















ESTUDIO DE LA SENSIBILIDAD DE *CAPSICUM ANNUUM* AL AUMENTO DE LA SALINIDAD DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Study of the sensitivity of *Capsicum annuum* to increased salinity due to climate change

José L. Castillo-Zavala¹, José L. Martínez^{1,2}, José Mostacero-León¹, Anthony J. De La Cruz-Castillo¹, Carlos A. Vásquez-Boyer³, Mónica Palacios-Díaz¹, Jorge Escobar⁴, Juan A. Villacorta-Vásquez⁵, Segundo E. López-Medina¹, Armando E. Gil-Rivero¹, Carlos A. León-Torres¹ & Jesús M. Charcape-Ravelo⁶

Resumen: *Capsicum annuum* “pimiento”, es una hortaliza de importancia nutricional, debido a la presencia de vitaminas, minerales y sus propiedades organolépticas. Las principales zonas productoras de Perú son La Libertad, Lambayeque y Piura; donde se concentra más del 50% de la producción nacional. Sin embargo, uno de los principales problemas para su cultivo es la salinidad, por tanto, se propuso como objetivo determinar la sensibilidad del pimiento ante el incremento en la salinidad. La fase experimental se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional de Trujillo, donde se cultivaron suspensiones celulares a partir de callos, empleando concentraciones crecientes de NaCl (0, 25, 50, 75, 100, 200 y 400 mM, respectivamente), empleando agitador orbital a 130 rpm, considerando las condiciones de 25 °C de temperatura y oscuridad. Se empleó el software estadístico SPSS v.15.0. para el análisis de varianza y comparación de medias. Los resultados evidenciaron la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Por tanto, se concluye que concentraciones superiores de 25 mM NaCl son perjudiciales para el cultivo del pimiento, recomendándose desarrollar nuevas variedades resistentes a la salinidad ante la inclemencia del cambio climático.

Palabras clave: Cambio climático, *Capsicum*, cultivo, salinidad, sodio.

Summary: *Capsicum annuum* “pepper” is a vegetable of nutritional importance due to the presence of vitamins, minerals and its organoleptic properties. The main producing areas in Peru are La Libertad, Lambayeque and Piura, where more than 50% of the national production is concentrated. However, one of the main problems for its cultivation is salinity, therefore, the objective of this research was to determine the sensitivity of pepper to increased salinity. The experimental phase was carried out in the Biotechnology Laboratory of the National University of Trujillo, where cell suspensions were grown from calluses, using increasing concentrations of NaCl (0, 25, 50, 75, 100, 200 and 400 mM, respectively), using an orbital shaker at 130 rpm, considering the conditions of 25 °C temperature and darkness. The statistical software SPSS v.15.0 was used for the analysis of variance and comparison of means. The results showed the existence of significant differences between the treatments. Therefore, it is concluded that concentrations higher than 25 mM NaCl are harmful to pepper cultivation, and it is recommended to develop new varieties resistant to salinity in the face of the inclement weather of climate change.

Key words: *Capsicum*, climate change, crop, salinity, sodium.

¹ Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. E-mail: jlcastilloz@unitru.edu.pe

² Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile. E-mail: joseluis.martinez@usach.cl

³ Facultad de Derecho, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

⁴ Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.

⁵ Facultad de Educación y Ciencias de la Comunicación, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

⁶ Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.

Introducción

En términos generales, el cambio climático provoca alteraciones en los procesos que regulan el sistema Tierra, generando impactos significativos en la agricultura, como sequías, salinización de suelos y pérdida de cultivos (Greenpeace, 2020; Armesto, 2021; FAO, 2022; Pernía *et al.*, 2022; Soto, 2022; Talaverano *et al.*, 2023). Uno de los efectos más preocupantes es la salinización de los suelos, causada principalmente por el exceso de NaCl, lo que reduce el rendimiento agrícola y afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas (Bazán, 2017; Sosa *et al.*, 2017; Oyarzún-Gómez, 2022; Parra *et al.*, 2022; Ninahuaman, 2024).

Diversos estudios han abordado los mecanismos fisiológicos y bioquímicos de respuesta al estrés salino en plantas, identificando estrategias como la exclusión iónica, la compartimentalización de sales y la acumulación de solutos compatibles (Sosa *et al.*, 2017; Aimituma *et al.*, 2023; Ortega-Escobar *et al.*, 2023; Velasco *et al.*, 2023).

En ese contexto, el uso de técnicas biotecnológicas podría tener un papel crucial ante los efectos del cambio climático. Así, los métodos tradicionales para la selección e hibridación de suspensiones celulares, permitirían aprovechar la variación genética que se presenta en un espectro continuo y poder generar una mayor adaptación de las plantas (Ábrego *et al.*, 2014; De la Cruz & González, 2009; Hernández, 2015; Martínez & Prieto, 2021; Barraza *et al.*, 2022; Vázquez *et al.*, 2023). Otra opción es el uso de germoplasma exótico de algunas plantas silvestres con resistencia a la salinidad, emparentadas con especies cultivadas (Infoagro, 2018; Puigdomènech, 2018; Urias-Salazar *et al.*, 2022; Vázquez *et al.*, 2023; Ninahuaman, 2024).

