



SEMILLAS DE MAÍZ SOMETIDAS A DIFERENTES PERIODOS DE ESTRÉS SALINO

MAIZE SEEDS SUBJECTED TO DIFFERENT PERIODS OF SALINITY STRESS

Roberto Verón Recalde^{1*}, Wilfrido Daniel Lugo Pereira² y Derlys Fernando López Avalos²

¹ Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Concepción, Facultad de Ciencias Agrarias, Concepción, Paraguay.

² Profesor, Universidad Nacional de Concepción, Facultad de Ciencias Agrarias, Concepción Paraguay.

*Autor por correspondencia: robertoveron1979@gmail.com

RESUMEN

El objetivo del ensayo fue evaluar el efecto del estrés salino en la germinación y el crecimiento inicial del maíz en diferentes tiempos de permanencia de la semilla en solución salina. El experimento se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Concepción. El diseño utilizado fue completamente al azar (DCA), se utilizaron 5 tratamientos que consistieron en 0; 6; 12; 18 y 24 horas en la solución de un litro de agua con 4,24 gramos de NaCl con cuatro repeticiones totalizando 20 unidades experimentales. Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño completamente al azar. Las unidades experimentales fueron establecidas por bandejas con 100 semillas cada una, totalizando así 20 bandejas. Se evaluaron el índice de velocidad de emergencia, el porcentaje de emergencia, la longitud de plántula, la masa fresca y la masa seca de las plántulas. Los datos obtenidos fueron sometidos al ANAVA por el test de F, y las medias que presentaron diferencias significativas fueron comparadas por el test de Tukey al 5% de probabilidad. El análisis de varianza muestra que se obtuvo diferencias significativas a nivel estadístico para las diferentes determinaciones como porcentaje de emergencia, índice de velocidad de emergencia, altura de las plantas, no siendo así para la masa fresca y seca de plántulas. En todas las determinaciones el T5 fue el que demostró mayor estrés o efecto negativo en los resultados.

Palabras clave: Sal, tiempo, emergencia, maíz

ABSTRACT

The objective of the trial was to evaluate the effect of salt stress on germination and early growth of maize under different durations of seed exposure to a saline solution. The experiment was conducted in the laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences at the National University of Concepción. A completely randomized design (CRD) was used with five treatments, consisting of 0, 6, 12, 18, and 24 hours of seed immersion in one liter of water containing 4.24 grams of NaCl, with four replications, totaling 20 experimental units. Treatments were distributed according to a completely randomized design. The experimental units consisted of trays containing 100 seeds each, totaling 20 trays. The variables evaluated were: emergence speed index, emergence percentage, seedling length, fresh mass, and dry mass of the seedlings. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using the F-test, and means showing significant differences were compared using Tukey's test at a 5% probability level. The analysis of variance showed statistically significant differences in variables such as emergence percentage, emergence speed index, and plant height, but not in fresh and dry seedling mass. In all evaluations, T5 showed the highest stress level or the most negative effect on the results.

Keywords: Salt, duration, emergence, maize

INTRODUCCIÓN

El maíz ocupa un lugar destacado en la alimentación humana, siendo parte esencial de la dieta popular en nuestro país. Tradicionalmente fue cultivado como rubro de autoconsumo; sin embargo, en los últimos años, gracias a la apertura del comercio exterior y al mejoramiento de los rendimientos, ha evolucionado hacia un cultivo de renta, impulsado por la agricultura empresarial mecanizada (Molinas, 2012; Schmitz y Moss, 2015).

Uno de los desafíos para la producción agrícola es la creciente salinización de los suelos, fenómeno que provoca severas reducciones en los rendimientos de cultivos de alta importancia económica (Cuevas et al., 2019). En este contexto, se vuelve necesario implementar programas con enfoques integrales, orientados tanto a incrementar los rendimientos como a recuperar áreas altamente degradadas (Zhuang et al., 2022).

