

¡¡S.O.S., exceso de sales en el suelo!!

La salinidad es uno de los tipos de estrés abióticos más importantes y devastadores para el desarrollo, crecimiento y rendimiento tanto de plantas cultivadas como silvestres, pero las plantas, como seres sésiles, no pueden moverse y por tal motivo necesitan de mecanismos para evitar que la salinidad sea fatal para su desarrollo ¡Uno de estos mecanismos es el sistema SOS!!!

Palabras clave:
cloruro de sodio, estrés salino, ión, plantas, tolerancia

MANUEL MARTÍNEZ ESTÉVEZ*, MARIA DE FATIMA MEDINA LARA, CAMILO ESCALANTE MAGAÑA Y DAYRON OTERO RODRÍGUEZ

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

*luismanh@cicy.mx

Desde principios del siglo XX, se utilizan las siglas SOS como una manera de pedir ayuda, cuando esas siglas aparecen es necesario prestar atención, se cree que estas siglas significan “Salven nuestro barco” (Save Our Ship) o “Salven nuestra alma” (Save Our Souls) y desde 1906 está establecida como señal de peligro (National Geographic 2019).

La conservación y el cultivo de especies de interés económico es de vital importancia para el futuro de la alimentación mundial, aunque se producen más alimentos de lo que realmente necesitamos, mismos que desafortunadamente se desperdician, la población mundial seguirá creciendo y con ello las necesidades de alimentación. Por lo tanto, tenemos que conocer las condiciones de los suelos donde se llevan a cabo estas labores de cultivo y tomar medidas para su mejora.

Si tomamos en cuenta que la salinidad no es más que un exceso de sales en el suelo, fundamentalmente de cloruro de sodio (sal común o NaCl), perjudicial para la mayoría de las plantas cultivadas, no es extraño que las plantas tiendan a emitir señales para que se activen mecanismos que permitan sobrevivir a este tipo de estrés. Como mencionamos anteriormente la salinidad es uno de los más devastadores tipos de estrés para las plantas y trae consigo pérdidas millonarias en los cultivos de importancia económica (Nasir Khan *et al.* 2024).

Cada día se incrementan las zonas del planeta en la cual los suelos arables se modifican a suelos salinos, esto se debe principalmente al efecto antropogénico, el uso indiscriminado de ferti-

