

EFFECTO DEL ESTRÉS SALINO EN *PHASEOLUS VULGARIS* L.

Ing. Lázaro Wilfredo Ortiz del Toro¹, M. Sc. Maryla Sosa del Castillo² y M. Sc.
Conrado Camacho Campos³

1, 2, 3 Universidad de Matanzas

Resumen

En el siguiente trabajo se aborda una revisión sobre aspectos de interés del estrés salino en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). La salinización de las tierras de uso agrícola va en aumento a nivel mundial y restringe cada vez más el rendimiento de los cultivos, siendo ese efecto de mayor magnitud en las regiones áridas y en zonas agrícolas bajo riego. La salinidad es uno de los estreses ambientales más comunes que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas y continúa siendo uno de los retos más importantes para los investigadores. Se ha estimado que el estrés salino causa las pérdidas más importantes de los cultivos que cualquier otro factor, reduciendo su potencial de rendimiento en más del 50%. Se afectan indicadores importantes como es el porcentaje de germinación, vigor, longitud de raíz y parte aérea, contenido de materia fresca y seca, contenidos de proteínas y azúcares reductores.

Palabras claves: Azúcares; germinación; proteína; salinidad; *Phaseolus vulgaris* L.

Introducción.

La salinización de las tierras de uso agrícola va en aumento a nivel mundial y restringe cada vez más el rendimiento de los cultivos, siendo ese efecto de mayor magnitud en las regiones áridas y en zonas agrícolas bajo riego (Malash *et al.*, 2008; Morales *et al.*, 2010). La salinidad es uno de los estreses ambientales más comunes que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas y continúa siendo uno de los retos más importantes para los investigadores. Se ha estimado que el estrés salino causa las pérdidas más importantes de los cultivos que cualquier otro factor, reduciendo su potencial de rendimiento en más del 50%. También se ha contemplado que esta reducción en el rendimiento empeorará debido a los cambios climáticos que está sufriendo el planeta hoy en día (Jain y Saxena, 2016).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la especie entre las leguminosas de granos la más importante para el consumo humano debido a su alto contenido proteico y de minerales esenciales, siendo un producto clave en la seguridad alimentaria de la población mundial. Como resultado de estos cambios fisiológicos y bioquímicos se afectan un gran número de

procesos biológicos como la germinación, el crecimiento vegetativo, el vigor, la floración y la fructificación (Kandil *et al.*, 2016).

Desarrollo:

2.1 Origen e importancia del frijol común (Phaseolus vulgaris L)

El cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se considera uno de los más antiguos. Estas plantas leguminosas aparecieron en tierras americanas hace miles de años. México se ha reconocido como el centro más probable de origen, o al menos, como el centro primario de diversificación pues algunos de los hallazgos arqueológicos indican que se conocía hace algunos 5 000 años A.C. (Parihar *et al.*, 2015) existiendo unas 180 especies de este género, de las cuales aproximadamente el 70% provienen del continente americano.

Este grano se considera estratégico, no solo por sus propiedades nutricionales y culinarias, sino además por su presencia en los cinco continentes del mundo y su importancia para el desarrollo rural y social de muchas economías (Parihar *et al.*, 2015). Este producto es un alimento tradicional en América Latina y el Caribe. Es una de las principales fuentes de proteína en Latinoamérica y África (oscila entre el 12% y el 25% del peso de las semillas seca).

Además es una fuente significativa de vitaminas, minerales y fibra dietética, muy utilizada por los habitantes de países en desarrollo (Pérez, 2017).

2.2 Origen y causas de la salinidad en los suelos

La salinidad afecta a la humanidad desde el inicio de la agricultura. Existen registros históricos de migraciones provocadas por la salinización del suelo cultivable. La actividad antrópica ha incrementado la extensión de áreas salinizadas al ampliarse las zonas de regadío con el desarrollo de grandes proyectos hidrológicos, los cuales han provocado cambios en la composición de sales en el suelo.

