auxinas y rutas bioquímicas de señalización. Estos reguladores del crecimiento tienen una función importante no solo en el alargamiento celular, sino también en la inducción

de esbozo radicular (Liu & von Wirén, 2022) y se sugiere su participación en mecanismos de tolerancia al estrés salino (Sun et al., 2018; Anwar et al., 2022).

La disminución en el número de raíces laterales en concentraciones elevadas de cloruro de sodio, puede ser consecuencia del estrés osmótico que impone el medio sobre las raíces, lo cual induce la síntesis de ácido abscísico en la zona radicular y disminuye el contenido de ácido indolacético lo que afecta la formación y el crecimiento de las raíces (Akhiyarova et al., 2023).

Longitud de raíz e hipocótilo

El cloruro de sodio afectó la longitud de la raíz y del hipocótilo (Tabla II). La longitud de la raíz mostró valores similares en los tratamientos control, 25, 50 y 75 mmol L⁻¹ y disminuyó en concentraciones más elevadas de la sal.

Tabla 2. Longitud de raíz e hipocótilo de plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Velazco germinadas en presencia de cloruro de sodio. LR: Longitud de la raíz, LH: longitud del hipocótilo

NaCl (mmol L ⁻¹)	LR (cm) ± EE	LH (cm) ± EE
0	11,41 ^a ± 0,59	1,70 ^a ± 0,22
25	10,96 ^{ab} ± 1,09	1,68 ^a ± 0,16
50	8,84 ^{abc} ± 1,22	1,53 ^{ab} ± 0,20
75	8,86 ^{abc} ± 0,62	1,45 ^{ab} ± 0,12
100	6,81 ^{cd} ± 0,51	1,18 ^{bc} ± 0,11
125	3,96 ^{de} ± 0,60	1,04 ^{cd} ± 0,15
150	2,62 ^e ± 0,31	0,73 ^{cd} ± 0,07
175	2,13 ^e ± 0,24	0,75 ^{cd} ± 0,06
200	1,75 ^e ± 0,08	0,53 ^d ± 0,05

Subíndices con letras diferentes indican diferencias significativas según Prueba de Rangos Múltiples de Tukey (P<0,05).

De manera similar, no hubo diferencias en la longitud del hipocótilo entre el control y las concentraciones entre 25 y 75 mmol L⁻¹ de NaCl, mientras que en 100 mmol L⁻¹ disminuyó con relación al control y 25 mmol L⁻¹. Los valores más bajos se obtuvieron en los tratamientos con las concentraciones más elevadas de la sal.

El efecto negativo del cloruro de sodio sobre el crecimiento de la raíz y el hipocótilo fue referido por otros autores en leguminosas como *Phaseolus vulgaris* L. (Can-Chulim et al., 2017), *Vicia faba* L. (El-Bastawisy et al., 2018), *Cicer arietinum* L. (Shtaya et al., 2021) y en otras plantas no leguminosas como *Zea mays* L. (Bagum et al., 2017) e *Ipomoea aquatica* Forsk (Ibrahim et al., 2019).

Al comparar los resultados obtenidos con los observados por Mena et al. (2015) en *Phaseolus vulgaris* L. cv. ICA Piajo, se evidenció una mayor susceptibilidad de esta variedad con relación a la variedad “Velazco”, ya que en 50 mmol L⁻¹ de la sal,

la variedad ICA Piajo disminuyó significativamente la longitud de la raíz y la parte aérea con relación a las plántulas control germinadas en presencia de agua destilada. Esto indica que la tolerancia a este estrés depende de las variaciones genotípicas existentes en el genofondo de *P. vulgaris* y de otros cultivos (Dehnavi et al., 2020; Shtaya et al., 2021), así como de la intensidad y duración del estrés (Safdar et al., 2019).