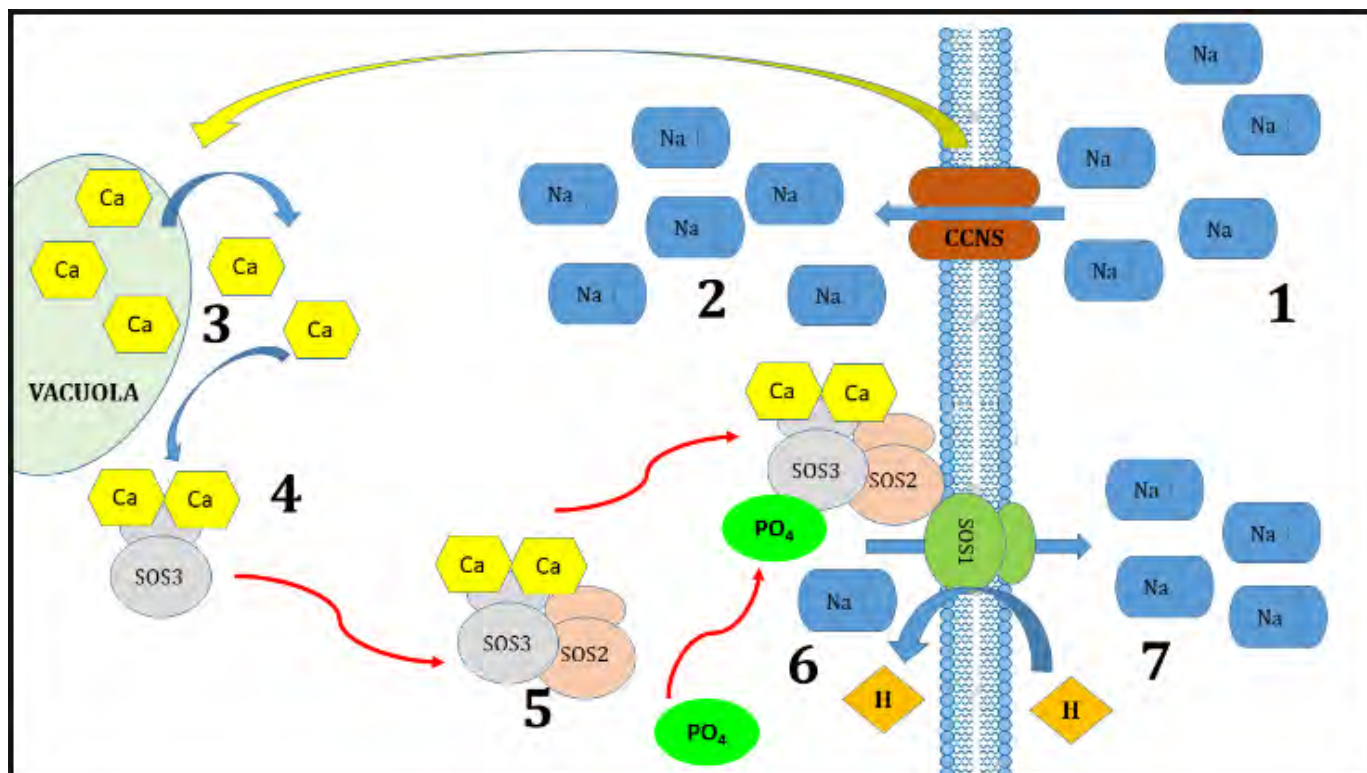


Figura 1. Mecanismo de acción simplificado del sistema SOS. 1. Na extracelular, 2. El Na penetra a la célula a través de diferentes sistemas de transporte como los canales catiónicos no selectivos (CCNS), 3. El sodio (Na) intracelular activa la salida de calcio (Ca) de la vacuola u otros compartimentos celulares, 4. La enzima SOS3 une sodio (Ca) para ser movilizado hasta la enzima SOS2, 5. SOS2 es una enzima que al unir Ca se mueve y activa por medio de una fosforilación (PO_4) a la enzima SOS1, un transportador Na/H, que se encuentra en membrana y entonces esta enzima SOS1 induce la salida de sodio (Na) hacia el espacio extracelular y la entrada de hidrógeno (H) hacia el interior de la célula, disminuyendo la concentración de sodio (Na) intracelular, que es tóxica para la mayoría de las especies vegetales.

zantes, el empleo indebido de aguas residuales industriales para riego agrícola, el uso indiscriminado de pozos en zonas cercanas a la costa, también la intrusión salina ha generado suelos sódicos con altas concentraciones de cloruro de sodio (Mofijul Islam *et al.* 2024). La modificación del pH del suelo, así como la mezcla de agua salada en los mantos freáticos de agua dulce con la que se riegan los cultivos provoca la salinidad de los suelos.

Las plantas también tienen la manera de dar esas señales de peligro en presencia de sales en el suelo o en las aguas de riego y casualmente utilizan este mismo sistema SOS. Esta vía se denomina “Demasiado sensible a la sal” (Salt Overly Sensitive) y consta de tres componentes que actúan de manera sinérgica para evitar la excesiva toxicidad del cloruro de sodio y además funciona como un regulador de homeostasis osmótica en plantas.

La vía SOS juega un papel central en la tolerancia a la salinidad de las plantas. Desde el descubrimiento de la vía SOS, las regulaciones después que el ADN se transcribe en ARN y cuando ya se sintetizan las proteínas de sus componentes centrales han atraído considerable atención (Akhtar *et al.* 2023).

Pero es muy interesante saber cómo funciona esta vía en presencia de sodio. Cuando una planta está en contacto con un suelo cuyos contenidos de sodio son elevados, este entra de manera simple a la célula generando cambios eléctricos en la membrana plasmática que potencian los efectos deletéreos de la sal, y activa toda una maquinaria para poder luchar en contra de este ion, lo que conlleva entre otros mecanismos, la activación de la señal de SOS (Akhtar *et al.* 2023).

