
ARTÍCULO DE REVISIÓN

Tolerancia a la salinidad en especies cespitosas

Salinity tolerance in turfgrass species

Wendy M. Ramírez-Suárez y Luis A. Hernández-Olivera

*Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey,
Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior
Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba
Correo electrónico: wendy.ramirez@ihatuey.cu*

RESUMEN: La salinidad constituye uno de los problemas que afectan el desarrollo sostenible de la jardinería en polos turísticos, campos de golf, espacios públicos y terrenos deportivos; al causar estrés en las especies cespitosas y deteriorar la estructura del suelo. La producción de césped en Cuba se realiza en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (provincia de Matanzas), y su punto de partida son los resultados que se obtienen a nivel internacional para buscar alternativas que permitan un mayor aprovechamiento de los suelos degradados por la salinización y el incremento del potencial de producción del césped con la calidad requerida. El objetivo de este artículo es contribuir al conocimiento de la tolerancia a la salinidad en especies cespitosas. Se abordan los tipos de estrés en las plantas, especialmente el estrés que originan los suelos salinos; los mecanismos de tolerancia a la salinidad en las plantas y los estudios realizados en algunas especies cespitosas tolerantes a la salinidad. La comprensión de los mecanismos fisiológicos y bioquímicos y la evaluación de las especies cespitosas resultan esenciales para dar una solución práctica al problema de la salinidad y establecer un correcto manejo en las áreas de césped.

Palabras clave: conductividad eléctrica, estrés abiótico, suelo salino

ABSTRACT: Salinity constitutes one of the problems that affect the sustainable development of gardening in tourism areas, golf courses, public spaces and sports fields; by causing stress in the turfgrass species and deteriorating the soil structure. Turfgrass production in Cuba takes place at the Research Station Indio Hatuey Pastures and Forages (Matanzas province), and its starting point are the results obtained at international level to search for alternatives that allow higher utilization of salinization-degraded soils and the increase of the production potential of the grass with the required quality. The objective of this paper is to contribute to the knowledge of salinity tolerance in turfgrass species. It approaches the stress types in plants, especially the stress caused by saline soils; the salinity tolerance mechanisms in plants and the studies conducted in some salinity-tolerant turfgrass species. Understanding the physiological and biochemical mechanisms and evaluating turfgrass species are essential to provide a practical solution for the salinity problem and establish a correct management in the turfgrass areas.

Keywords: electrical conductivity, abiotic stress, saline soil

INTRODUCCIÓN

La versatilidad y funcionalidad de las especies cespitosas ha tenido un impacto determinante en el crecimiento acelerado de la industria del césped en numerosos países, cuyo valor de mercado ha llegado a alcanzar los 35 billones de dólares solo en Estados Unidos. El incremento de la superficie dedicada al cultivo de plantas cespitosas crece directamente proporcional al aumento de los núcleos de población en las zonas urbanas, por lo que la demanda de plantas de uso paisajístico y para áreas recreativas asciende exponencialmente (Huang *et al.*

2014). En este sentido, Cuba no es una excepción. En las costas cubanas se encuentran enclavados los principales polos turísticos del país, los cuales demandan para su entorno grandes superficies cubiertas por césped, al igual que los campos de golf que se han convertido en una fuente principal de ingresos a través del turismo internacional (Marrero, 2006).

Sin embargo, uno de los principales retos a los que se enfrenta la industria del césped es mantener un césped de alta calidad en condiciones edafoclimáticas adversas, con un mínimo de insumos y un escaso o nulo impacto ambiental. La forma más efectiva

de abordar esta problemática es el desarrollo, la introducción y la explotación de germoplasma tolerante a los principales factores de estrés que afectan a las especies cespitosas (Huang *et al.*, 2014).

Estas especies cespitosas se ven afectadas por varios factores de estrés abiótico que influyen fundamentalmente en la calidad estética, la funcionalidad y los rendimientos del césped. En tal sentido, no es de extrañar que la mayoría de los programas de mejora en los últimos años se hayan dirigido a la obtención de variedades tolerantes a factores de estrés abiótico, como la salinidad (Abogadallah *et al.*, 2010), la sequía (Barnes *et al.*, 2014), la sombra (Trappe *et al.*, 2011) y las bajas temperaturas (Li *et al.*, 2010), entre otros.

El estrés hídrico (provocado por la salinidad y/o la sequía) es uno de los factores abióticos más estudiados, por dos motivos fundamentales: en primer lugar, porque causa severos daños a las plantas; y, en segundo lugar, por la gran extensión de suelo que se afecta por estos factores limitantes (Marcum, 2014). Los efectos negativos de este tipo de estrés aumentan significativamente en las zonas costeras por el llamado «efecto isla», debido al alto contenido de sales de las aguas (Tang *et al.*, 2013; Manuchehri y Salehi, 2014).

La producción actual de césped en Cuba está liderada por la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (provincia de Matanzas), que cuenta con un servicio de encespado que incluye la venta, la siembra, el establecimiento, la fertilización, la atención fitosanitaria y la rehabilitación del césped, y a la vez se encamina a mejorar la calidad de los campos de golf, los campos deportivos, los jardines y los espacios públicos, sin olvidar el obligado respeto por el medio ambiente. Asimismo, dicha institución trabaja en el establecimiento y la evaluación de gramíneas tolerantes a la salinidad y se proyecta por implementar una tecnología que evite consumos excesivos de agua, para conseguir un desarrollo sostenible en la nueva jardinería.

Teniendo en cuenta tal problemática, el objetivo de este artículo es contribuir al conocimiento de la tolerancia a la salinidad en especies cespitosas.

Distribución, morfología y clasificación de las especies cespitosas

Taxonómicamente la mayoría de las especies cespitosas pertenecen a la familia *Poaceae*, que se considera de gran importancia por su distribución cosmopolita y por su utilidad (Kellogg, 2001).

