



## Aliadas y enemigas de la salinidad, como las plantas enfrentan el estrés salino

CAMILO ANDRÉS ESCALANTE MAGAÑA\*, DAYRON OTERO RODRÍGUEZ, FÁTIMA MEDINA LARA,  
ILEANA ECHEVARRIA MACHADO Y MANUEL MARTÍNEZ ESTEVEZ

Investigador Posdoctoral, Unidad de Biología Integrativa, Centro de Investigación Científica de  
Yucatán, A.C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34. Colonia Chuburná de Hidalgo,  
97205, Mérida, Yucatán, México.

\*[ubi\\_cescalante@cicy.mx](mailto:ubi_cescalante@cicy.mx)

**Resumen:** La salinidad representa una problemática y un reto importante en el ámbito de la investigación y la agricultura, ya que su presencia en los suelos propicia a reducir el crecimiento y rendimiento de los cultivos de importancia agrícola. Cuando las raíces están en presencia de salinidad, se desencadenan dos tipos de estrés primarios: osmótico y iónico. Esto a su vez conlleva a un estrés secundario, conocido como estrés oxidativo. Se ha visto que una alta concentración de sodio ( $\text{Na}^+$ ) en los suelos provoca deficiencia de potasio ( $\text{K}^+$ ), nutriente esencial para las plantas, que participa en múltiples procesos en las plantas. Esta deficiencia afecta de manera negativa a muchos procesos como, por ejemplo, el cierre estomático. Sin embargo, a lo largo de la evolución, las plantas han desarrollado mecanismos importantes para vivir y resistir ante la presencia de un estrés salino. Este artículo se centra en la comparación de los mecanismos de tolerancia a la salinidad entre plantas resistentes o halófitas y sensibles o glicófitas, resaltando sus principales diferencias.