Para desarrollar variedades de maíz tolerantes al estrés salino, resulta clave identificar marcadores confiables en etapas tempranas del desarrollo, que permitan seleccionar genotipos con mayor capacidad de producción de biomasa bajo condiciones adversas. Diversos estudios han confirmado que la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas en ambientes salinos están estrechamente relacionados con la tolerancia varietal (Hernández et al., 2015), lo que permite establecer métodos de evaluación y selección sobre la base de los daños del crecimiento en las etapas iniciales del desarrollo (Naseri et al., 2012).

La calidad de la semilla es un concepto basado en la valoración de diferentes atributos, los cuales mejoran el establecimiento de la planta en campo, entre los que destacan: la calidad genética, fisiológica, física y sanitaria (Pérez et al., 2006).

Actualmente, muchos productores están extendiendo sus áreas de cultivo hacia la región occidental del país, donde predominan suelos con alto contenido de sales. Aunque el maíz presenta buenas perspectivas en esta región, las experiencias han sido limitadas a cultivos experimentales. La salinidad constituye un factor crítico en dicha zona y, hasta el momento, se dispone de escasa información técnica-científica adaptada a las condiciones particulares del Chaco paraguayo.

El objetivo general del trabajo fue evaluar el efecto del estrés salino en la germinación y el crecimiento inicial del maíz en diferentes

tiempos de permanencia de la semilla en solución salina, teniendo como objetivos específicos medir el índice de velocidad de emergencia, determinar el porcentaje de emergencia, medir la longitud de las plántulas y determinar la masa fresca y masa seca de plántulas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se enmarca dentro del tipo experimental de carácter cuantitativo. El experimento fue realizado en el Laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Concepción, ubicada en el km 2, Ruta V Bernardino Caballero; circundada en las coordenadas de $23^{\circ} 24' 23''$ y $57^{\circ} 26' 4''$, durante los meses de septiembre y octubre de 2018.

El diseño experimental utilizado fue el de completamente al azar, con 5 tratamientos y 4 repeticiones, que consistieron en diferentes tiempos de permanencia de las semillas en la solución de sal. Totalizando 20 unidades experimentales, se utilizaron 100 semillas por cada UE. La descripción de los tratamientos aplicados se detalla en la tabla 1.

Según Laynez-Garsaball et al. (2008), la solución se prepara con cloruro de sodio comercial en un litro de agua 4,24 gramos para dejar sumergidas en ella las semillas.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos en el experimento. Paraguay, 2018.

Tratamiento	Descripción	Cantidad (horas)
T1	Testigo	Siembra sin sumergir
T2	Permanencia en sal ($4,24 \text{ g L}^{-1}$)	6 horas
T3	Permanencia en sal ($4,24 \text{ g L}^{-1}$)	12 horas
T4	Permanencia en sal ($4,24 \text{ g L}^{-1}$)	18 horas
T5	Permanencia en sal ($4,24 \text{ g L}^{-1}$)	24 horas

Para la aplicación del tratamiento salino, se utilizó un recipiente plástico con un litro de agua destilada al que se añadieron 4,24 g de cloruro de sodio (NaCl). En esta solución fueron sometidas las semillas de maíz, según los diferentes tiempos de exposición establecidos en los tratamientos.

Posteriormente, se procedió a la esterilización del sustrato, compuesto por arena lavada, en una estufa de secado a 200°C durante 2 horas, conforme a la metodología descrita por

el Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento (MAPA, 2009).

Una vez finalizado este proceso, las bandejas plásticas fueron lavadas con agua destilada, y posteriormente se cargaron con el sustrato esterilizado.

La siembra se realizó en el mes de septiembre del año 2018, utilizando semillas híbridas de maíz Dekalb 390, adquiridas en un establecimiento comercial local. Se distribuyeron equidistantemente 100 semillas por bandeja, constituyendo cada una, una unidad experimental (UE), conforme a la metodología propuesta por MAPA (2009). Luego de la siembra, las bandejas fueron colocadas en un ambiente protegido, con el objetivo de evitar la contaminación y favorecer una adecuada germinación.

El riego se realizó manualmente mediante aspersión, dos veces al día (mañana y tarde), hasta la finalización del experimento. No se observaron síntomas de enfermedades durante el desarrollo inicial de las plántulas.