La familia *Poaceae*, la más extensa de las plantas con flores, comprende más de 9 000 especies distribuidas prácticamente en todos los ecotipos del planeta. Sin embargo, solo cerca de cincuenta de estas especies reúnen las características agromorfológicas adecuadas para ser explotadas, por su valor funcional, recreativo y ornamental, como plantas formadoras de césped. Además de actuar como cubierta vegetal en parques públicos, jardines, entornos paisajísticos, campos de golf y espacios deportivos; son capaces de reducir la erosión del suelo, eliminar el polvo y la suciedad del aire, liberar oxígeno y actuar como filtro natural, eliminando los contaminantes de las aguas subterráneas (Uddin y Juraimi, 2013).

Las especies cespitosas se reproducen mediante semillas, aunque también se pueden establecer vegetativamente mediante estolones, tepes y/o esquejes. Presentan un sistema de raíces denso y fibroso que se extiende fundamentalmente entre los primeros 15-30 cm de suelo. En las cespitosas existen tres tipos de tallo: la corona, el tallo floral y los rastreros o laterales, llamados estolones o rizomas (Uddin y Juraimi, 2013).

De acuerdo con los rangos de adaptación a las diferentes condiciones de precipitación y temperatura, las especies cespitosas se pueden agrupar en megatérmicas (latitudes cálidas) y mesotérmicas (latitudes frías). Las megatérmicas se desarrollan en un rango de temperatura óptimo que varía entre los 24 y 35 °C y comprenden especies perennes como *Buchloe dactyloides* Nutt. (pasto búfalo), *Zoysia japonica* Steud. (zoysia), *Cynodon dactylon* L. Pers. (bermuda), *Eremochloa ophiuroides* Munro (pasto ciempiés), *Paspalum vaginatum* Sw. (paspalum), *Stenotaphrum secundatum* Walt. Kuntze (San Agustín), entre otras. Por otro lado, las especies mesotérmicas se desarrollan en un rango de temperatura entre los 10 y 22 °C y comprenden especies perennes y anuales como *Festuca arundinacea* Schreb. (festuca), *Poa pratensis* L. (Poa), *Lolium perenne* L. (raygrás), *Festuca rubra* var. *commutata* y *Festuca ovina* var. *duriuscula* (festuca fina), y *Agrostis stolonifera* L. (agrostis), (Huang *et al.*, 2014).

Las características morfoagronómicas más importantes que necesitan tener las especies para la formación del encespado son: rápida germinación y establecimiento, textura (ancho de hoja) fina, color intenso, sistema radical fuerte, resistencia al pisoteo, adaptación al corte bajo y crecimiento rastrero y lento, además de presentar resistencia y/o tolerancia a los estreses bióticos y abióticos.

Estrés abiótico y cambio climático

En biología, el concepto de estrés es difícil de definir, teniendo en cuenta que una determinada condición biológica puede representar estrés para un organismo y, al mismo tiempo, ser óptima para otro. De forma práctica, podría considerarse como toda fuerza o condición adversa que inhibe el funcionamiento normal de un sistema biológico (Mahajan y Tuteja, 2005). El término estrés en el marco de la fisiología vegetal «muestra la magnitud de presión ambiental que fuerza al cambio en la fisiología de una planta» (Nilsen y Orcutt, 1996). Levitt (1980) define el estrés como: «cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para los organismos vivos».

Las plantas se ven afectadas fundamentalmente por dos tipos de estrés: los bióticos y los abióticos (físicos o químicos). Los bióticos son originados por organismos vivos y comprenden las alelopatías y la susceptibilidad a las plagas y las enfermedades; mientras que los abióticos son de tipo ambiental, como la salinidad, las altas/bajas temperaturas, la sequía, la sombra, la contaminación atmosférica y las toxinas, entre otros. Los estreses abióticos se consideran uno de los principales factores que limitan la distribución de las plantas y la productividad de los cultivos agrícolas, ya que afectan negativamente el crecimiento y la productividad de las plantas y desencadenan una serie de trastornos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares (Bhatnagar-Mathur *et al.*, 2008; Cheng, 2014).

En las últimas décadas, la elevación del nivel de CO₂ en la troposfera ha sido el desencadenante del calentamiento global y del llamado cambio climático. Estas condiciones han dado lugar a la aparición, cada vez con mayor frecuencia, de condiciones climáticas extremas, como extensos períodos de sequía e inundaciones, calor prolongado o bajas temperaturas; así como al incremento de la salinización de los suelos en muchas regiones del mundo, debido a la elevación del nivel del mar (Feng *et al.*, 2014; Flowers y Colmer, 2015). Estos fenómenos atmosféricos afectan drásticamente el crecimiento y la productividad de las plantas, y constituyen una amenaza creciente para la sostenibilidad en la agricultura, la biodiversidad y la homeostasis de los ecosistemas (Feng *et al.*, 2014).

La salinización es uno de los retos ambientales más urgentes por resolver, debido a las perturbaciones que causa en las comunidades y en los procesos microbianos, lo cual afecta el ciclo del C en el suelo

(Rath y Rousk, 2015); ello pudiera limitar el papel del suelo como un importante sumidero de carbono que contribuye a la mitigación del cambio climático.

En este contexto ecológico es necesario identificar y estudiar los mecanismos de las plantas que logran sobrevivir en ambientes tan complejos.

La salinización de los suelos. Causas y origen

Actualmente, la salinización y sodificación de los suelos atenta contra la fertilidad de estos y la productividad de los cultivos (Singh, 2015); este fenómeno se ha convertido en un problema mundial, que afecta a casi un tercio de las tierras dedicadas a la agricultura, y resulta más grave en las regiones áridas y semiáridas, donde las escasas lluvias reducen la posibilidad del lavado de las sales que se van suministrando con las aguas de riego. El incremento de la demanda de agua en el mundo, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, ha forzado a los agricultores a emplear agua de mala calidad en la agricultura, principalmente la que procede de pozo, con una elevada concentración de sales que, a menudo, superan los límites de tolerancia a la sal de muchos cultivos y limitan, por tanto, su producción (Zhang *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2014; Manuchehri y Salehi, 2014).