Las Tablas III y IV muestran los resultados del peso fresco y seco de las raíces e hipocótilos de las plántulas sometidas a estrés salino, respectivamente. El peso fresco en las raíces fue similar en los tratamientos entre 0 y 125 mmol L⁻¹ de la sal y disminuyó significativamente en las concentraciones 150, 175 y 200 mmol L⁻¹. El hipocótilo mostró una mayor susceptibilidad al estrés salino con relación a la raíz. Entre 0 y 25 mmol L⁻¹ no se observaron diferencias; sin embargo, a partir de 50 mmol L⁻¹ de la sal se observó una disminución de este indicador con respecto al control.

El peso seco en la raíz mostró una respuesta similar entre el control y los tratamientos con cloruro de sodio hasta 125 mmol L⁻¹. En concentraciones más elevadas de la sal se obtuvieron valores inferiores sin diferencias entre estos tratamientos. El hipocótilo también resultó ser el órgano más afectado en presencia de cloruro de sodio, ya que en 25 mmol L⁻¹ se observaron valores inferiores al control. En el resto de los tratamientos el peso seco fue similar o inferior a los obtenidos en concentraciones de 0 y 25 mmol L⁻¹.

Tabla 3. Peso fresco de raíz e hipocótilo de plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. velazco germinadas en presencia de cloruro de sodio. PF: peso fresco.

NaCl (mmol L ⁻¹)	PF Raíz (g) ± EE	PF Hipocótilo (g) ± EE
0	0,148 ^{ab} ± 0,012	0,252 ^{ab} ± 0,01
25	0,183 ^a ± 0,013	0,280 ^a ± 0,008
50	0,153 ^{ab} ± 0,009	0,215 ^b ± 0,008
75	0,159 ^{ab} ± 0,011	0,141 ^c ± 0,017
100	0,155 ^{ab} ± 0,004	0,125 ^c ± 0,025
125	0,123 ^{bc} ± 0,012	0,111 ^c ± 0,019
150	0,086 ^c ± 0,013	0,094 ^c ± 0,033
175	0,083 ^c ± 0,006	0,088 ^c ± 0,003
200	0,070 ^c ± 0,003	0,086 ^c ± 0,012

Subíndices con letras diferentes indican diferencias significativas según Prueba de Rangos Múltiples de Tukey (P<0,05).

De manera general, el hipocótilo mostró una mayor sensibilidad al cloruro de sodio con relación al peso fresco y seco de ambos órganos, lo cual puede estar relacionado con el movimiento de iones desde la raíz hacia las estructuras superiores donde el efecto tóxico de los mismos afecta el metabolismo celular.

Tabla 4. Peso seco de raíz e hipocótilo de plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. velazco germinadas en presencia de cloruro de sodio. PS: peso seco

NaCl (mmol L ⁻¹)	PS Raíz (g) ± EE	PS Hipocótilo (g) ± EE
0	0,100 ^a ± 0,008	0,067 ^a ± 0,002
25	0,117 ^a ± 0,009	0,056 ^b ± 0,002
50	0,103 ^a ± 0,006	0,044 ^c ± 0,006
75	0,102 ^a ± 0,005	0,037 ^c ± 0,004
100	0,101 ^a ± 0,010	0,042 ^c ± 0,008
125	0,093 ^a ± 0,009	0,036 ^c ± 0,005
150	0,052 ^b ± 0,008	0,034 ^c ± 0,002
175	0,048 ^b ± 0,003	0,035 ^c ± 0,002
200	0,041 ^b ± 0,003	0,034 ^c ± 0,003

Subíndices con letras diferentes indican diferencias significativas según Prueba de Rangos Múltiples de Tukey ($P<0,05$).

Estos resultados están en correspondencia con los obtenidos en cultivos como *Phaseolus vulgaris* L. (Yu et al., 2019), *Triticum aestivum* L. (Öner & Kirli, 2018) y *Abelmoschus esculentus* L. (Saima et al., 2022), donde se observó una disminución del peso fresco y seco en plántulas sometidas a estrés salino.