El origen de la salinidad puede ser explicado por dos vías: la primera es natural, ya sea por la cercanía y la altura sobre el nivel del mar, la intemperización y la existencia de sales. También existen otras causas primarias de salinidad que se agudizan en condiciones heterogéneas de microtopografía como son: la textura, la estructura, la porosidad, la permeabilidad, la capacidad de retención de humedad y de intercambio catiónico. (Álvarez *et al.*, 2008).

La segunda causa, es el resultado de las incorrectas prácticas agrícolas del suelo y el mal manejo del agua para el riego, lo cual permite la movilidad de las sales dentro del suelo y el transporte de las mismas a nuevos sitios. Esto es conocido como proceso de salinidad antrópica o secundaria convirtiéndose la salinización de los suelos en una consecuencia del desarrollo de la sociedad humana (Álvarez *et al.*, 2008).

2.3 Efecto de la salinidad en las plantas

La salinidad de los suelos afecta la germinación, el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Su efecto negativo se debe principalmente a dos componentes: el osmótico y el iónico. El primero se deriva de la dificultad que tienen las plantas para tomar agua de un suelo salino (por la disminución del potencial hídrico del suelo); mientras que el segundo radica en la toxicidad iónica que puede provocar un exceso de sales en el interior de la célula (Munns y Tester, 2008). Las plantas han desarrollado la capacidad de detectar tanto el componente osmótico como el iónico del estrés salino (Deinlein *et al.*, 2014).

El estrés reconocido activa señales de transducción que transmiten información entre células individuales y a través de toda la planta. Como consecuencia, se producen alteraciones de la expresión génica a nivel celular, que influyen en el metabolismo y desarrollo de toda la planta. Sin embargo, la resistencia o sensibilidad a un estrés depende de la especie, el genotipo y la edad de la planta; así como de las características del estrés: severidad, duración, número de exposiciones y combinación de estreses (Deinlein *et al.*, 2014).

2.3.1. Estrés osmótico

La concentración elevada de sales en el suelo tiene un efecto osmótico sobre las plantas (estrés primario). La acumulación de iones disueltos reduce el potencial osmótico del medio y en consecuencia el potencial hídrico. Esto afecta negativamente el contenido de agua en los tejidos de la planta, ya que se dificulta la extracción de agua por las raíces y la planta experimenta una sequía fisiológica. El estrés osmótico afecta fundamentalmente el crecimiento de raíces y hojas jóvenes, debido a que el agua es indispensable para que las células desarrollen una determinada turgencia, que permita la expansión de la pared celular y el alargamiento de las células (El Goumi *et al.*, 2014).

El efecto del estrés salino en las plantas depende de la concentración de las sales presentes en el medio y de la tolerancia intrínseca que presenta la especie en cuestión. Varios autores refirieron una disminución variable del peso fresco en condiciones de salinidad en especies como *Capsicum annuum* L (El Goumi *et al.*, 2014).

Las plantas que son sometidas a estrés salino bajo o moderado pueden ajustar el desbalance osmótico y absorber cantidades de agua suficientes para lograr su desarrollo en suelos salinos (Ashraf, 2004). Un aspecto importante y que todavía se encuentra en discusión es cómo la planta percibe el estrés osmótico, ya que no se ha identificado con total claridad cuáles son las moléculas que funcionan como osmosensores en las plantas.

2.3.2 Desbalance nutricional y toxicidad iónica

Los iones más comunes que están presentes en los suelos afectados por salinidad son: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^{1-} , sin embargo, los iones tóxicos más comunes en los suelos

salinos son el sodio, el cloro y el sulfato (Munns y Tester, 2008). Se conoce que el sodio afecta la estructura física del suelo y que tanto este elemento como el cloro, son tóxicos para la planta.

La entrada de sodio provoca una disminución en la relación K^+/Na^+ que afecta de manera negativa a numerosos procesos fisiológicos de la planta. Esto se debe a las diversas funciones que desempeña el K^+ a nivel celular, el cual activa a más de 50 enzimas diferentes, participa en la biosíntesis de proteína, en el mantenimiento de la turgencia celular y en el control del cierre estomático bajo condiciones de estrés (Koksal *et al.*, 2016).