La salinización de los suelos precede al origen de la civilización humana y continúa siendo en la actualidad el principal estrés abiótico que perjudica la productividad y calidad de las cosechas (Lamz y González, 2013). Aproximadamente el 20 % del área cultivada a nivel mundial y cerca de la mitad de las tierras irrigadas se encuentran afectadas por este factor (Zulkaliph *et al.*, 2013; Egamberdieva y Lugtenberg, 2014); estudios recientes sitúan el crecimiento de las áreas afectadas por la salinidad entre 1,0 y 1,5 millones de hectáreas por año (Wu *et al.*, 2014; Zhang, 2014). Esta situación se agudiza cada día más, debido a la falta de conciencia medioambiental y a la explotación irracional de los recursos hídricos, además de otros factores edafoclimáticos que influyen directamente sobre la salinidad de los suelos (Lamz y González, 2013). En este sentido, Cuba tiene una superficie agrícola de 6,7 millones de hectáreas, de las cuales el 15 % aproximadamente (un millón de hectáreas) se encuentra afectada por salinidad o sodicidad, y ello limita el potencial productivo de los suelos cubanos (Rodríguez, 2015).

Lamz y González (2013) plantearon que el término salinidad se refiere a la presencia de una

elevada concentración de sales que perjudica a las plantas por su efecto tóxico y por la disminución del potencial osmótico del suelo.

El fenómeno de la salinización puede tener varias causas; la salinización primaria o natural ocurre en los suelos que, desde su formación, presentan acumulación de sales por la descomposición de las rocas o por la actividad volcánica; y se encuentra en lugares donde la evaporación es mayor que la precipitación, en lugares cercanos al mar o donde existan manantiales salinos y mantos freáticos salinos (Gómez *et al.*, 2009). Sin embargo, la más común es la salinización secundaria, provocada fundamentalmente por los efectos del regadío, el uso de aguas de mala calidad, el drenaje restringido, la baja permeabilidad del suelo y el mal uso de la fertilización; lo que causa la acumulación de sales solubles, principalmente sodio, en los horizontes superiores. Esta situación trae consigo la pérdida de productividad de las tierras y su consiguiente abandono (Egamberdieva y Lugtenberg, 2014).

Álvarez-Menéndez *et al.* (2008) señalaron que las fuentes naturales de sales en el proceso de salinización en Cuba son:

- Los aerosoles marinos llevados por la circulación atmosférica de los vientos predominantes (este-sudeste y vientos alisios del sudeste) y por olas de vientos fríos acompañantes del norte.
- Los antiguos sedimentos marinos al norte y al sur del archipiélago cubano, constituidos por rocas salinas de yeso y arenosas.
- La acumulación de sedimentos continentales traídos por los ríos desde las montañas hacia las áreas planas durante el período cuaternario.
- La intrusión del mar en acuíferos subterráneos cálcicos por debajo del nivel del mar.
- El viento proveniente de regiones áridas también puede contribuir al proceso de salinización, arrastrando gran cantidad de sales, principalmente carbonatos, sulfatos y cloruros que se encuentran en suspensión (Fuentes *et al.*, 2007; Wu *et al.*, 2014).

Los principales constituyentes solubles del suelo relacionados con la salinidad son los cationes (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+), los aniones (Cl^-), el sulfato (SO_4^{2-}), el bicarbonato y/o carbonato ($\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$) y el nitrato (NO_3^-) (Nizam, 2011; Alshammari, 2013; Wu *et al.*, 2014). Las altas concentraciones de sal (en particular de Na^+) que se depositan pueden alterar su textura básica; los cationes Na^+ desplazan el Ca^{2+} del complejo arcillo-húmico y degradan la estructura del suelo, lo que conlleva una disminución

de la porosidad y, consecuentemente, una reducción de la aeración. También las altas concentraciones de sal generan zonas de bajo potencial de agua, lo que origina una mayor dificultad en la planta para adquirir tanto el agua como los nutrientes. Por lo tanto, el estrés salino esencialmente ocasiona condiciones de déficit de agua en la planta y, de esta forma, toma las características de sequía fisiológica. Los iones de mayor complicación en el estrés salino son: Na^+ , K^+ , H^+ y Ca^{2+} (Mahajan y Tuteja, 2005).

Los índices que más se emplean para representar la salinidad de un suelo son el total de sólidos disueltos (TDS) y la conductividad eléctrica (CE); este último se fundamenta en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución. Años atrás se expresaba en mmhos/cm, actualmente se expresa en $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (dS = deciSiemens) a 25 °C (Uddin y Juraimi, 2013); ambas medidas son equivalentes ($1 \text{ mmhos/cm} = 1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). Desde el punto de vista agrícola un suelo es clasificado como salino cuando tiene altas concentraciones de sales solubles, con una CE de $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ o mayor (Uddin y Juraimi, 2013).

Efecto del estrés salino sobre los procesos de las plantas

La mayoría de las plantas cultivadas (cereales, hortalizas, cespitosas y otros cultivos industriales, etc.) son susceptibles al estrés salino ($\text{CE} > 4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), con la consiguiente reducción de la productividad debido a una nutrición inadecuada (Egamberdieva y Lugtenberg, 2014).

La intensidad con que cada condición de estrés afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas depende de varios factores, entre los cuales se incluyen: las características morfofisiológicas de la especie, el cultivar, el estado fenológico, los tipos de sales solubles, la intensidad y duración del estrés y las condiciones edafoclimáticas (Shahba *et al.*, 2008; Manuchehri y Salehi, 2014). Las consecuencias del crecimiento en un medio salino se deben fundamentalmente, según señalan Lamz y González (2013), Bizhani y Salehi (2014) y Manuchehri y Salehi (2014), al efecto individual o combinado de los siguientes factores de estrés:

El estrés hídrico. La presencia de solutos produce la disminución del potencial osmótico de la solución de suelo (estrés osmótico).

La toxicidad asociada al incremento de iones específicos, como sodio y cloro (estrés salino).