La estabilidad observada en el peso fresco y seco de la raíz hasta 125 mmol L⁻¹ de cloruro de sodio, sugiere la presencia de mecanismos de tolerancia en esta variedad, que contribuyen a mantener la actividad metabólica en este órgano que es el más afectado, al estar en contacto directo con el medio estresante. En un estudio realizado con distintas variedades y líneas de arroz (*Oryza sativa* L.), la variedad tolerante Pokkali mostró los valores de peso seco más elevados en comparación con las variedades susceptibles IR5040 y OM7347 (Sen et al., 2017). Este resultado es importante ya que la tolerancia a la salinidad en la etapa de germinación determina la implantación rápida del cultivo y representa una ventaja competitiva para el crecimiento y la productividad del mismo (Can-Chulim et al., 2017).

Contenido de azúcares reductores y proteínas solubles totales

El contenido de azúcares reductores y proteínas solubles totales en las plántulas sometidas a estrés salino se muestra en la Tabla V. Los contenidos más elevados de azúcares reductores se obtuvieron en 150 mmol L⁻¹ de la sal, seguido de los tratamientos 175 y 200 mmol L⁻¹. Los valores más bajos se observaron en las concentraciones 75 y 100 mmol L⁻¹, en ese orden.

Con relación al contenido de proteínas solubles totales, las concentraciones más elevadas se obtuvieron en 100 y 125 mmol L⁻¹ de NaCl, seguido del tratamiento con 75 mmol L⁻¹ (Tabla 5). Los valores más bajos se obtuvieron en las concentraciones más elevadas de cloruro de sodio (175 y 200 mmol L⁻¹), con valores inferiores al control.

Tabla 5. Contenido de azúcares reductores (AR) y proteínas solubles totales (PST) en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. velazco germinadas en presencia de cloruro de sodio

NaCl (mmol L ⁻¹)	AR (mg mL ⁻¹) ± EE	PST (mg mL ⁻¹) ± EE
0	0,82 ^{cd} ± 0,007	1,54 ^{cd} ± 0,026
25	0,86 ^{cd} ± 0,007	1,63 ^{cd} ± 0,021
50	0,79 ^d ± 0,015	1,71 ^c ± 0,190
75	0,71 ^e ± 0,012	1,87 ^{ab} ± 0,028
100	0,64 ^f ± 0,008	2,08 ^a ± 0,040
125	0,78 ^d ± 0,007	2,06 ^a ± 0,030
150	1,16 ^a ± 0,011	1,75 ^c ± 0,028
175	1,11 ^b ± 0,021	1,47 ^e ± 0,011
200	1,08 ^b ± 0,023	1,39 ^f ± 0,023

Subíndices con letras diferentes indican diferencias significativas según Prueba de Rangos Múltiples de Tukey ($P<0,05$).

Estos resultados coinciden con lo observado por Yu et al. (2019) y Al-huraby & Bafeel (2022) durante el proceso germinativo de *P. vulgaris* en diferentes concentraciones de cloruro de sodio, así como en otras leguminosas como *Medicago ciliaris* L. (Mbarki et al., 2020). Estos autores refirieron un aumento en el contenido de azúcares solubles en las plántulas germinadas en presencia de cloruro de sodio, con relación a las plántulas no estresadas (control).

Estos resultados pueden estar relacionados con un aumento en la solubilidad de los carbohidratos en condiciones de salinidad, según indicaron El-Badri et al. (2021). Sin embargo, también indican la presencia de mecanismos de osmorregulación presente en esta variedad, ya que los azúcares reductores como la glucosa, al igual que otros compuestos como iones (NO₃⁻, SO₄²⁻), prolina, ácidos orgánicos, glicina betaina y aminoácidos libres, pueden aumentar en presencia de estreses abiotícos como la salinidad, para reducir el potencial osmótico e hídrico de las células y mantener la homeostasis celular (Yu et al., 2019).

