



PRODUCCION DE BIOMASA Y CONTENIDO DE AGUA EN PLÁNTULAS DE *Panicum coloratum* BAJO CONDICIONES DE SALINIDAD E HIPOXIA

LIFSCHITZ M. E.^{1*}; GRUNBERG K.²; ZABALA J. M.³ y TOMAS M. A.¹

¹IDICAL INTA-CONICET. ²IFRGV UDEA. INTA-CONICET Córdoba. ³FCA UNL.
*Autor de contacto: lifschitz.mauro@inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

La salinización de los suelos es uno de los estreses abióticos de mayor importancia para la producción agrícola en regiones áridas y semiáridas del mundo. Argentina es el país con mayor porcentaje de tierras salino-sódicas en Latinoamérica (FAO, 2009). La presencia de sal en el suelo puede afectar a las plantas en dos etapas. En la primera, el incremento de sales en la proximidad de la raíz dificulta la absorción de agua por parte de las mismas, lo cual se refleja en el estado hídrico de las plantas o contenido relativo de agua (CRA); es decir, las plantas tienden a perder agua, por esto, deben mantener un bajo potencial osmótico interno (Rodríguez et al., 2019). En la segunda etapa, más lenta, la acumulación de iones específicamente sodio (Na⁺) y cloruro (Cl⁻) en hojas provoca efectos tóxicos (Munns, 2005). Es frecuente que áreas afectadas por salinidad sufran además anegamientos periódicos, ya sea por acumulación de agua en el suelo luego de un período de precipitaciones o por la presencia de la napa freática cercana a la superficie, con una elevada concentración de sales (Gorgas y Bustos, 2008). En estos casos, además de la salinidad, las plantas enfrentan un déficit en la disponibilidad de oxígeno, generando una condición de hipoxia en la zona de raíces. Estos estreses combinados interactúan en sus efectos en caracteres fisiológicos, anatómicos y morfológicos (Barrett-Lennard, 2003; Striker et al., 2015). Sin embargo, la naturaleza de esta interacción depende de factores como, edad de la planta, genotipo y susceptibilidad o tolerancia frente al estrés (Silva et al., 2010). Una forma de evaluar el efecto de la combinación de estreses es comparar el impacto de los estreses separadamente y en combinación para comprender el tipo de interacción (Striker et al. 2015), estos estudios se han incrementado en los últimos años. Se ha demostrado que la respuesta a la combinación de diferentes estreses es única y no puede extrapolarse de los estreses aplicados de forma individual (Mittler et. al. 2006). En este sentido, es importante estudiar la respuesta de las plantas utilizadas como recurso forrajero en zonas con las condiciones antes mencionadas. Un ejemplo de estas especies es *Panicum coloratum* L., una gramínea ampliamente utilizada en ambientes con limitantes edáficas. En Argentina las variedades más difundidas de la especie son: *var. coloratum*, desarrollándose en suelos arenosos y tolerante a las heladas siendo el cultivar “Klein” el más difundido y, *var. makarikariense*, adaptada a suelos arcillosos, en áreas con variabilidad climática de ciclos alternados de sequía y anegamiento, variedad a la que pertenece el cultivar “Kapivera INTA” desarrollado en la EEA INTA Rafaela (Giordano et. al. 2013).



Evaluar a campo la respuesta de las plantas a un estrés combinado de salinidad e hipoxia resulta complejo, debido a que bajo estas condiciones es difícil aislar los estreses bajo estudio de otros factores que puedan influir en la respuesta. En general, los suelos salinos pueden también tener un componente de sodicidad, alcalinidad o factores que impiden el crecimiento de las raíces por estructura columnar de los suelos sódicos, condiciones de óxido reducción, etc. (Lavado, 2007). Por otro lado, las situaciones de anegamiento son dinámicas lo que conllevaría una evaluación extendida en el tiempo. A raíz de esto, el grupo de mejoramiento genético y producción de semillas forrajeras de la EEA INTA Rafaela, cuenta con un sistema experimental de hidroponía donde es posible simular condiciones de salinidad, hipoxia o la combinación de ambas, sistema ampliamente utilizado para la caracterización de un gran número de individuos (Quero, et al. 2013; Striker et al., 2015). El objetivo de este trabajo fue determinar los cambios en la producción de biomasa, asignación de recursos y el contenido de agua en cultivares comerciales de cada una de las variedades de *Panicum coloratum* L. bajo condiciones de salinidad, hipoxia y salinidad + hipoxia en un sistema de hidroponía.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en un sistema hidropónico con solución nutritiva Hoagland (Hoagland y Arnold 1950) en invernadero (26,4°C; 18,1°C, temperatura promedio diurna y nocturna, respectivamente). Se evaluaron dos cultivares de *Panicum coloratum* L. pertenecientes a la variedad *makarikariense* (cv. Kapivera INTA) y *var. coloratum* (cv. Klein). Se realizó un diseño en bloques completamente aleatorizados con 6 repeticiones y 4 plántulas por repetición. Plántulas de 3 hojas fueron sometidas durante 22 días a condiciones de salinidad (150 mM NaCl), hipoxia (<2 mg/L O₂), una combinación de hipoxia y salinidad (<2 mg/L O₂ + 150 mM NaCl) y control (0 mM NaCl + >8 mg/L O₂). Al final del periodo de estrés las plantas fueron separadas en parte aérea y radicular para determinar la relación PF aéreo / PF radicular y se evaluó la producción de biomasa fresca total (g PF. Plantula⁻¹), además se determinó el contenido agua (%CA) calculado como ((PFT-PST) / PFT) * 100, siendo PFT y PST, peso fresco total por planta y peso seco total por planta, respectivamente. Los datos de la variable peso fresco total (PFT) fueron transformados (log₁₀) para normalizarlos y poder emplear ANOVA. Todos los datos fueron sometidos a un análisis de la varianza (ANOVA).