Capsicum annuum “pimiento”, perteneciente a la familia *Solanaceae*, es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial (Serrano & Delicado, 2008; Ruiz Lau *et al.*, 2011; Vázquez-Cruz *et al.*, 2022) y es altamente sensible a la salinidad (Serrano & Delicado, 2008; Di Fabio *et al.*, 2017; López *et al.*, 2021). Investigaciones han demostrado que el estrés salino afecta significativamente su peso fresco,

tasa fotosintética y contenido de clorofila (Butt *et al.*, 2021). Además, se ha evidenciado que la interacción rizosférica puede favorecer su tolerancia a este tipo de estrés (Kumar *et al.*, 2023). Estudios recientes han identificado que ciertas accesiones de *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. y *Capsicum baccatum* L. presentan tolerancia al estrés hídrico, lo que sugiere la existencia de mecanismos genéticos útiles para la mejora de *C. annuum* (Nicho Salas, 2020). La respuesta a esta tolerancia puede deberse a que existen plantas con la capacidad de ser excluyentes de sal, de ser secretoras de sal o diluyentes de sal (Wang *et al.*, 2002).

Spencer *et al.* (2021) afirman que las mutaciones naturales inducen variabilidad genética con baja frecuencia (10^{-5} y 10^{-8}) en plantas cultivadas y Urias *et al.* (2022) demostraron que el uso de mutagénesis inducida con agentes químicos y físicos puede mejorar la tolerancia de callos embriogénicos a condiciones de estrés hídrico y salino. Además, se ha identificado en *Arabidopsis thaliana* y *Oryza sativa* la presencia de genes asociados con la tolerancia al estrés salino, como *Ena1p*, *QTLs* y *OsHKTs*, los cuales podrían servir como base para el mejoramiento genético de *C. annuum* (Roy *et al.*, 2014). Sin embargo, son escasos los estudios sobre la respuesta de las suspensiones celulares de *C. annuum* al estrés salino.

Ante ello, el presente estudio tiene como objetivo determinar la sensibilidad de *C. annuum* al aumento de la salinidad debido al cambio climático, contribuyendo al desarrollo de estrategias biotecnológicas para la selección de genotipos tolerantes.

Material y Métodos

Inducción y cultivo de suspensiones celulares

El cultivo de suspensiones celulares se realizó a partir de callos de cinco semanas obtenidos de explantes de *C. annuum*. En una cámara de flujo laminar, se aislaron porciones de 5 g de callo friable y se colocaron en matraces (Erlenmeyer de 250 ml) con 50 ml de medio MS líquido (Murashige & Skoog, 1962) y suplementado con reguladores del crecimiento: ácido 2,4-diclorofenoxiacético

(2,4-D, 3 mg L⁻¹) y kinetina (0,05 mg L⁻¹). Los matraces se taparon con tres capas de papel de aluminio y se situaron en un agitador orbital a 130 rpm, 25 °C y en oscuridad continua. Posteriormente, se mantuvieron, en estas condiciones, durante un periodo de 21 días. Cada 7 días, los cultivos se repicaron tomando 10 mL de las suspensiones y fueron transferidos a 40 mL de medio fresco (Fig. 1).

Establecimiento de los tratamientos salinos

El contenido de 50 mL de las suspensiones celulares de 7 días se filtró, a través de un papel Millipore de tamaño de poro de 22 µm, en cabina de flujo laminar horizontal y en condiciones de vacío. Luego, se lavaron con un litro de medio MS (sin el agregado de vitaminas y reguladores de crecimiento) en constante agitación suave con una espátula. Las células lavadas se resuspendieron en 100 mL de medio MS líquido suplementado con la concentración de 2,4-D y kinetina descrita anteriormente.

Para la aplicación de los tratamientos, se tomaron alícuotas de 7 mL de las células resuspendidas y se adicionaron 93 mL de medio MS líquido suplementado con concentraciones crecientes de NaCl (0, 25, 50, 75, 100, 200 y 400 mM, respectivamente), en matraces de 250 mL; seguidamente se incubaron en un agitador orbital a 130 rpm a 25 °C de temperatura y en oscuridad continua. En este bioensayo, se realizaron seis réplicas por tratamiento.

Una vez establecidos los tratamientos, se tomaron muestras de 3 mL de cada una de las muestras a los 1, 3, 6, 9 y 15 días. A su vez se determinó la cinética de crecimiento de las suspensiones y evaluando los parámetros de pH, conductividad, peso fresco y seco, en concentraciones crecientes de NaCl (0, 25, 50, 75, 100 y 400 mM) y en un periodo de 1, 3, 6, 9 y 15 días.

Determinación de las cinéticas y parámetros de crecimiento

Para medir la cinética de crecimiento de las suspensiones celulares se tomaron alícuotas de 3mL de cada muestra, en las que se midió el pH y la conductividad. Posteriormente, fueron filtradas (tamaño de poro 1,2 µm) sobre filtros, previamente secados durante 24 horas, en una estufa a 80 °C hasta alcanzar el peso seco constante, empleando una jeringa. La fracción retenida en el filtro se utilizó para la determinación del peso fresco de las muestras. El peso seco se obtuvo a partir de las muestras secadas toda la noche en estufa a 80 °C.

Análisis estadístico

Los valores de pH, conductividad, peso fresco y seco obtenidos, fueron analizados estadísticamente mediante un test de ANOVA y comparación de medias según la prueba de significación de Tukey (p<0,05), usando el software de análisis estadístico SPSS v.15.0.