Estos compuestos osmóticamente activos contribuyen a mantener la presión de turgencia y la entrada de agua a las células, lo que permite un funcionamiento adecuado de los procesos metabólicos (Can-Chulim et al., 2017). Estudios realizados por Parida et al., (2002) demostraron también una correlación positiva entre la acumulación de azúcares reductores y la tolerancia al estrés en plantas transgénicas.

En estudios similares se observó que, si bien el aumento en el contenido de los azúcares puede ser una respuesta osmótica y de resistencia a salinidad, los niveles bajos de azúcares reductores también pueden estimular la síntesis de enzimas antioxidantes. Estos catalizadores tienen funciones esenciales en el sistema de defensa frente al estrés oxidativo que se desarrolla en condiciones de salinidad (Sami et al., 2016). Por ello, es posible que en las concentraciones

de 75 y 100 mmol L⁻¹, donde se obtuvieron los menores contenidos de azúcares reductores, estén operando otros mecanismos de tolerancia.

Las funciones diversas que tienen los azúcares en las plantas (crecimiento y mantenimiento de estructuras, función nutricional, regulación del metabolismo, como respuesta a estreses abióticos) dificultan la comprensión con respecto a las variaciones que se obtienen en condiciones de estrés salino (Harris et al., 2023). Estas sustancias pueden variar en dependencia del órgano, el estadio fenológico y el ambiente. En condiciones de salinidad están implicados en el almacenamiento y metabolismo de carbohidratos, la síntesis de proteínas y la activación del sistema antioxidante (Sami et al., 2016).

Estos resultados están en correspondencia con lo referido por Al-huraby & Bafeel (2022) en plántulas de *P. vulgaris* germinadas en presencia de cloruro de sodio, donde se observó un aumento en el contenido de proteínas solubles en 50 y 100 mmol L⁻¹ de la sal. De manera similar, en concentraciones superiores (150 y 200 mmol L⁻¹) se evidenció una disminución en el contenido proteico. En otros estudios también se observó un aumento en el contenido de proteínas en plántulas de distintas especies como *Sorghum bicolor* L. (Sun et al., 2019) y *Spinacia oleracea* L. (Bano et al., 2021), que germinaron en condiciones de salinidad.

El aumento en el contenido de proteínas solubles puede estar relacionado con un incremento en la biosíntesis de polipéptidos como un mecanismo de defensa antiestrés; ya que las proteínas son compuestos osmóticamente activos que pueden contrarrestar la diferencia de presión osmótica entre el medio y los tejidos de la plántula (Wang et al., 2022). Además, contribuye al recambio celular de proteínas alteradas por el ataque de las especies reactivas del oxígeno.

El aumento en la concentración de proteínas también puede estar asociado con un incremento en la expresión de enzimas antioxidantes que disminuyen la concentración de EROs (Chafán & Causin, 2018), enzimas ATPasas, transportadores de iones y acuaporinas que contribuyen a mantener la homeostasis iónica en las células (Xiong & Zhu, 2002). La disminución en el contenido de proteínas solubles en los tratamientos con concentraciones elevadas de NaCl, puede estar asociada con el efecto tóxico del Na⁺ sobre el proceso de biosíntesis de proteínas (Anwar et al., 2022). El desbalance K⁺/Na⁺ que ocurre en presencia de niveles elevados de NaCl afecta numerosos procesos metabólicos, ya que el K⁺ participa en la activación de más de 50 enzimas y el sodio no puede reemplazar a este elemento en esas funciones (Gu et al., 2016). Además, la síntesis de proteínas requiere de concentraciones elevadas de K⁺ para la unión de los ARNt a los ribosomas, lo cual constituye un paso fundamental durante la traducción de la información genética (Blaha et al., 2000).