El experimento se mantuvo bajo condiciones controladas de temperatura ($25 \pm 5^{\circ}\text{C}$) y con un fotoperiodo de 12 horas diarias, de acuerdo con las recomendaciones de MAPA (2009), para asegurar un crecimiento uniforme de las plántulas.

Se elaboraron planillas para el registro sistemático de los datos obtenidos en cada medición, los cuales fueron posteriormente procesados y sometidos al análisis estadístico correspondiente. La evaluación final del experimento se realizó a los 12 días después de la siembra.

Se evaluaron los siguientes parámetros:

Índice de Velocidad de emergencia: Fue evaluado desde el inicio de la emergencia, el resultado se obtuvo utilizando la expresión matemática de Maguire (1962) citado por Pérez et al. (2007):

$$\text{IVE} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N_i}$$

Donde:

IVE: velocidad de emergencia expresada en número de días.

X_i : número de plántulas emergidas por día.

N_i : i días después de la siembra.

i : 5,6,7,..., n , siendo n el día del último conteo.

Porcentaje de emergencia: Fue evaluado desde las primeras plántulas emergidas. Se consideró emergida cuando se observó la aparición de las plántulas sobre la superficie del sustrato según lo establecido en las normas

ISTA (2010) contando la cantidad de semillas germinadas por cada uno de los tratamientos y los resultados fueron expresados en porcentaje (%), según la siguiente fórmula mencionada por MAPA (2009):

$$\text{PG} = \frac{\text{SG} \times 100}{\text{TS}}$$

Donde:

PG= Porcentaje de germinación

SG= Semillas germinadas

TS= Total de semillas sembradas

Longitud de plántula: La medición se realizó a los 12 días después de la siembra, utilizando 10 plantas elegidas al azar. Con ayuda de una cinta métrica, se midió la altura de las plántulas desde la punta de la raíz hasta el ápice de la hoja al final del experimento y los resultados fueron expresados en cm por plántula (Layne-Garsaball et al., 2008).

Masa fresca y masa seca: Para la masa fresca se seleccionaron 10 plantas al azar, las cuales se pesaron en una balanza electrónica de precisión y los resultados fueron expresados en g por planta. Para la masa seca se realizó el secado de las plántulas que consistió en someter a la estufa a 70°C por 72 h hasta que la muestra alcance un peso constante y luego se procedió a pesar cada muestra con una balanza electrónica de 0,01 g de precisión (Díaz et al., 2008).

Los datos obtenidos fueron evaluados estadísticamente por test de Fisher para verificar si existen o no diferencia significativa entre los tratamientos, y las medias que presentaron diferencia significativa fueron comparadas entre sí con el test de Tukey al 5% de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Índice de velocidad de emergencia y porcentaje de emergencia

El análisis de varianza realizado respecto al índice de velocidad y porcentaje de emergencia del maíz afectado por diferentes tiempos de permanencia de las semillas en la solución de sal, reveló que hubo efecto significativo entre los diferentes tratamientos aplicados.

En la tabla 2 se observa los resultados de índice de velocidad de emergencia, obtuvo diferencias significativas a nivel estadístico, el T1 logró mayor emergencia con 4,84 plantas por día comparado con los demás tratamientos. Este resultado indica que el tiempo de exposición a la salinidad influye directamente sobre la velocidad de emergencia: a mayor tiempo de

permanencia en la solución salina, menor es la velocidad de emergencia. El tratamiento T5 evidenció el valor más bajo, con apenas 2,18 plantas por día, lo que confirma el efecto negativo de la salinidad prolongada sobre esta variable fisiológica.

En cuanto al porcentaje de emergencia, se constató una disminución progresiva en la emergencia a medida que se incrementa el tiempo de permanencia de las semillas en la solución salina, siendo el testigo (sin exposición) el que presentó el mayor porcentaje de emergencia.

Tabla 2. Índice de velocidad y porcentaje de emergencia del maíz afectado por diferentes tiempos de permanencia de las semillas en la solución de sal.

Trat.	Índice de velocidad de emergencia**	Porcentaje de emergencia (%)**
1	4,84 a	80,25 a
2	3,61 ab	55,77 b
3	3,20 bc	45,93 bc
4	3,22 bc	44,99 bc
5	2,18 c	33,70 c
MG:	3,414	52,12
CV (%):	16,96	10,83

Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí por el test de Tukey al 5%. **: significativa al 1%. MG: Media general. CV: Coeficiente de variación.