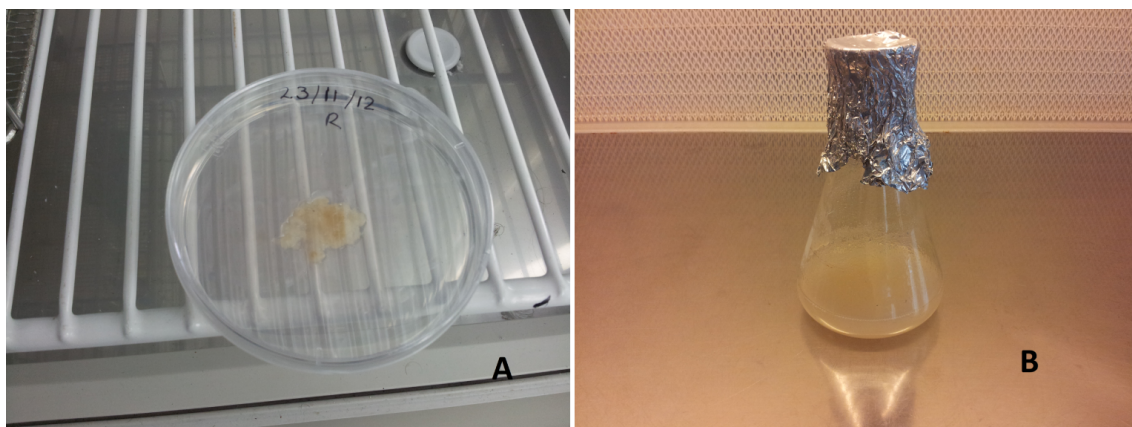


Fig. 1. Inducción y cultivo de suspensiones celulares. A: Callos de *Capsicum annuum*. B: Células en suspensión de *C. annuum* transcurrido 7 días.

Resultados

Peso fresco en suspensiones celulares

El peso fresco de las suspensiones celulares es uno de los parámetros usados comúnmente para el seguimiento de cinéticas de crecimiento. Los resultados del ANOVA de la Tabla 1, muestran que los factores estudiados tienen efectos significativos, tanto los días, la concentración, como la interacción días*concentración, siendo las concentraciones control y 25 mM (NaCl) las que presentan un aumento de peso fresco al final del período experimental (Fig. 2).

Las concentraciones de 50, 75 y 100 mM NaCl no presentaron variaciones en todo el período, mientras que 200 y 400 mM (NaCl) presentaron una tendencia a

Tabla 1. Resultado del ANOVA para el peso fresco en suspensiones celulares de *C. annuum*.

Fuente de variación	g.l.	F	P
Días	4	2,768	0,032
Concentración	6	5,81	0,000
Días * Concentración	24	3,017	0,000

Referencias: g.l.= grados de libertad; F= factor (F de Fisher), P= Prueba de significación $p < 0,05$.

disminuir el peso, aunque esta tendencia no es significativa. Asimismo, no se observan diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los días muestreados, aumentando la variabilidad

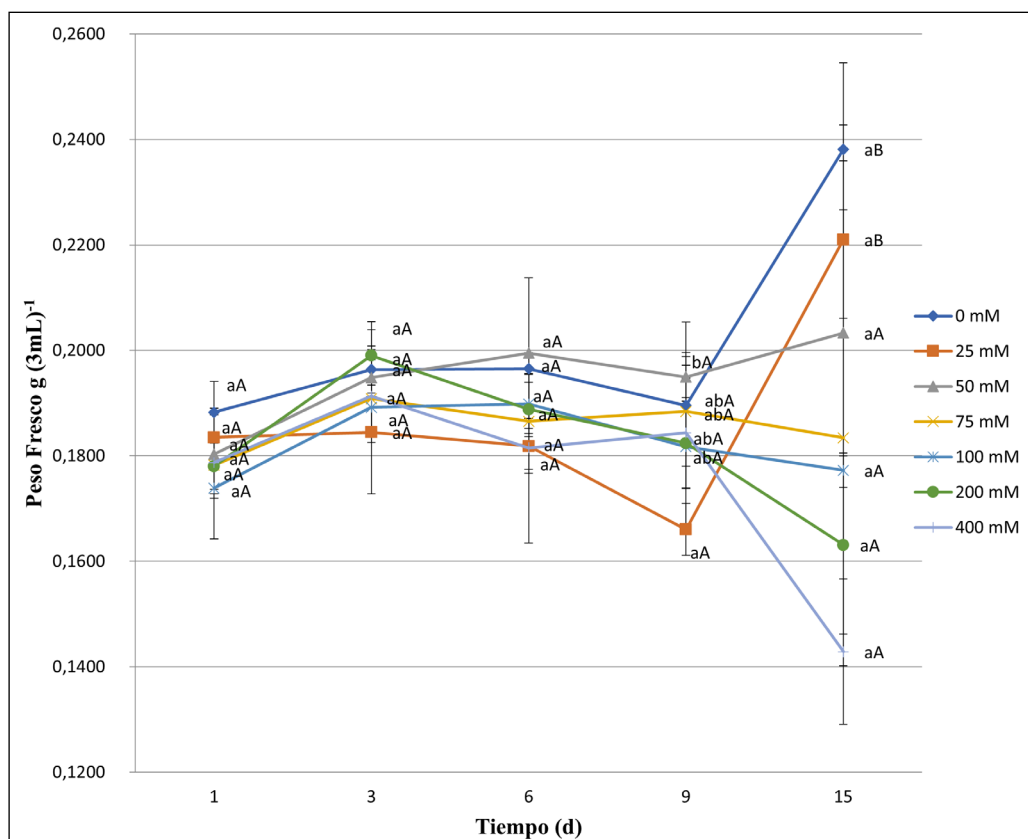


Fig. 2. Peso fresco de las suspensiones celulares de *C. annuum* expuestas a los tratamientos salinos (25, 50, 75, 100, 200 y 400 mM NaCl) y controles (0 mM NaCl) a lo largo del tiempo (1, 3, 6, 9 y 15 días). Los puntos de las líneas representan los valores medios y la desviación estándar. Las letras representan diferencias significativas entre tratamientos (días: letra minúscula y concentración: mayúsculas), $p < 0,005$.

entre las réplicas conforme avanza el tiempo del experimento.