En trabajos con variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) se refirió un aumento en la relación K^+/Na^+ en variedades tolerantes en comparación con las susceptibles

La toxicidad iónica se refiere al efecto negativo que provocan los iones sobre los procesos metabólicos celulares. A este nivel, las concentraciones elevadas de Na^+ en el citosol, pueden variar el ambiente hidrofílico que rodea a las proteínas, lo cual provoca cambios conformacionales en las mismas, acompañado de una pérdida en la actividad biológica. Esto tiene consecuencias drásticas para compuestos como las enzimas que controlan el metabolismo celular y que pueden ser desnaturalizadas, si la planta no es capaz de disminuir la concentración de sales a niveles subletales.

La acumulación de Na^+ dentro de las plantas provoca daños más severos en las hojas que en las raíces. Estudios realizados por Heidari *et al.* (2011) en *Helianthus annuus* L. mostraron que la acumulación de Na^+ provocó una reducción del área foliar y en consecuencia una disminución del crecimiento de la planta. Munns y Tester (2008) refirieron que la primera fase de la respuesta al estrés por salinidad, está relacionada con el efecto de la sal fuera de la planta, la cual provoca una reducción en el crecimiento de la hoja y en menor extensión en el crecimiento de la raíz.

Numerosos autores han referido el efecto tóxico del Na^+ sobre procesos vitales como la fotosíntesis. Estudios realizados en *Zea mays* L. evidenciaron una disminución del contenido de clorofila en condiciones de estrés salino (Jaleel *et al.*, 2008), lo cual se ha relacionado con el aumento de la actividad degradativa de la enzima clorofilasa (Nazarbeygi *et al.*, 2011) o la desestabilización de los complejos proteicos asociados a membranas, que participan en el proceso de la fotosíntesis (Jamil *et al.*, 2012).

La disminución en la producción de biomasa de los brotes en las plantas puede estar relacionada con la clorosis y la necrosis de las hojas, que provoca una disminución del área fotosintéticamente activa; así como la deshidratación de los tejidos fotosintéticos. De manera similar, existen evidencias del efecto negativo que tiene el cloruro de sodio sobre el peso seco en brotes de *Jatropha curcas* L. (Elhag y Gafar, 2014) toma y translocación de iones, previendo de esta forma la alta acumulación de Na^+ y Cl^- en la hojas.

2.3.3. Estrés oxidativo

Las especies reactivas del oxígeno (EROS) son derivados del oxígeno que presentan un electrón desapareado, el cual origina su naturaleza reactiva. Entre las principales EROS se encuentran los radicales superóxido ($O_2\cdot^-$) e hidroxilo ($OH\cdot$). En condiciones normales, estos compuestos reactivos se producen en los cloroplastos, las mitocondrias y los peroxisomas, aunque los primeros son los sitios de mayor producción. En condiciones de hiperosmolaridad se incrementa la producción de los mismos y cuando alcanzan concentraciones que superan a los mecanismos de defensa antioxidantes, sobreviene el estrés oxidativo. Varios autores han referido un aumento de la peroxidación lipídica cuando se incrementa la concentración salina en el medio, en especies como *Oryza sativa* L. (Hazman *et al.*, 2015). El término estrés oxidativo ha sido reevaluado recientemente y se propone en su lugar el de “señales oxidativas”.

Entre las razones se consideró que la producción de EROS, además de constituir un proceso potencialmente dañino para las macromoléculas, los orgánulos y estructuras celulares, también representa un componente en las vías de señalización que utilizan las plantas para su desarrollo y respuesta a los cambios ambientales. Se ha descrito que las EROS tienen una función importante en la regulación de numerosos procesos biológicos tales como el alargamiento celular, la señalización mediante hormonas, la respuesta a estreses bióticos y abióticos, así como en la apoptosis o muerte celular programada.