Sistema experimental

La hidroponía es un sistema ampliamente utilizado para el estudio de las respuestas de las plantas a diferentes condiciones de crecimiento (Quero, et al. 2013). En el sistema de hidroponía las plantas crecen con las raíces en un medio acuoso con solución nutritiva que es ventilado mediante aire que se burbujea a través de un tubo de goma. Para establecer el tratamiento salino, se procedió al agregado de NaCl a la solución de manera gradual a razón de 50 mM por día de NaCl hasta lograr una concentración de 150 mM de NaCl. Para el tratamiento de hipoxia la solución nutritiva fue reemplazada por otra solución que, además de contener nutrientes (Hoagland y Arnon, 1950), contenía una concentración de agar agar (0,1%), para impedir el movimiento convectivo del agua y así disminuir la concentración de oxígeno, generando la hipoxia del medio (<2 mg/L O₂) (Wiengweera



et al., 1997). Para el tratamiento donde se combinó la salinidad y la hipoxia, luego de un periodo de aclimatación de las plantas al sistema hidroponía de 5 días y después de haber alcanzado la concentración salina final mediante el agregado gradual de NaCl, se procedió al reemplazo de la solución nutritiva por una conteniendo agar agar (0,1%) y NaCl (150 mM) con reducida concentración de oxígeno. El período de evaluación de 22 días comenzó luego de alcanzada la concentración final de NaCl.

RESULTADOS

En cuanto al peso fresco total ambos cultivares se comportaron de forma similar, no se detectó interacción significativa cultivar x condición ($p > 0,05$). La diferencia entre condiciones fue significativa ($p < 0,05$) (Fig. 1 izquierda). El tratamiento de hipoxia (H) fue el menos afectado, seguido por los tratamientos de salinidad (S) y salinidad + hipoxia (S+H), sin mostrar diferencias significativas entre estos últimos. En cuanto a la partición de biomasa entre la parte aérea y la radicular, esta relación no se modificó en hipoxia respecto al control, aunque se redujo significativamente por efecto de la salinidad y la combinación salinidad-hipoxia (Fig. 1 derecha).

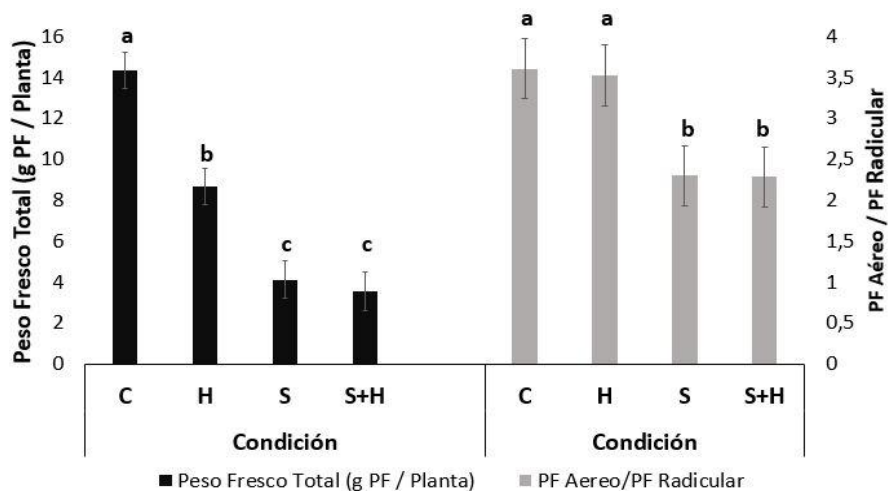


Figura 1: Peso fresco total por planta (g, izquierda) y relación entre el peso fresco aéreo y peso fresco radicular (derecha) en plantas de *Panicum coloratum* cv. Kapivera INTA y Klein creciendo en condiciones control (C), hipoxia (H), salinidad (S) y salinidad + hipoxia (S+H) durante 22 días. Letras diferentes indican diferencias significativas entre condiciones ($p < 0,05$).