Las diferencias estadísticas encontradas pueden atribuirse exclusivamente a la salinidad y el tiempo de permanencia, factores que afectan negativamente la capacidad germinativa del maíz. Según Farooq et al. (2015), el aumento de la salinidad reduce la germinación a través de dos mecanismos principales: el efecto osmótico, que disminuye el potencial hídrico del suelo y genera estrés hídrico en la semilla, y el efecto iónico, causado por la acumulación de sales que interfieren con los procesos fisiológicos normales durante la germinación y el crecimiento inicial.

Longitud de las plántulas

El análisis de varianza respecto a la longitud de plántulas del maíz afectada por diferentes tiempos de permanencia de las semillas en la solución de sal, evidenció diferencias significativas entre los tratamientos aplicados.

En la tabla 3 se presentan los resultados de la longitud de plántulas, en ellas se observa que, a medida que aumenta el tiempo de exposición de las semillas a la solución salina, se produce una disminución progresiva en el crecimiento de las

plántulas emergidas. El tratamiento T1 (sin exposición) mostró la mayor longitud promedio, alcanzando 36,95 cm por planta. Este comportamiento confirma el efecto negativo de la salinidad sobre el desarrollo inicial del cultivo.

Tabla 3. Longitud de plántulas del maíz afectada por diferentes tiempos de permanencia de las semillas en la solución de sal.

Tratamiento	Longitud de plántulas (cm)**
1	36,95 a
2	32,48 ab
3	30,53 ab
4	31,59 ab
5	26,12 b
MG:	31,538
CV (%):	16,69

Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí por el test de Tukey al 5%. **: significativa al 1%. MG: Media general. CV: Coeficiente de variación.

Estudios previos han destacado la importancia de las relaciones morfológicas, especialmente entre el vástago y la raíz, como indicadores clave en la tolerancia de las plantas a la salinidad (Moya et al., 1999). Así también han reportado respuestas diferenciales en la germinación y crecimiento de especies vegetales al ser expuestas a soluciones salinas de distintas concentraciones (Lastri et al., 2017).

Las sales pueden afectar la germinación y el desarrollo por toxicidad iónica, reducción del potencial hídrico y alteraciones del pH del medio. Dado que diferentes especies vegetales responden de manera diversa a estos factores, es razonable esperar comportamientos distintos en función del tipo de salinidad (Pastuszak et al., 2022). Así mismo, en este estudio, el maíz mostró una reducción uniforme en la longitud de las plántulas a medida que se incrementó el tiempo de exposición.

Masa fresca y masa seca de plántulas

El análisis de varianza realizado para las variables masa fresca y masa seca de plántulas de maíz, sometidas a diferentes tiempos de permanencia en una solución salina, no reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados (Tabla 4). Sin embargo, numéricamente se observó una tendencia decreciente en la producción de biomasa a medida que aumentó el tiempo de exposición de las semillas a la salinidad. El tratamiento testigo (T1) presentó el valor más

alto de masa fresca y seca, con 2,78 g y 1,83 g por planta, respectivamente.

Tabla 4. Masa fresca y masa seca del maíz afectado por diferentes tiempos de permanencia de las semillas en la solución de sal.

Tratamiento	Masa fresca (g) ^{NS}	Masa seca(g) ^{NS}
1	2,787	1,837
2	2,685	1,590
3	2,772	1,525
4	2,595	1,455
5	2,590	1,440
MG:	2,65	1,571
CV (%):	5,0358	14,353

Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí por el test de Tukey al 5%. NS: Diferencia no significativa. MG: Media general. CV: Coeficiente de variación.