2.4. Mecanismos de respuesta a salinidad en las plantas

En condiciones de estrés salino los cultivos pueden responder a nivel celular con cascadas de interacciones moleculares, para cambiar el perfil de expresión molecular y efectuar modificaciones postranscripcionales que abarcan un amplio espectro de procesos bioquímicos, celulares y fisiológicos. Por lo tanto, el entendimiento de las bases de la respuesta al estrés salino constituye una estrategia importante para la mejora de cultivos tolerantes a salinidad (Zhuang *et al.*, 2014).

2.4.1. Ajuste osmótico.

Una respuesta común en las plantas sometidas a estrés salino es el aumento de los niveles de compuestos osmóticamente activos u osmolitos, los cuales tienen un papel importante en el balance del potencial osmótico en las células (Cao *et al.*, 2015).

Un grupo interesante de proteínas que ha recibido gran atención, por su acumulación en los tejidos bajo condiciones de estrés osmótico, son las denominadas proteínas LEA (proteínas abundantes en la embriogénesis tardía, por sus siglas en Inglés), las cuales son muy hidrofílicas, ricas en glicina y se mantienen solubles aun cuando son sometidas a temperatura de ebullición. Estos compuestos de naturaleza proteica se han encontrado en todos los tipos de organismos. La regulación de los mismos por estrés osmótico y ácido abscísico (ABA), es un indicativo de que estas proteínas tienen una función directa en los procesos de adaptación a salinidad y a sequía (Ma *et al.*, 2015).

2.4.2. Pérdida de sales a través de la caída de las hojas y frutos

La capacidad para eliminar las especies reactivas del oxígeno y reducir los daños ocasionados a las macromoléculas, como proteínas y ADN, se considera un carácter importante de tolerancia a estrés salino (Santhanakrishnan *et al.*, 2014).

Existen dos mecanismos fundamentales para la eliminación de las especies reactivas del oxígeno: la vía no enzimática y la enzimática. En la primera participan un grupo de compuestos como los carotenoides (α -tocoferol, β -caroteno), los flavonoides, el ácido ascórbico, el glutatión reducido, los fenoles, etc. En el segundo grupo participan numerosas enzimas como la superóxido dismutasa (SOD), las catalasas y las peroxidasas, entre otras salino (Santhanakrishnan *et al.*, 2014).

Las enzimas peroxidasas están distribuidas ampliamente dentro de las plantas superiores y participan en varios procesos como la lignificación, el metabolismo de las auxinas y la tolerancia al estrés salino y a los metales pesados (Haghighi *et al.*, 2014).

Entre los antioxidantes no enzimáticos, los compuestos fenólicos constituyen un grupo químicamente heterogéneo, los cuales han sido estudiados en experimentos de tolerancia a salinidad. Varios autores han referido un aumento de estas sustancias en plantas sometidas a estrés salino. Estos compuestos han sido descritos como fuertes antioxidantes que pueden reducir la mayoría de las moléculas oxidadas entre las cuales se encuentran el oxígeno singlete, el radical superóxido, el tóxico radical hidroxilo, el peróxido de hidrógeno, así como radicales orgánicos (Santhanakrishnan *et al.*, 2014; Kumar y Chand, 2015).

Conclusiones

La germinación de las semillas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Velazco a las diferentes concentraciones de cloruro de sodio estudiadas (0 hasta 200mmol.L⁻¹), demuestra cierta tolerancia de la variedad al estrés salino durante este proceso. Contenidos superiores a 150mmol.L⁻¹ afectaron el crecimiento de las radículas e hipocótilos de las plántulas aunque no de manera drástica. Las mayores concentraciones de NaCl (150 y 200 mmol.L⁻¹) provocaron un aumento en los niveles de azúcares reductores y proteínas solubles.

Referencias bibliográficas

ÁLVAREZ, A., BAÑOS, R. y OTERO, L. *Salinidad y uso de aguas salinas para la irrigación de cultivos y forrajes en Cuba*, vol. 2, 2008, pp. 1-12.