En el contenido de agua de las plántulas sometidas a estrés, se observaron diferencias entre cultivares ($p < 0,05$) y entre condiciones ($p < 0,05$), no existiendo interacción cultivar x condición ($p > 0,05$). El cultivar Kapivera INTA presentó significativamente mayor contenido de agua (89,1%) que el cultivar Klein (87,5 %) ($p < 0,05$). En cuanto a las condiciones de estrés, los tratamientos de salinidad y salinidad + hipoxia, sin diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$) presentaron un menor contenido de agua ($p < 0,05$) que los tratamientos control e hipoxia y no se detectaron diferencias significativas entre estos últimos ($p > 0,05$) (Figura 2).

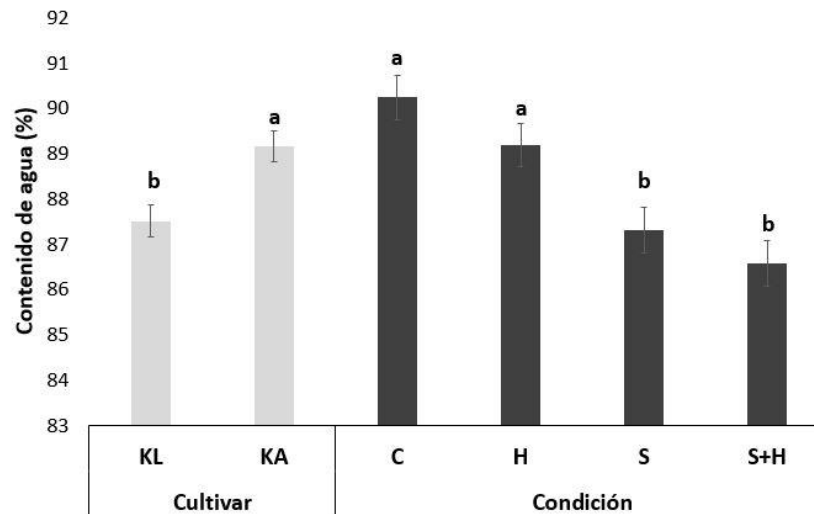


Figura 2: Contenido de agua (%) en plantas de *Panicum coloratum* cv. Kapivera INTA (KA) y cv. Klein (KL) (izquierda) creciendo durante 22 en condiciones control (C), hipoxia (H), salinidad (S) y salinidad + hipoxia (S+H) (derecha). Letras diferentes indican diferencias significativas entre condiciones ($p < 0,05$).

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo mostraron que la condición de hipoxia afecta a las plantas en menor medida que las condiciones de salinidad y salinidad combinada con hipoxia. Es decir, aunque la hipoxia representa una condición de estrés para la especie, la reducción en el crecimiento es notablemente menor a las producidas cuando las mismas están sometidas a salinidad. Es de destacar que la mayor tolerancia a la hipoxia por sobre los tratamientos en los que interviene la salinidad es equivalente en los dos cultivares ensayados. La relativa tolerancia a la hipoxia es de la misma magnitud entre cultivares, aun cuando los mismos pertenecen a dos variedades diferentes con distintas características en cuanto a su origen, distribución y rango de adaptación a diferentes estreses (Armando et al., 2013).

La tolerancia a la hipoxia podría estar relacionada a la presencia de aerénquima en raíces que fue reportada en plantas de *Panicum coloratum* var. *coloratum* sometidas a anegamiento (Imaz et al., 2013). El aerénquima es un tejido con grandes espacios intercelulares que proporciona una vía para facilitar el transporte de O_2 desde los brotes hacia las raíces (Colmer y Voeselek 2009).



Las condiciones en las que estuvo presente la salinidad (salinidad aireada y salinidad + hipoxia) fueron más afectadas que la condición de hipoxia y no se detectaron diferencias significativas entre ellas, en ninguna de las variables analizadas. En los dos cultivares de *Panicum coloratum* estudiados, la combinación de estreses (S+H), mantuvo los valores de producción de biomasa respecto de la condición salina aireada, tal como fue reportado en otras especies como *Melilotus siculus* y *Trifolium michelianum* (Striker et al., 2015). Así, se ha sugerido que, para especies que carecen de un grado de adaptación a condiciones de salinidad o hipoxia, la combinación de estreses puede resultar en una interacción adversa afectando la supervivencia de las plantas (Barret-Lennard, 2003). En algunos casos, el efecto de los estreses combinados podría llegar a ser mayor que los efectos de cada uno de los estreses por separado.