Conclusiones

Las concentraciones elevadas de cloruro de sodio tuvieron un impacto negativo en el proceso de germinación y el crecimiento temprano de las plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. velazco. Sin embargo, algunos indicadores importantes como el peso seco y fresco de la raíz, y el aumento en el contenido de azúcares reductores y proteínas solubles en plántulas sometidas a estrés salino, sugiere la presencia de mecanismos bioquímicos de tolerancia a este estrés. Estos contribuyen al ajuste osmótico y al mantenimiento de la homeostasis celular, lo cual permite el funcionamiento adecuado de los procesos metabólicos indispensables para el crecimiento y desarrollo de las plántulas. Estudios posteriores sobre el rendimiento productivo de esta variedad en condiciones de salinidad, contribuirán a esclarecer las potencialidades de la misma para su cultivo en áreas afectadas por salinidad.

Contribución de los autores

Maryla Sosa del Castillo: Diseño, planeación de la investigación, análisis de resultados, redacción del artículo, revisión final.

Iris Mercedes Pintado Martínez: Desarrollo de la parte experimental, análisis de resultados, redacción del artículo, revisión final.

Conrado Camacho Campos: Diseño, planeación de la investigación, análisis de los resultados y revisión final.

Yordanys Martínez Dávalos: Desarrollo de la parte experimental, análisis de resultados.

Daynet Sosa del Castillo: Planeación de la investigación, análisis de los resultados y revisión final.

Yunel Pérez Hernández: Diseño, planeación de la investigación, análisis de los resultados, redacción del artículo y revisión final.

Conflictos de interés

No se declaran conflictos de interés.

Referencias

- Akhiyarova, G., Veselov, D., Ivanov, R., Sharipova, G., Ivanov, I., Dodd, I.C., & Kudoyarova, G. (2023). Root ABA accumulation delays lateral root emergence in osmotically stressed barley plants by decreasing root primordial IAA accumulation. *Int. J. Plant Biol.* 14, 77–90. <https://doi.org/10.3390/ijpb14010007>

- Al-huraby, A.I., & Bafeel, S.O. (2022). The effect of salinity stress on the *Phaseolus vulgaris* L. plant. *African Journal of Biological Sciences*, 4(1), 94–107.