ASHRAF, M. y HARRIS, P.J.C. *Potential Biochemical Indicators of Salinity Tolerance in Plants*, 2004, pp. 31-46.

CAO, J., YUN LU, X., CHEN, L., XING, J.J. y LAN, H.Y. *Effects of salinity on the growth, physiology and relevant gene expression of an annual halophyte grown from heteromorphic seeds*. 2015 (en línea). (fecha de consulta: Disponible en: <http://aoppla.oxfordjournals.org/>).

EL GOUMI, Y., FAKIRI, M., LAMSAOURI, O. Y BENCHEKROUN, M. *Salt stress effect on seed germination and some physiological traits in three Moroccan barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars*, 2014, pp. 625-63.

HAZMAN, M., HAUSE, B., EICHE, E., NICK, P. Y RIEMANN, M. *Increased tolerance to salt stress in OPDA-deficient rice Allene oxide cyclase mutants is linked to an increased ROS-scavenging activity*. *Journal of Experimental Botany*, 2015, pp. 3339-3352.

HEIDARI, M. Y GOLPAYEGANI, A. *Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.)*. 2011, pp. 57-61.

JAIN, CH. y SAXENA, R. *Varietal differences against PEG induced drought stress in cowpea*. *Octa Journal of Environmental Research*, 2016, pp. 2321 3655.

JALEEL, A.C., SANKAR, B., SRIDHARAN, R. y PANNEERSELVAN, R. *Soil salinity alters growth, chlorophyll content, and secondary metabolite accumulation in *Catharanthus roseus**. *Turk J Biol.*, 2008, pp. 79-83.

JAMIL, M., BASHIR, S., ANWAR, S., BIBI, S., BANGASH, A., ULLAH, F. y SHIKRHA, E. *Effect of salinity on physiological and biochemical characteristics of different varieties of rice*. *Pakistan Journal of Botany*, 2012, pp. 7-13.

KANDIL, A.A., SHARIEF, A.E. y SHARIEF, S.A. *Effect of salinity stress on seedlings parameters of some canola*. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 2016, pp. 10-18.

KUMAR, P.M. y CHAND, U.B. *Influence of salt stress on enzymatic and non-enzymatic antioxidant activity during hardening of a vegetatively propagated mangrove species Excoecaria agallocha L.* Asian Journal of Plant Science and Research. 2015, pp. 4-10.

MA, C., WANG, H., MACNISH, A.J., ESTRADA-MELO, A.C., LIN, J., CHANG, y REID, M.S., JIANG, C.Z. *Transcriptomic analysis reveals numerous diverse protein kinases and transcription factors involved in desiccation tolerance in the resurrection plant Myrothamnus flabellifolia.* Horticulture Res. 2015, pp. 15-34.

Malash, N., F. Ali, M. Fatahalla, E. Khatabb, M. Hatemb y F. Tawficb. Response of tomato to irrigation with saline water applied by different irrigation methods and water management strategies. International Journal of Plant Production, vol. 2, 2008, pp.101-116.

Morales, D.; P. Rodríguez; J.M. Dell'Amico; A.Torrecillas; M.J. Sánchez: Efecto del estrés por NaCl en el crecimiento y las relaciones hídricas en planta de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) durante el período vegetativo. Cultivos Tropicales, no.4, vol. 31, 2010, pp. 76-81,

Parihar, P., Singh, S., Prasad, S. M. *Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: areview.* Environmental Science and Pollution Research. 2015, pp. 56-75.

Pérez- Nasser, S. *Efecto del CaCl₂ sobre el contenido de proteínas, prolina, acidez titulable, clorofila y contenido relativo de agua de Aloe vera expuesta a salinidad por NaCl.* Biota Colombiana, vol. 18, pp. 2017.

SANTHANAKRISHNAN, D., KANNAN, R.P. y CHANDRASEKARAN, B. *Effect of tannery soaking water on antioxidant enzymes of Salicornia brachiata.* Int. J. Curr. Microbiol., 2014, pp. 359-367.