Peso seco en suspensiones celulares

El resultado del ANOVA muestra diferencias significativas en el peso seco de las suspensiones celulares entre los diferentes días y las concentraciones salinas, al igual que ocurre con el peso fresco (Tabla 2).

Como se puede observar en la Fig. 3, el mayor aumento de peso seco se produjo en el tratamiento control en el día 15 (incremento de 0,383 mg con respecto al inicio) siendo esta diferencia de peso significativa en relación a los días precedentes. El tratamiento de 25 mM (NaCl) incrementó 0,07 mg siendo este aumento de peso más gradual que en el caso del control (Fig. 3). El peso seco de las suspensiones expuestas

a los diferentes tratamientos no presentó cambios significativamente en los 1, 3, 6 y 9 días (Fig. 3; letras mayúsculas). Sin embargo, a los 15 días, se produjo un incremento significativo en el peso seco en las concentraciones de NaCl 0 y 25 mM alcanzando unos valores finales de 0,7 y

Tabla 2. Resultado del ANOVA para el peso seco en suspensiones celulares de *C. annum*.

Fuente de variación	g.l.	F	P
Días	4	15,944	0,001
Concentración	6	9,273	8,573E-9
Días * Concentración	24	1,922	0,047

Referencias: g.l.= grados de libertad; F= factor (F de Fisher), P= Prueba de significación p<0,05.

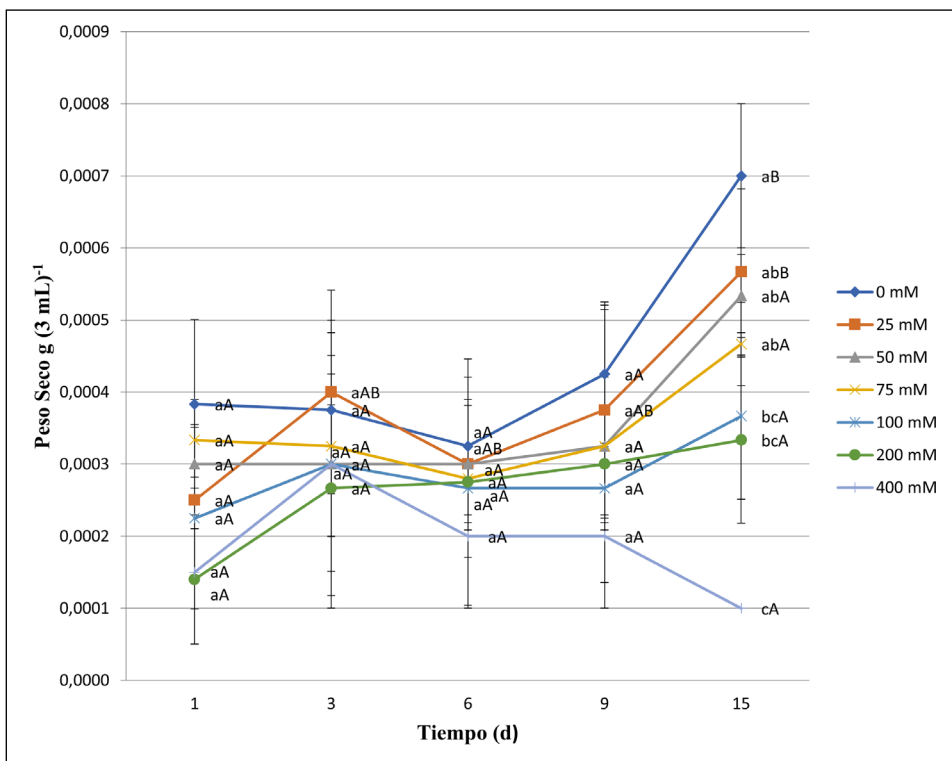


Fig. 3. Peso seco en suspensiones celulares de *C. annum* expuestas a los tratamientos salinos (25, 50, 75, 100, 200 y 400 mM de NaCl) y controles (0 mM NaCl) a lo largo del tiempo (1, 3, 6, 9 y 15 días). Los puntos de las líneas representan los valores medios y la desviación estándar. Las letras representan diferencias significativas entre tratamientos (días: letra minúscula y tratamiento: mayúsculas), p<0,005.

0,567 mg ml⁻¹ respectivamente y, una disminución significativa del peso seco en el tratamiento NaCl 400 mM, registrando un valor de 0,1 gml⁻¹.

Análisis del pH del medio de cultivo de las suspensiones celulares

El análisis de la varianza mostró que existen diferencias significativas

para pH del medio de cultivo en las suspensiones celulares respecto a los días (Tabla 3, p< 0,139). El pH disminuyó significativamente a medida que transcurría el periodo experimental en todos los tratamientos de NaCl (Fig. 4).

Análisis de la conductividad del medio de cultivo de las suspensiones celulares

Por último, los dos factores estudiados, concentración de NaCl y tiempo, así como su interacción afectaron significativamente a la conductividad del medio de cultivo en suspensiones celulares de la variedad estudiada (Tabla 4).

La conductividad de medio de cultivo en las suspensiones celulares de *C. annuum* se mantuvo constante en los diferentes tratamientos salinos, independientemente de la concentración de NaCl utilizada y en el transcurso del tiempo (Fig. 5).

Tabla 3. Resultado de ANOVA medida repetida para el pH del medio de cultivo en suspensiones celulares de *C. annuum*.