El desbalance nutricional debido a las altas concentraciones de sodio y cloruro que reducen la captación de K^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , etc.

La acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS) que destruyen las membranas celulares y afectan moléculas vitales, como las proteínas y los ácidos nucleicos.

Efecto del estrés salino en especies cespitosas

La salinidad es el principal estrés abiótico que influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas formadoras de césped; afecta el normal desarrollo de la planta a los niveles morfológico, fisiológico y bioquímico; y, por consiguiente, disminuye la calidad visual y apariencia estética del césped. Sus efectos en el crecimiento de las cespitosas se resumen en: la reducción de la asimilación de agua debido al estrés osmótico, la reducción de la asimilación de nutrientes (por ejemplo, la asimilación de potasio se ve disminuida por la entrada de Na^+) y el incremento de la biomasa de las raíces, lo que eleva la absorción de agua y causa interferencias con el proceso fotosintético (Uddin y Juraimi, 2013). En la tabla 1 se describen algunos estudios acerca de los efectos más comunes ocasionados por el estrés salino en las cespitosas.

Mecanismos fisiológicos, bioquímicos y moleculares de la tolerancia a la salinidad

El conocimiento de los mecanismos del fenómeno de la tolerancia a la salinidad en las plantas es elemental para enfrentar esta problemática mundial.

Las plantas no pueden escapar a los factores de estrés como lo hacen los animales, sino que tienen que hacer frente a los cambios medioambientales. Es por ello que la comprensión de los mecanismos de respuesta de las plantas al estrés constituye una herramienta eficaz para los agrónomos, los mejoradores y los horticultores, al servir de base para el desarrollo de estrategias y tecnologías que mejoren la resistencia de los cultivos a los estreses (Cheng, 2014).

Como resultado del estrés salino, las plantas (incluidas las cespitosas) pueden responder con un amplio rango de soluciones fisiológicas a nivel molecular, celular y de organismo (Huang *et al.*, 2014). Estas incluyen, por ejemplo, cambios en el desarrollo y la morfología (inhibición del crecimiento apical, incremento en el crecimiento de las raíces y cambios en el ciclo de vida), ajuste en el transporte iónico

(concentración, expulsión y secuestro de iones entre los que destacan el Na^+ y el K^+), regulación de los sistemas de defensa antioxidantes, cambios en la expresión de genes y proteínas involucradas en la respuesta a la salinidad, así como otros mecanismos metabólicos (metabolismo del carbono y la síntesis de solutos compatibles) (Fuentes *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2014). Sin embargo, las plantas no responden de la misma forma al estrés salino. Es por ello que, de acuerdo con su capacidad de adaptación a elevadas concentraciones de sales, se clasifican en halófitas y glicófitas (Roy y Chakraborty, 2014):

- Halófitas: son aquellas plantas nativas de suelos salinos que son capaces de cumplir todo su ciclo ontogénico en ese ambiente y poseer mecanismos para la eliminación de sales de los tejidos internos.
- Glicófitas: son aquellas plantas afectadas por la sal e incapaces de resistir determinadas concentraciones salinas como lo hacen las halófitas.

Los mecanismos de respuesta de las plantas (incluidas las cespitosas) al estrés salino se pueden resumir en tres fases fundamentales: 1) ajuste osmótico, 2) homeostasis iónica (regulación del transporte iónico), y 3) eliminación de especies reactivas de oxígeno. Ello es objeto de discusión en los artículos relacionados con los mecanismos de tolerancia a factores de estrés abiótico (Lamz y González, 2013; Uddin y Juraimi, 2013; Huang *et al.*, 2014; Roy y Chakraborty, 2014; Flowers y Colmer, 2015; Uzilday *et al.*, 2015).

Flowers y Muscolo (2015) plantearon que las halófitas son poco frecuentes en relación con el número total de plantas con flores. El orden Poales comprende el 8,1 % de todas las especies vegetales halófitas. Este tipo de plantas se ha clasificado, según Roy y Chakraborty (2014), como Salt Tolerant Grasses (STGs), y constituye la fuente más importante de genes tolerantes a la salinidad. El mecanismo principal de supervivencia de estas plantas en ambientes salinos es la regulación del transporte iónico, y más específicamente su capacidad de eliminar el Na^+ tóxico y reemplazarlo por K^+ , lo que se conoce como selectividad del K^+ sobre el Na^+ (Roy y Chakraborty, 2014). Además, otro mecanismo de tolerancia a la salinidad que se reporta en todas las subfamilias de *Poaceae*, excepto en *Pooideae*, es la presencia de glándulas de la sal; las cuales desempeñan un papel importante en la regulación del equilibrio iónico de las especies de esta familia (Céccoli *et al.*, 2015).