- <https://doi.org/10.33472/AFJBS.4.1.2021.94-107>
- Anwar, A., & Kim, J.K. (2020). Transgenic breeding approaches for improving abiotic stress tolerance: recent progress and future perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 2695, 1-29. <https://doi.org/10.3390/ijms21082695>
- Anwar, A., Zhang, S., He, L., & Gao, J. (2022). Understanding the physiological and molecular mechanism of salinity stress tolerance in plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 50(4), 12959. <https://doi.org/10.15835/nbha50312959>
- Aslam, M.T., Khan, I., Chattha, M.U., Maqbool, R., Ziaulhaq, M., Lihong, W., Usman, S., Rasheed, A., Hassan, M.U., Hashem, M., Rehab, O., Elnour, R.O., Iqbal, M.M., & Arshad, M. (2023). The critical role of nitrogen in plants facing the salinity stress: Review and future prospective and future prospective and future prospective and future prospective. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca journal*, 51(3), 1-37. <https://doi.org/10.15835/nbha51313347>
- Bagum, S.A., Billah, M., Hossain, N., Aktar, S., & Uddin, M.S. (2017). Detection of salt tolerant hybrid maize as germination indices and seedling growth performance. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 23(5), 793–798. <https://www.agrojournal.org/23/05-16.pdf>
- Bano, S., Iqbal, S., Naqvi, B., Abbasi, K., Siddiqui, K., Sattar, H., & Aman, A. (2021). Antioxidant enzymes and germination pattern: upshot of high salinity on soluble protein and average weight of *Spinacia oleracea* (spinach) seedlings. *Asian Food Science Journal*, 20(3), 112-122. <https://doi.org/10.9734/afsj/2021/v20i330283>
- Blaha, G., Stelzl, U., Spahn, C.M., Agrawal, R.K., Frank, J., & Nierhaus, K.H. (2000). Preparation of functional ribosomal complexes and effect of buffer conditions on tRNA positions observed by cryoelectron microscopy. *Methods Enzymol.*, 317, 292–309. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(00\)17021-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(00)17021-1)
- Can-Chulim, A., Cruz-Crespo, E., Ortega-Escobar, H.M., Sánchez-Bernal, E.I., Madueño-Molina, A., Bojórquez-Serrano, J.I., & Mancilla-Villa, O.R. (2017). Respuesta de *Phaseolus vulgaris* a la salinidad generada por NaCl, Na₂SO₄ y NaHCO₃. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1287-1300. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000601287
- Cavusoglu, A. (2023). Salinity stress as an abiotic factor at germination stage on dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. Current Trends in Natural Sciences, 12(23), 17-27. <https://doi.org/10.47068/ctns.2023.v12i23.02>
- Ceritoğlu, M., Erman, M., & Yıldız, F. (2020). Effect of salinity on germination and some agromorphological traits in chickpea seedlings. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4, 82-96. <https://doi.org/10.46291/ISPECJASvol4iss1pp82-96>
- Chaín, J.M., & Causin, H.F. (2018). Germinability and antioxidant metabolism in *Passiflora caerulea* L. seeds exposed to salt stress. *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat.*, 20(1), 23-34. <https://revista.macn.gob.ar/index.php/RevMus/article/view/563/479>
- Das, S.K., & Rafiqul-Islam, A.T.M. (2018). Effects of salinity on germination and seedling growth of lentil (*Lens culinaris* Medik) varieties in Bangladesh. *Barishal University Journal Part 1*, 5(1-2), 141-151. https://www.researchgate.net/publication/338254711_EFFECTS_OF_SALINITY_ON_GERMINATION_AND_SEEDLING_GROWTH_OF_LENTIL_LENS_CULINARIS_MEDIK_VARIETIES_IN_BANGLADESH
- Dehnavi, A.R., Zahedi, M., Ludwiczak, A., Cardenas, S. & Piernik, A. (2020). Effect of salinity on seed germination and seedling development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. *Agronomy*, 10, 859. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060859>
- Djavanshir, K., & Pourbeik, H. (1976). Germination value-a new formula. *Silvae Genetica*, 25, 79-83. https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae_Genetica/1976/Vol._25_Heft_2/5_2_79.pdf
- Ehtaiwwesh, A.F., & Emsahel, M. J. (2020). Impact of salinity stress on germination and growth of pea (*Pisum sativum* L.) plants. Al-Mukhtar Journal of Sciences, 35(2), 146-159. <https://doi.org/10.54172/mjsc.v35i2.319>
- El-Badri, A.M., Batool, M., Mohamed, I., Wang, Z., Khatab, A., Sherif, A., Ahmad, H., Khan, M.N., Hassan, H.M., Elrewainy, I.M., Kuai, J., Zhou, G., & Wang, B. (2021). Antioxidative and metabolic contribution to salinity stress responses in two rapeseed cultivars during the early seedling stage. *Antioxidants*, 10(8), 1227. <https://doi.org/10.3390/antiox10081227>
- El-Bastawisy, Z.M., El-Katony, T.M., & El-Fatah, S.N.A. (2018). Genotypic variability in salt tolerance of *Vicia faba* during germination and early seedling growth. *Journal of King Saud University – Science*, 30(2), 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.04.004>