**Palabras clave:** Estrés, factores ambientales, NaCl, osmolitos, salinización.



Gobierno de  
**México**

**Ciencia y Tecnología**

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación





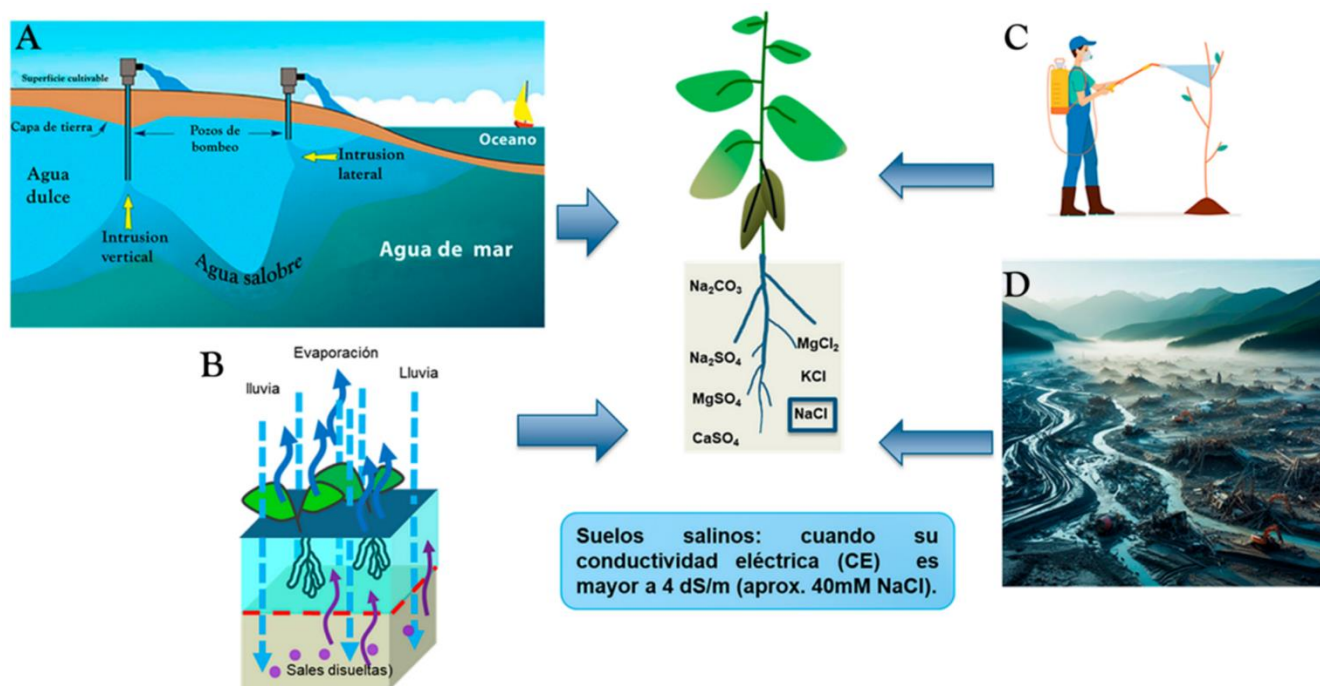
A nivel mundial, la salinidad en los suelos es uno de los principales factores abióticos que tienen mayor impacto negativo sobre la agricultura, limitando la producción y el desarrollo de los cultivos de importancia para el consumo humano. Además, Hassani *et al.* (2021) sugieren que cerca del 7 % de la superficie cultivable del mundo está afectada por la salinidad y se predice que para el 2050, si este problema continúa, se perderán alrededor del 50 % del total de las tierras cultivables, lo que representa un problema de gran importancia para la seguridad alimentaria e investigación en la actualidad. El proceso de salinización de los suelos es provocado principalmente por la acción del hombre, sin embargo, los procesos naturales contribuyen a que se desarrolle este problema, pero en menor escala (Figura 1). Entre las principales acciones del hombre se pueden mencionar: el uso indiscriminado de fertilizantes, malos manejos del suelo (riego inadecuado, sobreexplotación y deforestación), y particularmente, en la península de Yucatán se presenta un fenómeno conocido como intrusión salina, proceso por el cual el agua salada del mar penetra y se mezcla con el agua dulce subterránea y de esta manera cuando se riega con esta mezcla de agua, se saliniza el suelo, este proceso se presenta principalmente la zona costeras del estado. Sin embargo, para los procesos naturales, la contribución a la salinización es relativamente menos drástica y dañina, ya que depende de las condiciones climatológicas, un ejemplo de esta contribución es el exceso de lluvia que puede solubilizar las sales en el suelo y de esta manera tornarlas disponibles para las plantas.

Estos son solo algunos de los procesos que propician a que se tenga como resultado la salinización en los suelos, por lo tanto, diversos procesos pueden causar la acumulación de sales en el suelo, lo que puede afectar el crecimiento y productividad de los cultivos (Hassani

*et al.* 2020). Entre las principales sales que contribuyen a la salinización, se encuentran los carbonatos; sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), los sulfatos; sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ) y calcio ( $\text{CaSO}_4$ ); los cloruros; magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ), potasio (KCl) y sodio (NaCl), siendo esta última sal y el ion sodio ( $\text{Na}^+$ ) el más perjudicial para las plantas, el más abundante en los suelos y mares.

El estudio de la salinidad recae en dos grandes tipos de plantas y presentan mecanismos distintos de adaptación o tolerancia debido al entorno ecológico donde crecen y se desarrollan; por un lado, están las plantas halófitas (*halos* = sal; *phyta* = planta de), este término se utiliza hace más de 200 años para definir a aquellas especies de plantas que han hecho de los ecosistemas ricos en sal su hábitat para vivir.

Estos tipos de plantas que crecen en ambientes con altas concentraciones de sal han desarrollado diferentes estrategias (Figura 2) para protegerse del exceso de sal, especialmente del sodio ( $\text{Na}^+$ ). Una de estas estrategias es limitar la entrada de sal desde el suelo, utilizando mecanismos en sus raíces que actúan como filtros, además se ha visto que han desarrollado barreras naturales como la cutina y la suberina, (sustancias protectoras producidas por las plantas) que ayudan a reducir el paso de agua y sales al interior de la planta. Por otro lado, muchas halófitas, son capaces de eliminar el sodio a través de estructuras especiales en sus hojas llamadas hidatodos, que expulsan el exceso de sal hacia el exterior para mantener un equilibrio interno. Además, estas plantas suelen producir compuestos llamados osmolitos, como la prolina, la glicina-betaína y ciertos azúcares, que les permiten conservar el agua y proteger sus células frente al daño causado por la sal. También existen adaptaciones visibles, como el desarrollo de hojas suculentas, que almacenan agua y ayudan a diluir la sal en su interior, haciendo que su efecto sea menos tóxico