Tabla 1. Efecto del estrés salino en gramíneas cespitosas

Especie estudiada	CE (dS.m ⁻¹)*	Efecto observado	Fuente
<i>Cynodon dactylon</i>	6	Pérdida de iones; disminución del contenido de agua y clorofila, y de la tasa fotosintética en las hojas.	Manuchehri y Salehi (2014)
	33	Disminución del crecimiento de las hojas y el peso de los tallos, y efectos negativos sobre la estética del césped.	Chen <i>et al.</i> (2014)
	5	Reducción de: el tamaño de los tallos, el peso seco y fresco de la planta, el área foliar, la tasa fotosintética y el contenido de clorofila.	Bizhani y Salehi (2014)
Cultivares de <i>Festuca rubra</i> , <i>F. longifolia</i> y <i>F. ovina</i>	6	Disminución del porcentaje de germinación y del crecimiento vegetativo (peso del tallo y las raíces, contenido de agua).	Zhang <i>et al.</i> (2013)
<i>Festuca</i> spp., <i>Poa pratensis</i> , <i>Puccinellia distans</i>	6-10	Disminución del porcentaje de germinación y el área foliar.	Zhang <i>et al.</i> (2011)
Cultivares de <i>Festuca</i> spp., <i>Agrostis</i> spp., <i>Puccinellia</i> spp. y <i>Deschampsia cespitosa</i>	14	Disminución de la intensidad del color verde del follaje.	Friell <i>et al.</i> (2013)
<i>Lolium perenne</i>	8	Inhibición del crecimiento de la raíz, aumento de la mortalidad de las plantas; disminución de la tasa de germinación, la longitud de la raíz y el tallo, el número de hojas, así como el peso seco/fresco de las plantas.	Nizam (2011)
<i>Poa pratensis</i>	2,5	Reducción de: el tamaño de los tallos, el peso seco y fresco de la planta, el área foliar, la tasa fotosintética y el contenido de clorofila.	Bizhani y Salehi (2014)
<i>Zoysia japonica</i>	36,0	Reducción del crecimiento del tallo y la raíz y de la calidad del césped	Uddin <i>et al.</i> (2010)
<i>Stenotaphrum secundatum</i>	31,8		Uddin <i>et al.</i> (2011)
<i>C. dactylon</i> (satiri)	30,9		
<i>Zoysia tenuifolia</i>	28,4		
<i>Digitaria didactyla</i>	26,4		
<i>C. dactylon</i> (Tifdwarf)	25,7		
<i>Paspalum notatum</i>	20,8		
<i>Axonopus compressus</i>	18,6		
<i>Paspalum vaginatum</i>	36,5	Reducción del 50 % en el crecimiento de los brotes	Uddin <i>et al.</i> (2010)
	49,4	Reducción del 50 % en el crecimiento de la raíz	

* Se refiere a la conductividad eléctrica (CE) o rango de esta a la que se observaron los efectos.

En varias especies cespitosas halófitas se ha identificado en las hojas la presencia de glándulas excretoras de la sal. Estas glándulas se identifican generalmente por su morfología mediante procedimientos convencionales de tinción, junto con

la microscopía óptica. Parthasarathy *et al.* (2015) emplearon microscopía de barrido electroquímico para identificar las glándulas no solo por su morfología, sino también por su comportamiento en la especie *C. dactylon* L.

El estudio de los mecanismos que influyen significativamente en el establecimiento y supervivencia de las halófitas proporciona información básica sobre el funcionamiento de estas plantas en condiciones de estrés salino, lo que contribuirá a la transformación de los cultivos actuales, así como a proporcionar nuevos cultivos tolerantes (Flowers y Muscolo, 2015).

Mejoramiento genético y selección para la tolerancia a la salinidad en cespitosas

En los últimos años las variables más empleadas como criterios de selección han sido la apariencia y la resistencia o tolerancia a factores de estrés biótico y abiótico (Florkowski y He, 2008). Esto ha permitido que dichos criterios se encuentren dirigidos hacia aquellos aspectos que se aproximan a una gestión más ecológica de los céspedes, tales como:

- La tolerancia a la sequía (disminución del riego)
- La tolerancia al calor
- La tolerancia a la salinidad (riego con aguas recicladas)
- La tolerancia a la sombra (buen desarrollo bajo los árboles)

Existe consenso en que el método más efectivo para reducir el efecto de estos factores limitantes es la obtención de variedades resistentes y/o tolerantes, a través de programas de mejora genética adaptados a las condiciones particulares de cada localidad (Koc *et al.*, 2009; Abogadallah *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2010; Patton, 2010; Trappe *et al.*, 2011).

El estudio y evaluación de la variabilidad en cuanto a la tolerancia a la salinidad de las especies en su medio natural (Hu *et al.*, 2013; Lamz y González, 2013), así como la búsqueda de fuentes de resistencia mediante la caracterización y la evaluación de colecciones de germoplasma (Friell *et al.*, 2013; Roy y Chakraborty, 2014) son los puntos de partida clave para el desarrollo de programas de mejora genética e introducción de variedades tolerantes. En este sentido, los avances en la biotecnología y la ingeniería genética se han empleado con éxito en la obtención de nuevos cultivares. Así se ha logrado mejorar la tolerancia al estrés salino en clones transgénicos de *C. dactylon* y *Lolium multiflorum*, en comparación con las variedades silvestres (Huang *et al.*, 2014). Por su parte, Ma *et al.* (2014) lograron expresar genes de *Arabidopsis thaliana* en *F. arundinacea*, con lo cual mejoró la tolerancia a la salinidad.

Especies cespitosas tolerantes a la salinidad

La gran cantidad de estudios sobre especies cespitosas tolerantes a la salinidad muestra la preponderancia que ha adquirido este estrés abiótico en los últimos años. Manuchehri y Salehi (2014) informaron que *C. dactylon* es capaz de adaptarse de forma moderada a diferentes condiciones combinadas de salinidad y sequía, con la activación de sus mecanismos de ajuste osmótico y la regulación de las enzimas que controlan la actividad antioxidante. Por su parte, Zhang *et al.* (2013) analizaron el comportamiento de nueve cultivares de *Festuca* en un rango de CE entre 0-12 dS.m⁻¹ y observaron una tolerancia significativa de los cultivares Slender y Stonewall a concentraciones altas de salinidad (9-12 dS.m⁻¹). En un estudio más amplio en 74 cultivares de diferentes especies cespitosas, *F. arundinacea* mostró un mejor comportamiento y mantuvo una calidad media en el color verde del follaje a una CE de 14 dS.m⁻¹ (Friell *et al.*, 2013).

En un análisis comparativo de la tolerancia a la salinidad en doce variedades de césped, Zhang *et al.* (2011) hallaron que *P. pratensis* tuvo el mejor comportamiento en cuanto a la tasa de germinación y área foliar en un medio con alto contenido de NaCl. Sin embargo, Bizhani y Salehi (2014) establecieron rangos de tolerancia a la salinidad muy bajos para *P. pratensis* (CE = 2,5 dS.m⁻¹) comparado con otras especies cespitosas.

Nizam (2011) estudió la germinación y el crecimiento de las plántulas de *L. perenne* en diferentes condiciones de estrés y encontraron una tolerancia a la salinidad hasta CE = 8 dS.m⁻¹. Por su parte, Chen *et al.* (2014) identificaron las fuentes de tolerancia a la salinidad en 900 entradas de germoplasma silvestre de *C. dactylon*, con lo que establecieron las bases para futuros programas de mejora en esta especie.