Fuente de variación	g.l.	F	P
Concentración	4	6	0,143
Días	4	211,588	3,437E-46
Concentración* Días	24	0,075	0,139

Referencias: g.l.= grados de libertad; F= factor (F de Fisher), P= Prueba de significación p<0,05.

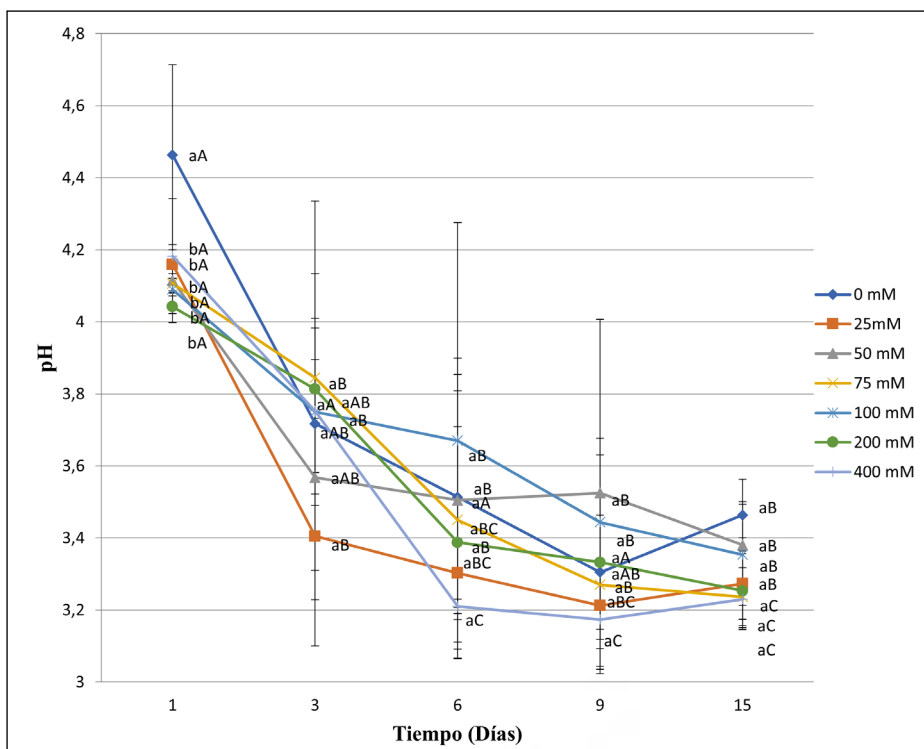


Fig. 4. El pH del medio de cultivo en suspensiones celulares de *C. annuum* expuestas a los tratamientos salinos (25, 50, 75, 100, 200 y 400 mM NaCl) y controles (0 mM NaCl) a lo largo del tiempo (1, 3, 6, 9 y 15 días). Los puntos de las líneas representan los valores medios y la desviación estándar. Las letras representan diferencias significativas entre tratamientos (días: letra minúscula y tratamiento: mayúsculas), p<0,005.

Tabla 4. Resultado de ANOVA para conductividad del medio de cultivo en suspensiones celulares de *C. annuum*.

Fuente de variación	g.l.	F	P
Concentración	6	4E+06	0,00E+00
Días	4	335,7	9,567E-77
Concentración* Días	24	6,711	0,004

Referencias: g.l.= grados de libertad; F= factor (F de Fisher), P= Prueba de significación $p < 0,05$.

Discusión

Durante los primeros días de cultivo (1, 3, 6 y 9) no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos salinos con respecto a las variables de peso fresco y seco, lo que podría ser debido a que las suspensiones celulares se encuentran en fase de adaptación al medio (fase de retardo), según fue descrito por Gallego & Pérez (2021). Sin embargo, se evidenció un aumento del peso fresco y seco a los 15 días, pero únicamente en el tratamiento

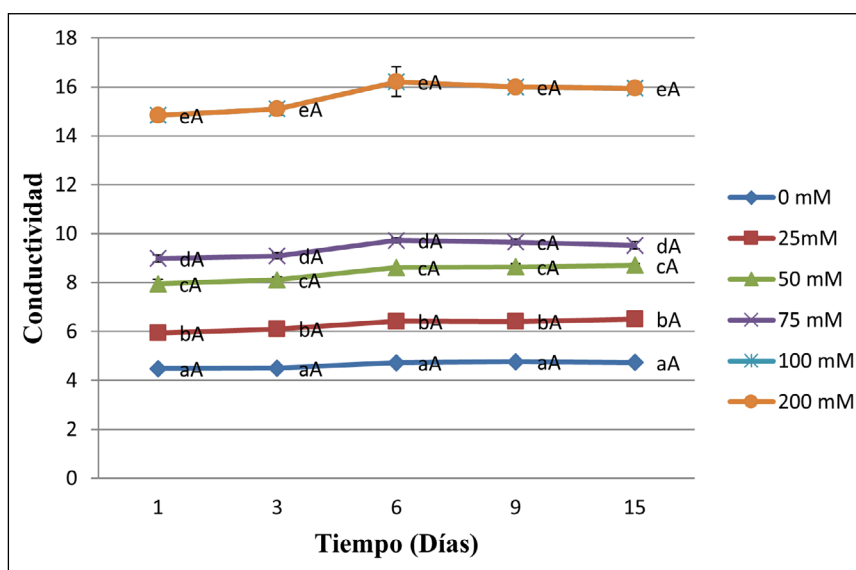


Fig. 5. Conductividad del medio de cultivo en suspensiones celulares de *C. annuum* expuestas a los tratamientos salinos (25, 50, 75, 100 y 200 mM NaCl) y controles (0 mM NaCl) a lo largo del tiempo (1, 3, 6, 9 y 15 días). Los puntos de las líneas representan los valores medios y la desviación estándar. Las letras representan diferencias significativas entre tratamientos (días: letra minúscula y tratamiento: mayúsculas), $p < 0,005$.

de 25 mM NaCl. Una posible explicación podría ser que dichas células serían capaces de mantener el potencial osmótico, la turgencia celular, el flujo de nutrientes equilibrado, a la vez que protegen las membranas celulares de la deshidratación (Korkmaz *et al.*, 2020). Por lo tanto, a esta concentración (25 mM) las células son capaces de desencadenar respuestas fisiológicas que le permiten la adaptación a la salinidad. Cabe mencionar que los estreses bióticos y abióticos afectan el crecimiento, desarrollo y la productividad de las plantas,

sobre todo el estrés por alta salinidad (Orosco *et al.*, 2021).