Entonces las plantas para tolerar este tipo de estrés activan el sistema de auxilio o SOS, que casual-

mente se refiere a un sistema que consta de tres proteínas que “salvan” a la planta del exceso de sales, la SOS1, que une calcio, la SOS2 que unida al calcio y a un fosfato activa la SOS3 que es quien induce la salida del ion sodio al exterior de la célula (Figura 1).

No todas las plantas tienen la misma eficiencia en la utilización de este mecanismo, por lo que se hace necesario estudiar su presencia y actividad en diferentes especies. Con relación a la capacidad de las plantas de tolerar la salinidad se definen dos grupos, las halófitas, son plantas aquellas tolerantes a la sal que crece en suelos o aguas de alta salinidad, entrando en contacto con agua salina a través de sus raíces o por niebla salina, y las plantas glicófitas, son aquellas plantas afectadas por la sal e incapaces de resistir determinadas concentraciones salinas como lo hacen las halófitas.

De la misma manera se ha reportado que la expresión de estos tres genes es mayor en aquellas plantas que por su naturaleza pueden soportar niveles o concentraciones salinas elevadas (Oh *et al.* 2009).

Una mayor caracterización de las diversas funciones biológicas de los componentes SOS en las plantas debe abordar algunas cuestiones importantes, todavía no conocidas en su totalidad, como es la participación de las proteínas centrales de SOS en el desarrollo de las plantas, la señalización hormonal y la interferencia con otras vías metabólicas y de señalización celular (Cheong y Yun 2007). Para lograr estos objetivos, será útil explorar las tecnologías emergentes en genética y biología molecular.

Nuestro grupo de trabajo, parte de la línea de Agrobiología Integrativa, estamos estudiando el efecto que tiene el estrés salino en la expresión de los genes que codifican para estas tres proteínas, esto lo estamos desarrollando en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq., Solanaceae), variedad Kisín, misma que fue obtenida en el CICY a través de la Dra. Nancy Santana Buzzy. Cabe mencionar que el chile habanero es una planta glicófita de gran importancia económica y cultural en la región. Algunos suelos de la península de Yucatán se están salinizando por un

manejo inadecuado de las aguas residuales y de la cercanía a las costas. Por este motivo, la importancia de este estudio, adelantarnos a la posibilidad real de problemas en el cultivo de nuestro querido chile.

Esperamos poder mantenerlos informado de los avances en este trabajo, por esta u otra vía institucional.

Referencias

- Akhtar A., Veselin P., Dae-J. Yun y Tsanko G. 2023.** Revisiting plant salt tolerance: novel components of the SOS pathway. *Trends in Plant Science* 28: 1060-1069.
- Cheong M.S., Dae-J. Yun. 2007.** Salt-stress signaling. *J. Plant Biol.* 50, 148–155. <https://doi.org/10.1007/BF03030623>
- Dong-Ha Oh, A. Zahir, Dae-Jin Y., R.A. Bressan y Hans J. Bohnert. 2009.** SOS1 and Halophytism, *Plant Signaling & Behavior* 4:11, 1081-1083, DOI: 10.4161/psb.4.11.9786.
- Nasir Khan M., Mazen A. AlSolami, Zahid H. Siddiqui, Meshari Atallah M. AlOmran y Hazem M. Kalaji. 2014** Regulation of Na⁺/H⁺ antiport system and nitrogen metabolism by melatonin and endogenous hydrogen sulfide confers resilience to drought and salt stress. *South African Journal of Botany* 164: 152-166, ISSN 0254-6299, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.11.033>.
- Mofijul Islam S.M., Y. Kanta Gaihre, M. Nazrul Islam, A. Jahan, M.A.R. Sarkar, U. Singh, A. Islam, A. Al Mahmud, M. Akter y M.R. Islam. 2024.** Effects of integrated nutrient management and urea deep placement on rice yield, nitrogen use efficiency, farm profits and greenhouse gas emissions in saline soils of Bangladesh, *Science of The Total Environment* 909: 168660. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168660>.
- National Geographic 2019.** National Geographic. <<https://www.ngenespanol.com/dato-dia/que-significa-sos/>> (consultado 6 diciembre 2023).

Desde el Herbario CICY, 16: 91-94 (9-mayo-2024), 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/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano, Patricia Rivera Pérez y Lilia Lorena Can Itzá. 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: 9 de mayo de 2024. 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.