Uddin *et al.* (2011) compararon la tolerancia a la salinidad en varias especies cespitosas y establecieron un rango de mayor a menor grado de tolerancia: *Z. japonica* > *S. secundatum* > *C. dactylon* > *Zoysia tenuifolia* > *Digitaria didactyla* > *C. dactylon* (Tifdwarf) > *Paspalum notatum*.

En un estudio de tolerancia a la salinidad en 35 variedades locales de césped en Malasia, Zulkaliph *et al.* (2013) encontraron tolerancia con una concentración de EC = 24 dS.m⁻¹ en las especies *P. vaginatum* (UPM), *P. vaginatum* local, *Zoysia matrella*, *Z. japonica*, *C. dactylon* satiri y *C. dactylon* (Kuala Muda).

Uddin y Juraimi (2013) resumieron la capacidad de tolerancia a la salinidad en las principales especies

cespitosas (tabla 2); *P. vaginatum*, *Z. japonica* y *S secundatum* fueron las especies megatérmicas con mejores resultados

Por su parte, Ruiz *et al.* (2007) evaluaron la salinidad de un suelo cultivado con algunas especies de pastos, entre ellas *C. dactylon*, las cuales poseen propiedades excretoras de la sal, como un mecanismo fisiológico de tolerancia a este factor y encontraron una tendencia a la reducción de las sales, una reducción de la conductividad eléctrica y de la concentración de cationes y aniones formadores de sales. Ello evidenció que estas especies en suelos salinizados pueden constituir un mejorador natural ante este problema.

En macetas de plástico preparadas con un sustrato de arena y turba (9:1), Uddin *et al.* (2010) evaluaron la tolerancia a la salinidad teniendo en

cuenta el crecimiento de las raíces y de los brotes y las quemaduras en las hojas en especies que fueron sometidas a diferentes concentraciones de salinidad (0, 24, 48, y 72 dS.m⁻¹) mediante el riego con agua de mar. Se agruparon las especies *P. vaginatum* y *Z. matrella* como las más tolerantes, capaces de sobrevivir a altas concentraciones de salinidad (entre 36,5 y 49,4 dS.m⁻¹). En el segundo grupo la tolerancia a la salinidad de las especies fue moderada: *P. vaginatum* local y *C. dactylon* fueron capaces de tolerar valores de CE entre 25,9 y 29,9 dS.m⁻¹; mientras que en el grupo de menor tolerancia se ubicaron las especies *C. dactylon* Greenles, *E. ophiuroides*, *Axonopus compressus* y *Axonopus affinis*; estas variedades se afectaron en el rango de concentraciones de salinidad entre 17,0 y 26,0 dS.m⁻¹.

Tabla 2. Tolerancia a la salinidad en las principales especies cespitosas.

Especies	Tolerancia
Mesotérmicas	
<i>Puccinellia spp.</i> (Alkaligrass)	T
<i>Poa annua</i> L. (Blue grass)	S
<i>Lolium multiflorum</i> (Annual ryegrass)	MS
<i>Festuca rubra</i> L. spp. (Chewing fescue)	MS
<i>Agrostis tenuis</i> (Colonial bent grass)	S
<i>Agrostis palustris</i> (Creeping bent grass)	MS
<i>Festuca rubra</i> L. spp. rubra (Creeping red fescue)	MT
<i>Agropyron cristatum</i> (Fairway wheat grass)	MS
<i>Festuca longifolia</i> Thuill. (Hard fescue)	MT
<i>Poa pratensis</i> L. Kentucky (Blue grass)	MS
<i>Lolium perenne</i> L. (Perennial rye grass)	S
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb. (Tall fescue)	MT
Megatérmicas	
<i>Paspalum notatum</i> Flugge (Bahia grass)	MS
<i>Cynodon dactylon</i> (Bermuda Tifdwarf)	MS
<i>Cynodon dactylon</i> (Bermuda Satiri)	MT
<i>Bouteloua gracilis</i> (H.B.K) (Blue Grama)	MT
<i>Bouteloua dactyloides</i> Nutt. (Buffalo grass)	MT
<i>Eremochloa ophiuroides</i> (Centipedegrass) Munro	S
<i>Paspalum vaginatum</i> (Seashore paspalum)	T
<i>Stenotaphrum secundatum</i> (St. Augustine)	T
<i>Zoysia japonica</i> (Japanese lawn grass)	T
<i>Zoysia matrella</i> (Manila grass)	MT
<i>Zoysia tenuifolia</i> (Korean grass)	MS
<i>Digitaria didactyla</i> Wild (Serangoongrass)	MT

Fuente: Uddin y Juraimi, 2013; S: sensible (CE < 3 dS.m⁻¹), MS: moderadamente sensible (CE = 3-6 dS.m⁻¹), MT: moderadamente tolerante (CE = 6-10 dS.m⁻¹), T: tolerante (CE >10 dS.m⁻¹).

Consideraciones finales

El estrés salino ocasiona condiciones de déficit de agua en la planta, lo que se traduce en una sequía fisiológica y un efecto tóxico de los iones como resultado de altos contenidos de solutos. Es por ello que la comprensión de los mecanismos de respuesta de la planta ante este estrés constituye una herramienta eficaz para lograr un manejo correcto en áreas afectadas por esta limitante.

Las plantas tolerantes a la salinidad son capaces de crecer y completar su ciclo de vida sin disminuir significativamente su rendimiento en sustratos con altas concentraciones de sal; debido a cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos. La salinidad influye sobre la germinación, el crecimiento y el rendimiento de los cultivos, en general, pero se ha observado una gran variabilidad en la respuesta ante este estrés en dependencia de la especie, el cultivar y el estado fenológico de la planta.