Estudios similares de tolerancia a salinidad con *Cenchrus ciliaris* L. (Ruiz-Ramírez *et al.*, 2012), indican que las suspensiones celulares sometidas a concentraciones de 60 mM NaCl, presentaron un crecimiento semejante a las suspensiones de los controles (sin sal), y mostraron un incremento del contenido de peso fresco y seco al iniciar la fase exponencial. Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los observados

en estas investigaciones con lo cual se podría indicar que las suspensiones celulares de *C. annuum* a las concentraciones bajas de NaCl, también presentan una capacidad de tolerancia a este tipo de estrés.

En este estudio, se evidencia que las suspensiones celulares expuestas a las concentraciones superiores a 25 mM NaCl presentaron los valores más bajos de peso fresco y seco a los 15 días, probablemente debido a que las suspensiones celulares son susceptibles a estas concentraciones de sal, el efecto tóxico de las sales podría ser debido a la acumulación de iones utilizados impidiendo el ajuste osmótico en estos medios salinos (Freire *et al.*, 2020). Similares resultados fueron descritos en suspensiones celulares de *Medicago sativa* L., sometidas a concentraciones de 120 mM NaCl (Bellabarba *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023).

Finalmente, se pudo observar una disminución del pH en las suspensiones celulares de *C. annuum* en todas las concentraciones durante el transcurso de los días con respecto al día 1. Algunos autores han señalado que la acidificación del medio puede deberse a un gran intercambio de iones entre las células vegetales y el medio de cultivo, acidificando el medio a medida que crecen las células (Abdelaal *et al.*, 2020; Toranj *et al.*, 2020).

Conclusiones

Este trabajo demuestra que existe un efecto significativo del incremento en la concentración salina en el medio de cultivo sobre el crecimiento de suspensiones celulares de *C. annuum*. Cabe destacar que esta planta es muy susceptible a dichos incrementos, de tal modo que únicamente a bajas concentraciones (25 mM) las células son capaces de seguir creciendo. Todo ello evidencia que, en caso de un incremento en la salinidad en las zonas de cultivo del pimiento de variedad Padrón, causado por el cambio climático, puede producir importantes pérdidas económicas debidas a un deterioro significativo en el crecimiento y desarrollo de la planta, y en su caso del fruto, con la reducción lógica en la producción de este importante cultivo para diferentes

regiones. Sería importante, avanzar en el conocimiento sobre los mecanismos de tolerancia a la salinidad de esta especie para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático a medio-largo plazo. Para ello, la biotecnología ofrece incalculables ventajas a la hora de obtener nuevas variedades tolerantes a la salinidad en un periodo de tiempo relativamente corto.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Herbario de la Universidad Nacional de La Libertad-Trujillo (HUT) y a la VI Convocatoria CANON, por el financiamiento de este artículo. En sus modalidades: PIC-MODALIDAD 01, Valoración de la biodiversidad en el norte del Perú: rol de las exploraciones biológicas y los herbarios, Resolución Rectoral N° 0356-2023/UNT, Resolución de Consejo Universitario N° 001-2023/UNT y Resolución Vicerrectoral de Investigación N° 137-2023-VIN-UNT y PIC 02 MODALIDAD 02: Proyecto de Investigación de Tesis, categoría consolidada Laboratorio de Biotecnología.

Bibliografía

- ÁBREGO, J. C., ESCAMILLA, K. A. & MARTÍNEZ, L. G. (2014). Biotecnología ambiental. PADI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI 1: 1-5. <https://doi.org/10.29057/icbi.v1i1.511>
- ABDELAAL, K., EL-MAGHRABY, L., ELANSARY, H., HAFEZ Y., IBRAHIM, E., EL-BANNA, M., HAFEZ, Y., IBRAHIM, I., EL-BANNA, M., EL-ESAWI, M. & ELKELISH, A. (2020). Treatment of sweet pepper with stress tolerance-inducing compounds alleviates salinity stress oxidative damage by mediating the physio-biochemical activities and antioxidant systems. *Agronomy* 10: 38-144.
- AIMITUMA, K. M., LLANQUI, S. E. & FERNÁNDEZ, H. (2023). Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas* 2: e388. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.388>
- ARMESTO, A. (2021). Preocupación por el cambio climático, condiciones económicas individuales