**Figura 1.** Principales factores que influyen en la salinización de los suelos. **A.** Intrusión salina. **B.** Exceso de lluvia y riego tornan disponibles las sales disueltas. **C.** Exceso en la aplicación de fertilizantes y pesticidas. **D.** Manejo antropogénico y un mal uso de la maquinaria destruyen las propiedades de los suelos, conduciendo a una salinización. (Diseño: Camilo A. Escalante Magaña).

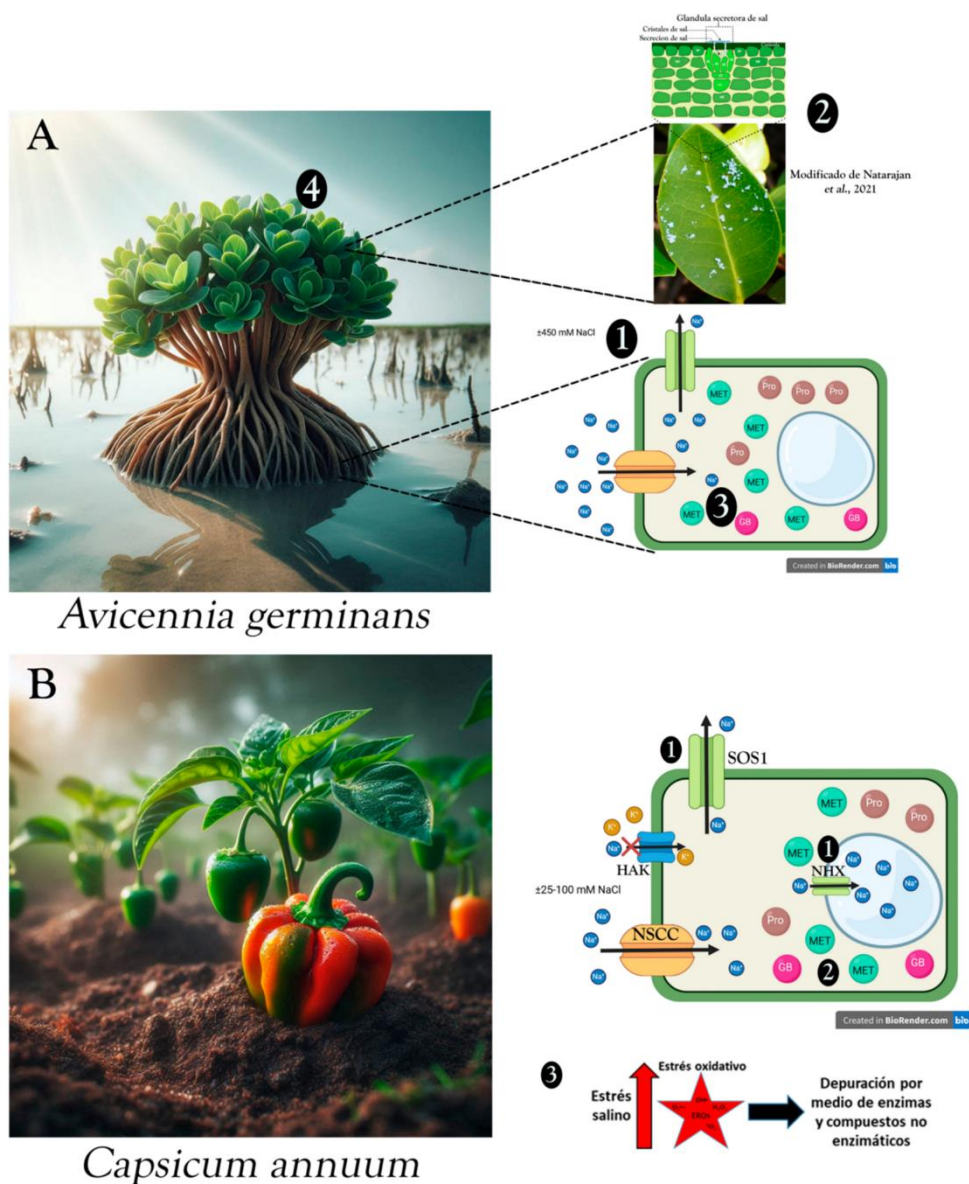
para la planta y de esta manera completar su ciclo de vida (Guo *et al.* 2021).