Varios han sido los estudios realizados para la evaluación de los mecanismos de tolerancia a la salinidad en especies cespitosas; este conocimiento es elemental para el desarrollo de cultivares tolerantes que contribuyan con la implementación de las estrategias de manejo en lugares afectados por la salinidad.

Para los diferentes ambientes salinos, las plantas han desarrollado mecanismos de adaptación. El éxito o fracaso del establecimiento de especies cespitosas depende de la selección de la especie que mejor se adapte a las condiciones de salinidad existentes, por lo que es necesario el conocimiento de los mecanismos de tolerancia utilizados por las plantas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abogadallah, G. M.; Serag, M. M.; El-Katouny, T. M. & Quick, W. P. Salt tolerance at germination and vegetative growth involves different mechanisms in barnyard grass (*Echinochloa crusgalli* L.) mutants. *Plant Growth Regul.* 60 (1):1-12, 2010.
- Alshammery, S. F. Effect of salinity on ion relations of four turfgrasses. *J. Food Agric. Environ.* 11 (2):1321-1326, 2013.
- Álvarez-Menéndez, A.; Baños, R. & Otero, Lázara. Salinidad y uso de aguas salinas para la irrigación de cultivos y forrajes en Cuba. *Ciencia y tecnología ganadera.* 2 (1):1-12, 2008.
- Barnes, B. D.; Kopecký, D.; Lukaszewski, A. J. & Baird, J. H. Evaluation of turf-type interspecific hybrids of meadow fescue with perennial ryegrass for improved stress tolerance. *Crop. Sci.* 54 (1):355-365, 2014.
- Bhatnagar-Mathur, P.; Vadez, V. & Sharma, K. K. Transgenic approaches for abiotic stress tolerance in plants: retrospect and prospects. *Plant Cell Rep.* 27 (3):411-424, 2008.
- Bizhani, S. & Salehi, H. Physio-morphological and structural changes in common bermudagrass and Kentucky bluegrass during salt stress. *Acta Physiol. Plant.* 36 (3):777-786, 2014.
- Céccoli, G.; Ramos, J. C.; Pilatti, Vanesa; Dellaferrera, I. M.; Tivano, J. C.; Taleisnik, Edith *et al.* Salt glands in the *Poaceae* family and their relationship to salinity tolerance. *The Botanical Review.* 81 (2):162-178, 2015.
- Chen, J.; Zong, J.; Gao, Y.; Chen, Y.; Jiang, Q.; Zheng, Y. *et al.* Genetic variation of salinity tolerance in Chinese natural bermudagrass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) germplasm resources. *Acta Agr. Scand. B-S P.* 64 (5):416-424, 2014.
- Cheng, Z-M. Introduction to the Special Issue: Stress biology of specialty crops. *Crit. Rev. Plant Sci.* 33 (2-3):90-91, 2014.
- Egamberdieva, Dilfuza & Lugtenberg, B. Use of plant growth-promoting rhizobacteria to alleviate salinity stress in plants. In: M. Miransari, ed. *Use of microbes for the alleviation of soil stresses.* New York: Springer. p. 73-96, 2014.
- Feng, G-Q.; Li, Y. & Cheng, Z-M. Plant molecular and genomic responses to stresses in projected future CO2 environment. *Crit. Rev. Plant Sci.* 33 (2-3):238-249, 2014.
- Florkowski, W. J. & He, S. Preference of golf-course operators for various turf varieties and their perceived importance of selected problems in turf maintenance. In: M. Pessaraki, ed. *Handbook of turfgrass management and physiology.* Boca Raton, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group. p. 3-26, 2008.
- Flowers, T. & Colmer, T. Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Ann. Bot.-London.* 115 (3):327-331, 2015.
- Flowers, T. J. & Muscolo, Adele. Introduction to the Special Issue: Halophytes in a changing world. *A o B Plants.* 7:1-5, 2015.
- Friell, J.; Watkins, E. & Horgan, B. Salt tolerance of 74 turfgrass cultivars in nutrient solution culture. *Crop Sci.* 53 (4):1743-1749, 2013.
- Fuentes, Leticia; Sosa, Maryla & Pérez, Y. *Aspectos fisiológicos y bioquímicos del estrés salino en las plantas.* Matanzas, Cuba: Universidad de Matanzas. <http://monografias.umcc.cu/monos/2006/Agromonia/ASPECTOS%20FISIOLGICOS%20Y%20BIOQUMICOS%20DEL%20ESTRS%20SALINO%20EN%20PLANTAS.pdf>. [17-09-2014], 2007.
- Gómez, E. J.; López, R.; Argentel, L.; Alarcón, Katia & Aguilera, Irenia. *Fragilidad de ecosistemas salinos en la región oriental de Cuba.* <http://www>