- y priorización del medioambiente en América Latina. *Opinião Publica*, 27: 1-27. <https://doi.org/10.1590/1807-019120212711>
- BARRAZA, A., LOERA, A., BERNAL, A. T., DEL TORO, C. L., ENRÍQUEZ, C., ANAYA, C. D., DÍAZ DE LEÓN G., *et al.* (2022). En MORALES DOMÍNGUEZ, J. F. (coord.), *Algunas aplicaciones biotecnológicas en plantas y microalgas*. Universidad Autónoma de Aguascalientes, México. <https://doi.org/10.33064/uaa/978-607-8834-70-9>
- BAZÁN, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Gráfica Bracamonte, Lima, Perú.
- BELLABARBA, A., DECOROSI, F., FAGORZI, C., EL HADJ MIMOUNE, A., BUCCIONI, A., SANTONI, M., PACINI, G. C., BEKKI, A., AZIM, K., HAFIDI, M., MAZZONCINI, M., MENGONI, A., PINI, F. & VITI, C. (2023). Salt stress highlights the relevance of genotype × genotype interaction in the nitrogen-fixing symbiosis between *Sinorhizobium meliloti* and Alfalfa. *Soil Systems* 7: 112. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7040112>
- BUTT, M., SATTAR, A., ABBAS, T., HUSSAIN, R., IJAZ M., SHER, A., SHAHZAD, U., ULLAH, S., BRESTIC, M., ZIVCAK M., GASPAROVIC, K. & ALJUAID, B. (2021). Morpho-physiological and biochemical attributes of chili (*Capsicum annuum* L.) genotypes grown under varying salinity levels. *Plos One* 16: e0257893
- DE LA CRUZ, I. & GONZÁLEZ, A. R. (2009). Biotecnología aplicada a la producción de metabolitos secundarios. *Lacandonia Revista Ciencias UNICACH* 3: 59-65.
- DI FABIO, A., LOZOYA-GLORIA, E. & DOS SANTOS-OLIVERA, F. (2017). Producción y manejo de cultivo. Requerimientos de clima y suelo. <https://intercoconnecta.aecid.es/Gestin%20del%20conocimiento/0029-3%20Cultivo%20de%20pimientos.pdf> (Consulta 10/09/2024).
- FAO. (2022). LA FAO y los objetivos de desarrollo sostenible - Cumplir la Agenda 2030 mediante el empoderamiento de las comunidades locales. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc2063es>
- FREIRE, F., SILVA, L. J., ASSIS, F. & DOS SANTOS DIAS, M. (2020). Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e potencial osmótico de plantas de tomate submetidas a condições salinas. *PesquisAgro* 3: 36-51. <https://doi.org/10.33912/pagro.v3i1.656>
- GALLEGO, V. & PÉREZ, M. (2021). Estimación de la densidad celular mediante el uso de cámaras de recuento. Universidad Politécnica de Valencia.
- GREENPEACE. (2020). Cambio climático. Greenpeace España. <https://es.greenpeace.org/es/quienes-somos/informes-anales/informe-anual-2020/emergencia-climatica/> (Consulta: 08/10/2024).
- HERNÁNDEZ, I. (2015). La biotecnología, la lucha contra el cambio climático y los biocarburantes. *Revista Catalana de Dret Ambiental* 5: 1-27. <https://doi.org/10.17345/rcda1483>
- INFOAGRO. (2018). La biotecnología vegetal y aplicaciones de la biotecnología agraria. <https://mexico.infoagro.com/la-biotecnologia-vegetal-y-aplicaciones-de-la-biotecnologia-agraria/>. (Consulta: 07/08/2024).
- KORKMAZ, A., GEREKLI, A., YAKUPOĞLU, G., KARACA, A. & KÖKLÜ, Ş. (2020). Seed treatment with tryptophan improves germination and emergence of pepper under salinity stress. *Acta Horticulturae* 1273: 441-448.
- KUMAR, N., HALDAR, S. & SAIKIA, R. (2023). Root exudation as a strategy for plants to deal with salt stress: An updated review. *Environmental and Experimental Botany* 216: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105518>
- LÓPEZ, L., CALATAYUD, A., LÓPEZ, S., SERRANO, R. & BUESO, E. (2021). Uncovering salt tolerance mechanisms in pepper plants: a physiological and transcriptomic approach. *BMC Plant Biology* 21: 8-144.
- MARTÍNEZ, M. & PRIETO, J. (2021). Biotecnología para el aprovechamiento de la celulosa y hemicelulosa de los residuos vegetales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. CSIC - Centro de Investigaciones Biológicas Margarita Salas (CIB). España.
- NICHO SALAS, P. E. (2020). Selección de accesiones del germoplasma de capsicum peruanos con tolerancia a estrés salino, hídrico y térmico para obtener cultivares de alto rendimiento y calidad en el valle de Huaral. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://repositorio.inia.gob.pe/items/70116c0b-fd56-4cf8-ad79-e2fe3f7578d6> (Consulta: 20/01/2025).
- NINAHUAMAN, H. J. (2024). Deterioro de ecosistemas y paisajes: Lo último al 2023. *KANYÚ* 2: 46-64. <https://doi.org/10.61210/kany.v2i1.59>
- OROSCO, B., NÚÑEZ, H., DÍAZ, F., PÉREZ, L., VALENCIA, M., TREJO, L., CRUZ, N. & VALIENTE, J. (2021). Grafting improves salinity tolerance of bell pepper plants during greenhouse production. *Horticulture Environment and Biotechnology* 62: 831-844.
- ORTEGA-ESCOBAR, H. M., MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, O. G., CAN-CHULIM, Á., CRUZ-CRESPO, E., BOJÓRQUEZ-SERRANO, J. I., GARCÍA-PAREDES, J. D., SÁNCHEZ-BERNAL, E. I., MADUEÑO-MOLINA, A. & MANCILLA-VILLA, O. R. (2023). Caracterización de la salinidad en suelos de la planicie del río San Pedro, Nayarit, México. *Revista Terra Latinoamericana* 41: 1-17 <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1606>