Por otro lado, se encuentran los tipos de plantas, conocidas como glicófitas (plantas sensibles a la salinidad o halófitas), en esta clasificación o tipo pertenecen la mayoría de las especies de importancia agrícola, como por ejemplo las solanáceas, en donde podemos encontrar al tomate, chile, papa, etc. Sin embargo, las glicófitas son plantas que crecen en condiciones por debajo de 40 mM de NaCl en el suelo y que, a diferencia de las halófitas, no están naturalmente adaptadas a ambientes salinos. Además, cuando se enfrentan a suelos con alta concentración de sal, pueden activar distintos mecanismos fisiológicos, bioquímicos y moleculares que les permiten tolerar, hasta cierto punto,

el estrés salino. Estas respuestas buscan mantener el equilibrio interno de la planta y reducir los efectos negativos que la salinidad puede causar en su crecimiento y desarrollo (Figura 2).

Una de las principales estrategias para sobrellevar el estrés es el uso de sistemas de transporte especializados que les permiten ser selectivos al absorber nutrientes, favoreciendo la entrada de iones esenciales como el potasio ( $\text{K}^+$ ) y limitando la entrada y/o la acumulación de  $\text{Na}^+$ , que resulta tóxico en altas concentraciones. Aunque el  $\text{Na}^+$  puede entrar de manera pasiva (no necesita de energía para ser transportada al interior de la célula) a través de canales catiónicos no selectivos (NSCC, por sus siglas en inglés) localizados en la membrana celular, este tipo de plantas cuentan con un sistema de





**Figura 2.** Mecanismos de tolerancia a la salinidad. **A. Halófita** *Avicennia germinans* (L.) L., a concentración de 450 mM de NaCl. **1.** Mecanismo de exclusión de  $\text{Na}^+$ . **2.** Extrusión de  $\text{Na}^+$  por glándulas en las hojas; ME (células del mesófilo), CO (células colectoras), ST (células del tallo), SE (células de secreción), EP (células epidérmicas) (Natarajan *et al.* 2021). **3.** Acumulación de osmolitos: Pro (Pro), MET (Melatonina) y GB (Glicina-betaína). **B. Glicófita** *Capsicum annuum* L. a concentraciones de NaCl entre 25 y 100 mM, **1.** Exclusión de  $\text{Na}^+$  donde se involucra al sistema SOS y compartimentalización en vacuola por medio de los intercambiadores  $\text{Na}^+/\text{H}^+$ . **2** Acumulación de osmolitos (Prolina, Melatonina y Glicina Betaína). **3.** Activación del sistema antioxidante para la depuración de ERO. (Diseño de todo el modelo: Camilo A. Escalante Magaña).



defensa adicional llamado SOS (Salt Overly Sensitive), compuesto por tres proteínas que trabajan en conjunto para expulsar el exceso de sodio que se encuentra dentro de la célula y de esta manera protegerla. Además, la gran mayoría de las glicófitas realizan un ajuste osmótico cuando enfrentan a la pérdida de agua excesiva provocada por la sal, acumulando compuestos conocidos como osmolitos o solutos compatibles, como azúcares y derivados nitrogenados, que ayudan a proteger y mantener la conformación de proteínas, así como el contenido de agua que se encuentra dentro de las células, evitando daños como la deshidratación. Recientemente, se ha propuesto y evaluado a la melatonina (MET), siendo incluso nombrada como un “regulador maestro” ya que se involucra en múltiples procesos en presencia de diferentes tipos de estrés, como por ejemplo: estimular las enzimas antioxidantes, proteger el aparato fotosintético, activación de diferentes tipos de genes de defensa, así como participar como molécula señal para promover una respuesta a la tolerancia (Sun *et al.* 2021).