Respecto a la partición de la biomasa, la condición de hipoxia no afectó la asignación de recursos entre parte aérea y radicular en ambos cultivares de *Panicum coloratum* L., aun cuando podrían esperarse cambios en biomasa asignada a raíces. Por su parte, la presencia de salinidad en el medio si modificó la partición, aumentando la asignación de recursos hacia las raíces. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Cardamone et. al. (2018) para genotipos de *Panicum coloratum* var. *makarikariense* tolerantes a salinidad, donde se observó una mayor asignación de recursos hacia raíces por parte de los individuos cuando estos crecían en condición salina. Esta característica es crucial en áreas salinas ya que la principal función del sistema radicular es captar agua y nutrientes. Por otro lado, las condiciones de salinidad y salinidad + hipoxia presentaron un menor contenido de agua que las plántulas en condiciones de hipoxia y control (Figura 2). Esto denota un estrés osmótico de las plántulas sometidas a estrés salino (Yang et al., 2004).

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos sugieren que las plantas sometidas a condiciones de estrés combinado de salinidad e hipoxia tienen una respuesta única y diferente a aquellas respuestas originadas cuando los estreses se aplican de forma individual.

BIBLIOGRAFÍA

- Armando, L. V., Carrera, A. D. y Tomas, M. A. 2013. Collection and morphological characterization of *Panicum coloratum* L. in Argentina. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60, 1737–1747. <http://doi.org/10.1007/s10722-013-9982-3>
- Barrett-Lennard, E.G., 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: causes, consequences and implications. *Plant and Soil*, 253: 35–54.
- Cardamone L., Cuatrin A., Grunberg K. y Tomas M. A. 2018. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* Vol. 6(3):134–147.
- Colmer T D and Voesenek, L A. 2009. Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Functional Plant Biology* 36:665-681.
- FAO. 2009. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. ISSN 0251-1371.
- Giordano M., Berone G. y Tomas M. A. 2013. Selection by seed weight improves traits related to seedling establishment in *Panicum coloratum* L. var. *makarikariense*. *Plant Breeding*. doi:10.1111/pbr.12106



- Gorgas J. y Bustos M. 2008. Dinámica y evaluación de los suelos de Córdoba con problemas de drenaje, salinidad y alcalinidad. En: La salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria. Taleisnik E., Grunberg K. y Santa Maria G. (eds). EDUCC, Córdoba, Argentina, 118 pp. Pp 17-46.
- Hoagland, D.R y Arnold D.Y. 1950. The water culture method for growing plant without soil. California Agric. Exp. Estm. Circ. 347:1-32
- Imaz, J.A., Gimenez D.O., Grimoldi, A.A., Striker, G.G. 2013. The effects of submergence on anatomical, morphological and biomass allocation responses of tropical grasses *Chloris gayana* and *Panicum coloratum* at seedling stage. *Crop and Pasture Science* 63:1145-1155.
- Lavado R. S. 2007. Visión sintética de la distribución y magnitud de los suelos afectados por salinidad en la Argentina. La salinización de suelos en la Argentina Editorial EDUCC. Córdoba; p. 1 – 16.
- Mittler R. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Plant Science* Vol.11 No.1 January 2006.
- Munns, R. 2005. Genes y salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167:645–66.
- Quero G. E., Borsani O., Gutiérrez L., Melchiorre M., Monza J., Lascano R. 2013. *Agrociencia Uruguay - Volumen 17* 1:11-21 - enero/junio 2013.
- Rodriguez J. E. 2019. Effect of salinity stress in growth and relative water content in *Oryza sativa* “rice”, var. IR-43 and amazonas (Poaceae). *Arnaldoa* 26 (3): 931-942, 2019.
- Silva, E.N., Ferreira-Silva, S.L., De Vasconcelos Fontenelea, A., Vasconcelos Ribeiro, R., Viégas, R.A., Gomes Silveira, J.A. 2010. Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. *Journal of Plant Physiology* 167, 1157–1164.
- Striker, G.G., Teakle N.L., Colmer T.C., Barrett-Lennard, E.G. 2015. Growth responses of *Melilotus siculus* accessions to combined salinity and root-zone hypoxia are correlated with differences in tissue ion concentrations and not differences in root aeration. *Environmental and Experimental Botany* 109: 89–98.
- Wiengweera A, Greenway H, Thomson C.1997. The use of agar nutrient solution to simulate lack of convection in waterlogged soils. *Annals of Botany* 80:115–123
- Yang, Y.; J. Guo; F. Zhang; L. Zhao & L. Zhang. 2004. NaCl induced changes of the H⁺-ATPase in root plasma membrane of two wheat cultivars. *Plant Science* 166(1): 913-918.