- monografias.com/trabajos64/fragilidad-ecosistemas-salinos-cuba-oriental/fragilidad-ecosistemas-salinos-cuba-oriental.shtml, 2009.
- Hu, T.; Zhang, X. Z.; Sun, J. M.; Li, H. I. & Fu, J. M. Leaf functional trait variation associated with salt tolerance in perennial ryegrass. *Plant Biology*. 16 (1):107-116, 2013.
- Huang, B.; DaCosta, Michelle & Jiang, Y. Research advances in mechanism of turfgrass tolerance to abiotic stresses: from physiology to molecular biology. *Crit. Rev. Plant Sci*. 33 (1-2):141-189, 2014.
- Kellogg, Elizabeth A. Evolutionary history of the grasses. *Plant Physiol*. 125 (3):1198-1205, 2001.
- Koc, N. K.; Bas, B.; Koc, M. & Kusek, M. Investigation of *in vitro* selection for salt tolerant lines in sour orange (*Citrus aurantium* L.). *Biotechnology*. 8 (1):155-159, 2009.
- Lamz, A. & González, María C. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*. 34 (4):31-42, 2013.
- Levitt, J. *Responses of plants to environmental stresses*. vol. II Water, radiation, salt and others stresses 2 ed. New York: Academic Press, 1980.
- Li, R.; Bruneau, A. H. & Qu, R. Morphological mutants of St. Augustinegrass induced by gamma ray irradiation. *Plant Breeding*. 129 (4):412-416, 2010.
- Ma, D. M.; Xu, W. R.; Li, H. W.; Jin, F. X.; Guo, L. N. & Wang, J. Co-expression of the Arabidopsis SOS genes enhances salt tolerance in transgenic tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Protoplasma*. 251 (1):219-231, 2014.
- Mahajan, S. & Tuteja, N. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Arch. Biochem. Biophys*. 444 (2):139-158, 2005.
- Manuchehri, R. & Salehi, H. Physiological and biochemical changes of common bermudagrass (*Cynodon dactylon* [L.] Pers.) under combined salinity and deficit irrigation stresses. *S. Afr. J. Bot.* 92:83-88, 2014.
- Marcum, K. B. Salinity tolerant turfgrasses for biosaline urban landscape agriculture. In: M. Ajmal Khan, B. Böer, M. Öztürk, T. Z. Al Abdessalaam, M. Clüsener-Godt y B. Gul, eds. *Sabkha Ecosystems*. Tasks for Vegetation Science. vol. IV Cash Crop Halophyte and Biodiversity Conservation. The Netherlands: Springer. p. 223-232, 2014.
- Marrero, M. *El Varadero Golf Club, el primer campo de golf de Cuba*. <http://www.Cubasi.cu>. 2006.
- Nilsen, E. T. & Orcutt, D. M. *Physiology of plants under stress*. vol. I Abiotic factors. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- Nizam, I. Effect of salinity stress on water uptake, germination and early seedling growth of perennial ryegrass. *Afr. J. Biotechnol.* 10 (51):10418-10424, 2011.
- Parthasarathy, M.; Pemaiah, B.; Natesan, R.; Padmavathy, S. R. & Pachiappan, J. Real-time mapping of salt glands on the leaf surface of *Cynodon dactylon* L. using scanning electrochemical microscopy. *Bioelectroch.* 101:159-164, 2015.
- Patton, A. Turf quality and stress tolerance: Improve turf performance and environmental stress tolerance through proper cultivar selection. *Golf Course Management*. 78 (5):90-95, 2010.
- Rath, K. & Rousk, J. Salt effects on the soil microbial decomposer community and their role in organic carbon cycling: A review. *Soil Biol. Biochem.* 81:108-123, 2015.
- Rodríguez, D. La conservación y el mejoramiento de los suelos en Cuba, medidas para su manejo sostenible. *Memorias del Congreso Internacional de Suelos*. La Habana: Instituto de Suelos. [CD-ROM], 2015.
- Roy, S. & Chakraborty, U. Salt tolerance mechanisms in salt tolerant grasses (STGs) and their prospects in cereal crop improvement. *Botanical Studies*. 55:31-39, 2014.
- Ruiz, E.; Aldaco, R. A.; Montemayor-Trejo, J. A.; Fortis, M.; Olague, J. & Villagómez, J. C. Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. *Técnica Pecuaria en México*. 45 (1):19-24, 2007.
- Shahba, M. A.; Quian, Y. L. & Lairb, K. D. Improving seed germination of saltgrass under saline conditions. *Crop Sci*. 48 (2):756-762, 2008.
- Singh, K. Microbial and enzyme activities of saline and sodic soils. *Land Degrad. Dev.* 27 (3):706-716, 2015.
- Tang, J.; Yu, X.; Luo, N.; Xiao, F.; J., Camberato J. & Jiang, Y. Natural variation of salinity response, population structure and candidate genes associated with salinity tolerance in perennial ryegrass accessions. *Plant Cell Environ.* 36 (11):2021-2033, 2013.
- Trappe, J. M.; Karcher, D. E.; Richardson, M. D. & Patton, A. J. Shade and traffic tolerance varies for bermudagrass and zoysiagrass cultivars. *Crop Sci*. 51 (2):870-877, 2011.
- Uddin, Md. K. & Juraimi, A. S. Salinity tolerance turfgrass: History and prospects. *The Scientific World Journal*. 6, 2013.
- Uddin, Md. K.; Juraimi, A. S.; Ismail, M.; Othman, R. & Rahim, A. Effect of salinity of tropical turfgrass species. *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*. Brisbane, Australia, 2010.
- Uddin, Md. K.; Juraimi, A. S.; Ismail, M. R.; Othman, R. & Rahim, A. A. Relative salinity tolerance of warm season turfgrass species. *J. Environ. Biol.* 32 (3):309-312, 2011.
- Uzilday, B.; R., Ozgur, H., Sekmen A.; Yildiztugay, E. & Turkan, I. Changes in the alternative electron

- sinks and antioxidant defence in chloroplasts of the extreme halophyte *Eutrema parvulum* (*Thellungiella parvula*) under salinity. *Ann. Bot.-London*. 115 (3):449-463, 2015.
- Wu, Y.; Wang, Y. & Xie, X. Spatial occurrence and geochemistry of soil salinity in Datong basin, northern China. *J. Soils Sediments*. 14 (8):1445-1455, 2014.
- Zhang, J. Salt-affected soil resources in China. *Coastal saline soil rehabilitation and utilization based on forestry approaches in China*. Germany: Springer Berlin Heidelberg. p. 9-13, 2014.
- Zhang, Q.; Wang, S. & Rue, K. Salinity tolerance of 12 turfgrasses in three germination media. *HortsScience*. 46 (4):651-654, 2011.
- Zhang, Q.; Zuk, A. & Rue, K. Salinity tolerance of nine fine fescue cultivars compared to other cool-season turfgrasses. *Sci. Hortic.-Amsterdam*. 159:67-71, 2013.
- Zulkaliph, N. A.; Juraimi, A. S.; Uddin, M. K.; Ismail, M. R.; Ahmad-Hamdani, M. S. & Nahar, U. A. Screening of potential salt tolerant turfgrass species in Peninsular Malaysia. *Aust. J. Crop Sci.* 7 (10):1571-1581, 2013.

Recibido el 25 de junio del 2005

Aceptado el 19 de mayo del 2016