Por último, la exposición a salinidad también puede generar un estrés adicional llamado estrés oxidativo, en el que se produce un exceso de especies reactivas de oxígeno (ERO), capaces de dañar las membranas celulares y provocar incluso la muerte celular. Para hacer frente a esto, las plantas activan mecanismos de defensa que incluyen moléculas enzimáticas y no enzimáticas encargadas de eliminar o depurar esta sobreproducción de ERO, lo que les permite mantener su funcionamiento y adaptarse mejor a condiciones adversas (Mir *et al.* 2024).

En conclusión, la salinidad de los suelos representa un desafío creciente para la agricultura, ya que afecta el crecimiento y rendimiento de los cultivos debido a los múltiples daños que causa (estrés iónico, osmótico y oxidativo). Las plantas a lo largo de la evolución se han podido adaptar para enfrentar este estrés, por un lado,

las plantas halófitas, crecen en ambientes salinos, presentan adaptaciones especializadas como la formación de barreras físicas y excreción de  $\text{Na}^+$ , permitiéndole soportar y desarrollarse a altas concentraciones de sal. Por otra parte, las glicófitas, las plantas sensibles a la salinidad, son severamente afectadas por la sal, sin embargo han desarrollado mecanismos que le permiten mitigar la toxicidad del sodio hasta cierto punto, como la utilización de proteínas para el ingreso selectivo de nutrientes como el  $\text{K}^+$ , impidiendo la entrada de  $\text{Na}^+$  y la acumulación de osmolitos (prolina y glicina betaína) y la participación de moléculas como la melatonina que participa en múltiples procesos para promover la tolerancia. Estos avances en la comprensión de los mecanismos de tolerancia a la salinidad ofrecen una alternativa prometedora para mejorar la resistencia de los cultivos agrícolas frente a la creciente salinización de los suelos, un problema mundial que podría comprometer la seguridad alimentaria con el paso de los años.

## Referencias

- Guo R., Zhao L., Zhang K., Lu H., Bhanbhro N., & Yang C. 2021. Comparative Genomics and Transcriptomics of the Extreme Halophyte *Puccinellia tenuiflora* Provides Insights Into Salinity Tolerance Differentiation Between Halophytes and Glycophytes. *Frontiers in Plant Science* 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.649001>
- Hassani A., Azapagic A., & Shokri N. 2020. Predicting long-term dynamics of soil salinity and sodicity on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(52): 33017-33027. <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.2013771117>
- Hassani A., Azapagic A., & Shokri N. 2021. Global predictions of primary soil salinization



under changing climate in the 21st century.  
*Nature Communications* 12(1): 6663.

<https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-3>

**Mir R.A., Logeshwari T.R., Aryendu, & Soma-sundaram R. 2024.** Elevated osmolytes accumulation helps in combating NaCl stress causing negative impacts on growth and metabolism of *Vigna radiata* (L.). *Journal of Plant Stress Physiology* 10: 13-22.

<https://doi.org/10.25081/jpsp.2024.v10.8791>

**Natarajan P., Murugesan A.K., Govindan G.,**

**Gopalakrishnan A., Kumar R., Duraisamy P., Balaji R., Tanuja Shyamli P.S., Parida A.K., & Parani M. 2021.** A reference-grade genome identifies salt-tolerance genes from the salt-secreting mangrove species *Avicennia marina*. *Commun Biol* 4(1): 851.

<https://doi.org/10.1038/s42003-021-02384-8>

**Sun C., Liu L., Wang L., Li B., Jin C., & Lin X. 2021.** Melatonin: A master regulator of plant development and stress responses. *J. Integr. Plant Biol.* 63: 126–145.

<https://doi.org/10.1111/jipb.12993>

**Desde el Herbario CICY, 17: 168-173 (17-julio-2025)**, es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, [www.cicy.mx/Sitios/Desde\\_Herbario/](http://www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/), [webmas@cicy.mx](mailto:webmas@cicy.mx). Editores responsables: Germán Carnevali, Patricia Rivera Pérez y José Luis Tapia Muñoz. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 17 de julio de 2025. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.