- Gu, M.F., Li, N., Long, X.H., Brešić, M., Shao, H.B., Li, J., & Mbarki, S. (2016). Accumulation capacity of ions in cabbage (*Brassica oleracea* L.) supplied with sea water. *Plant Soil Environment*, 62(7), 314–320. <https://doi.org/10.17221/771/2015-PSE>
- Gupta, A., Rai, S., Bano, A., Khanam, A., Sharma, V., & Pathak, V. (2021). Comparative evaluation of different salt-tolerant plant growth-promoting bacterial isolates in mitigating the induced adverse effect of salinity in *Pisum sativum*. *Biointerface Res. Appl. Chem.*, 11(5), 13141–13154. <https://doi.org/10.33263/BRIAC115.1314113154>
- Harris, M., Krizaj, C., Ventura, F., & Frezza, D. (2023). Crecimiento e indicadores de tolerancia a la salinidad de verdolaga de invierno (*Claytonia perfoliata* Donn ex Willd.). *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*, 39(1), 45-64. <https://doi.org/10.29393/CHJAA39-5CIMD40005>
- Hnilicková, H., Kraus, K., Vachova, P., & Hnilicka, F. (2021). Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in *Portulaca oleracea* L. *Plants*, 10(845), 1-14. <https://doi.org/10.3390/plants10050845>
- Ibrahim, M.H., Abas, N.A., & Zahra, S.M. (2019). Impact of salinity stress on germination of water spinach (*Ipomoea aquatica*). *Annual Research & Review in Biology*, 31(5), 1-12. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2019/v31i530060>
- International Seed Testing Association (ISTA). (2010). International rules for seed testing, Seed vigor testing. Chapter 15, 1–57.
- Kaur, H., Bhardwaj, R.D., & Grewal, S.K. (2017). Mitigation of salinity-induced oxidative damage in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings by exogenous application of phenolic acids. *Acta Physiol. Plant.*, 39, 221. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2521-7>
- Liu, Y., & von Wirén, N. (2022). Integration of nutrient and water availabilities via auxin into the root developmental program. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 65, 102117. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2021.102117>
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., & Randall, R. (1951). Protein measurement the Folinphenol reagent. *J Biol Chem.*, 193(1), 265-275. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
- Mbarki, S., Skalicky, M., Vachova, P., Hajihashemi, S., Jouini, L., Zivcak, M., Tlustos, P., Brešić, M., Hejnák, V., & Khelil, A.Z. (2020). Comparing salt tolerance at seedling and germination stages in local populations of *Medicago ciliaris* L. to *Medicago intertexta* L. and *Medicago scutellata* L. *Plants*, 9, 526. <https://doi.org/10.3390/plants9040526>
- Mena, E., Leiva, M., Dilhara, E., García, L., Veitia, N., & Cárdenas, R. (2015). Efecto del estrés salino en la germinación y el crecimiento temprano de (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 36(3), 71-74. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24818.09923>
- Miller, G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.*, 31, 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Murillo, O. (1998). Variación en parámetros de germinación de una población natural de *Alnus acuminata* de Guatemala. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*, 19, 4-8. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6916/A7182e.pdf?sequence=1>
- Navyashree, R., Ashvathama, V.H., Kiran, B.O., Rashmi, K., & Spoorthy, V.C. (2023). Effect of salinity stress on seed germination and seedling vigour index in chickpea genotypes. *The Pharma Innovation Journal*, 12(2), 2219-2223. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2023/vol12issue2/PartAA/12-2-188-788.pdf>
- Öner, F., & Kirli, A. (2018). Effects of salt stress on germination and seedling growth of different bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Akademik Ziraat Dergisi*, 7(2), 191-196. <https://doi.org/10.29278/azd.476365>
- Parida, A., Das, A.B., & Das, P. (2002). NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. *Journal of Plant Biology*, 45, 28-36. <https://doi.org/10.1007/BF03030429>
- Polash, M.A.S., Sakil, M.A., & Hossain, M.A. (2019). Plants responses and their physiological and biochemical defense mechanisms against salinity: A review. *Tropical Plant Research*, 6 (2), 250–274. <https://www.tropicalplantresearch.com/archives/2019/vol6issue2/35.pdf>
- Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R.A., Shoukat, A., Hussan, M. U., & Sarwar, M. I. (2019). A. review: Impact of salinity on plant growth. *Nat. Sci.*, 17, 34–40. <https://doi.org/10.7537/marsnsj170119.06>
- Sagar, A., Takkia, J.E., Haque, M.E., Fakir, M.S.A., & Hossain, A.K.M.Z. (2019). Screening of sorghum genotypes for salt-tolerance based on seed germination and seedling stage.