- OYARZÚN-GÓMEZ, M. (2022). COP 27: Un pequeño paso hacia la justicia climática. *Revista chilena de enfermedades respiratorias* 38: 216-218. <https://doi.org/10.4067/s0717-73482022000400216>
- PARRA-OROBIO, B. A., CARRERA-VENEGAS, M. C. & VILLACRES-VALENCIA, L. (2022). Análisis computacional del comportamiento agroclimático en la producción de fríjol (*Phaseolus vulgaris*) cultivado en el municipio de Sibundoy, Putumayo. *Ingeniare* 33: 13-27. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.33.9728>
- PERNÍA, J. C., PALACIOS, L. J., TRASF, M. L. & SANABRIA, M. E. (2022). Objetivos de Desarrollo Sostenible y Responsabilidad Social Universitaria: Alternativas para cambio climático y desplazados ambientales. *Revista de Ciencias Sociales* 28: 367-385. <https://doi.org/10.31876/rcs.v28i1.37699>
- PUIGDOMÈNECH, P. (2018). La Biotecnología Vegetal en el entorno europeo. *Ambiociencias* 12: 70-8. <https://doi.org/10.18002/ambioc.v0i12.4947>
- ROY, S., NEGRAO, S. & TESTER, M. (2014). Salt resistant crop plants. *Opinión actual en Biotecnología* 26: 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.12.004>
- RUIZ LAU, N., MEDINA LARA, F. & MARTÍNEZ ESTÉVEZ, M. (2011). El chile habanero su origen y usos. *Ciencia* 3: 1-8.
- RUIZ-RAMÍREZ, S., VALDÉS-OYERVIDES, A., FACIO PARRA, F. & ARCE-GONZÁLEZ, L. (2012). Efecto de diferentes niveles de salinidad en la germinación y vigor de semillas de cinco gramíneas forrajeras. *Revista Agraria* 9: 7-13 <https://doi.org/10.59741/agraria.v9i1.466>
- SERRANO, A. & DELICADO, E. (2008). Efecto de diferentes factores: fertilización, salinidad y procesado, sobre parámetros objetivos de calidad en pimiento. Departamento de Tecnología de La Alimentación y Nutrición. Tesis Doctoral. Universidad Católica San Antonio de Murcia. España. 185 pp.
- SOSA-ESCALONA, Y., CASADEVALLS, M. P. & SANTIESTEBAN-TOCA, C. E. (2017). Sistema para la alerta temprana de los efectos del cambio climático en la agricultura. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas* 11(3): 64-76.
- SPENCER, M., FORSTER, B. & JANKULOSKI, L. (2021). Manual de mejoramiento por mutación. FAO/OIEA, Viena. <https://doi.org/10.4060/i9285es>
- SOTO, J. A. (2022). El cambio climático y su efecto en la biodiversidad. *Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA* 5: 8-13. <https://doi.org/10.56124/allpa.v5i10.0051>
- TALAVERANO, N. S. Z., ESCRIBA, B. P. G., LEÓN, R. G., LORA, J. W. G., RAMOS, V. H. G., ZOROGASTÚA, K. DEL C. C. & ARBOLEDA, Y. Y. N. (2023). Erosión hídrica bajo escenarios de cambio climático en la subcuenca Indoche - Río Mayo. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* 6: 64-76 <https://doi.org/10.34188/bjaerv6n3-051>
- TORANI, S., ALIABAD, K., ABBASPOUR, H. & SAEEDPOUR, A. (2020). Effect of salt stress on the genes expression of the vacuolar H⁺-pyrophosphatase and Na⁺/H⁺ antiporter in *Rubia tinctorum*. *Molecular Biology Reports* 47: 235-245.
- URIAS-SALAZAR, A. A., POOT-POOT, W. A., AYIL-GUTIÉRREZ, B. A., DELGADO-MARTÍNEZ, R., SILVA-ESPINOSA, J. H. T. & SEGURA-MARTÍNEZ, M. T. D. J. (2022). Cultivo de tejidos vegetales y mutagénesis inducida: una estrategia para el desarrollo de plantas tolerantes a salinidad. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes* 85: 1-14. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2022853315>
- VÁZQUEZ-CRUZ, F., ENRÍQUEZ GARCÍA, F., PÉREZ SATO, M., PÉREZ MARROQUÍN, G. J. & ALONSO FLORES, J. A. (2022). Emprendimiento en la producción de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.). *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 10: 73-83. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v10i1.405>
- VÁZQUEZ, J. C., MASCORRO, J. O., RODRIGUEZ, J. E., SAHAGÚN, J. & RODRIGUEZ, J. L. (2023). Identificación de líneas de tomates silvestres tolerantes a salinidad en germinación y plántula. *Investigaciones y Estudios UNA* 14: 18-33. <https://doi.org/10.57201/ieuna2312777>
- VELASCO, A. L., VELASCO, V. A., RUIZ, J., ENRÍQUEZ, J. R., MARTÍNEZ, A. & GUZMÁN, D. C. (2023). Efecto del uso de agua residual tratada sobre el suelo y cultivos forrajeros de *Chenopodium quinoa* Willd. y *Zea mays* L. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 14: 874-888. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i4.6465>
- WANG, S., ZHENG, W., REN, J. & ZHANG, C. (2002). Selectividad de varios tipos de plantas resistentes a la sal para K⁺ sobre Na⁺. *Revista de Ambientes Áridos* 52: 457-472. <https://doi.org/10.1006/jare.2002.1015>
- WANG, X., YIN, J., WANG, J. & LI, J. (2023). Integrative analysis of transcriptome and metabolome revealed the mechanisms by which flavonoids and phytohormones regulated the adaptation of alfalfa roots to NaCl stress. *Frontiers in Plant Science* 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1117868>