- Fundamental and Applied Agriculture*, 4(1), 735–743. <https://doi.org/10.5455/faa.18483>
- Sami, F., Yusuf, M., Faizan, M., Faraz, A., & Hayat, S. (2016). Role of sugars under abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109, 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.005>
- Sen, T.T.H., Nhi, P.T.P., & Sen, T.T. (2017). Salinity effect at seedling and flowering stages of some rice lines and varieties (*Oryza sativa L.*). *Journal of Agricultural Science and Technology A and B & Hue University Journal of Science*, 7, 32-39. <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2017.10.005S>
- Shtaya, M.J.Y., Al-Fares, H., Qubbaj, T., Abu-Qaoud, H., & Shraim, F. (2021). Influence of salt stress on seed germination and agromorphological traits in chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Legume Research*, 44(12), 1455-1459. <https://doi.org/10.18805/LR-633>
- Singh, M., Singh, A.K., Nehal, N., & Sharma, N. (2018). Effect of proline on germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa L.*) under salt stress. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 2449-2452. <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue1/PartAH/6-6-466-406.pdf>
- Sun, J., He, L., & Li, T. (2019). Response of seedling growth and physiology of *Sorghum bicolor* (L.) Moench to saline-alkali stress. *PLoS ONE* 14(7), e0220340. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220340>
- Sun, L.J., Zhou, J.J., Pan, J.L., Liang, Y.Y., Fang, Z.J., Xie, Y., Yang, H., Gu, H.Y., & Bao, N. (2018). Electrochemical mapping of indole-3-acetic acid and salicylic acid in whole pea seedlings under normal conditions and salinity. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 276, 545-551. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.08.152>
- Sun, Y., Liang, W., Cheng, H., Wang, H., Lv, D., Wang, W., Liang, M., & Miao, C. (2021). NADPH Oxidase-derived ROS promote mitochondrial alkalization under salt stress in *Arabidopsis* root cells. *Plant Signalling and Behaviour*, 16(3), Art. 1856546. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1856546>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology*. (4th Ed.). Sinauer, Sunderland, M. A.
- Wang, D., Gao, Y., Sun, S., Lu, X., Li, Q., Li, L., Wang, K., & Liu, J. (2022). Effects of Salt Stress on the Antioxidant Activity and Malondialdehyde, Solution Protein, Proline, and Chlorophyll Contents of Three *Malus* Species. *Life*, 12(11), 1929. <https://doi.org/10.3390/life12111929>
- Xiong, L., & Zhu, J.K. (2002). Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. *Plant, Cell and Environment*, 25(2), 131–139. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00782.x>
- Yadav, M., Upadhyay, S. K., Singh, R., Kumar, S., Sharma, A.K., Bala, S., Rani, K., & Sehrawat, N. (2021). Effects of salinity stress on seedling growth of local varieties of faba bean (*Vicia faba L.*) from India. *Plant Archives*, 21(Supl. 1), 253 - 259. https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVE_S.2021.v21.S1.042
- Yu, S., Yu, L., Hou, Y., Zhang, Y., Guo, W., & Xue, Y. (2019). Contrasting effects of NaCl and NaHCO₃ stresses on seed germination, seedling growth, photosynthesis, and osmoregulators of the common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Agronomy*, 9(8), 409. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080409>
- Zhao, S., Zhang, Q., Liu, M., Zhou, H., Ma, C., & Wang, P. (2021). Regulation of plant responses to salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 1-16. <https://doi.org/10.3390/ijms22094609>