Los resultados obtenidos en este estudio no son consistentes con lo reportado por Miranda et al. (2012), quienes observaron variaciones en la masa seca en distintos órganos vegetales bajo diferentes niveles de salinidad. La salinidad no solo afecta la tasa de expansión foliar, sino también por reducir la fotosíntesis, limitando así la disponibilidad de carbohidratos para el crecimiento (Qu et al., 2012), además de inducir desequilibrios nutricionales debido al exceso de sodio (Na^+) en los tejidos (Slimani et al., 2022). Este exceso de sales puede disminuir la absorción de nutrientes esenciales como fósforo (P), potasio (K^+), nitratos (NO_3^-) y calcio (Ca^{2+}), provocando toxicidad iónica y estrés osmótico, lo cual se traduce en una inhibición del crecimiento (Yasmeen et al., 2013).

CONCLUSIONES

En las condiciones en que fue realizado el trabajo de investigación, se puede concluir:

Las semillas de maíz expuestas a diferentes tiempos en solución salina mostraron efectos significativos en el porcentaje e índice de velocidad de emergencia, así como en la longitud de plántulas, destacándose con mejores resultados el testigo sin sal. En cambio, la masa fresca y seca no presentó diferencias estadísticas. Estos resultados evidencian la sensibilidad del maíz a la salinidad en etapas tempranas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cuevas, J., Daliakopoulos, I. N., del Moral, F., Hueso, J. J., & Tsanis, I. K. (2019). A review of soil-improving cropping systems for soil salinization. *Agronomy*, 9(6), 295. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060295>
- Díaz, R. (2008). *Pruebas de viabilidad y vigor en semillas de maíz (Zea mays) y su correlación con la emergencia en campo* (Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Agronomía). <https://hdl.handle.net/20.500.14292/94>
- Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A., & Siddique, K. H. (2015). Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 461-481. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0287-0>
- Hernández, A. Y., Soto Pérez, N., Florido Bacallao, M., Delgado Abad, C., Ortiz Pérez, R., & Enríquez Obregón, G. (2015). Evaluación de la tolerancia a la salinidad bajo condiciones controladas de nueve cultivares cubanos de soya (*Glycine max* (L.) Merril). *Cultivos Tropicales*, 36(4), 120-125. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362015000400016&script=sci_arttext&tlang=en
- ISTA (International Seed Testing Association). (2010). International rules for seed testing. Zürich, Suiza.
- Lastiri, H. M. A., Álvarez Bernal, D., Soria Martínez, L. H., Ochoa Estrada, S., & Cruz-Cárdenas, G. (2017). Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de siete especies forrajeras. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(6), 1245-1257. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342017000601245&script=sci_arttext
- Layne-Garsaball, José A., Méndez-Natera, Jesús Rafael, & Mayz-Figueroa, Juliana. (2008). Efecto de la salinidad y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 11(1), 17-25. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-888X2008000100017&script=sci_arttext



- MAPA (Ministerio de Agricultura Pecuaria e Abastecimiento), 2009 Reglas para análisis de semillas. Brasilia. Mapa ACS. 399 p.
- Miranda, D., Ulrichs, C., & Fischer, G. (2012). Efecto del cloruro de sodio (NaCl) sobre el crecimiento y colonización micorrízica en uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Avances de la investigación agronómica II. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia*, 15-25. https://www.academia.edu/download/50218678/Efecto_del_cloruro_de_sodio_NaCl_sobre20161109-28843-4ka2hn.pdf
- Molinás, A. (2012). *Agricultura mecanizada en Paraguay* http://ing-alfredo-molinás.blogspot.com/2012/05/normal-0-21-false-false-false-es-x-none_15.html
- Moya, J. L., Primo-Millo, E., & Talón, M. (1999). Morphological factors determining salt tolerance in citrus seedlings: the shoot to root ratio modulates passive root uptake of chloride ions and their accumulation in leaves. *Plant, Cell & Environment*, 22(11), 1425-1433. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00495.x>
- Naseri, R., Emami, T., Mirzaei, A., & Soleymanifard, A. (2012). Effect of salinity (sodium chloride) on germination and seedling growth of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(13), 911-917. https://www.researchgate.net/profile/Rahim-Naseri/publication/287986396_Effect_of_salinity_sodium_chloride_on_germination_and_seedling_growth_of_barelyHordeum_Vulgare_L_cultivars/links/567b03bc08ae197583812fd9/Effect-of-salinity-sodium-chloride-on-germination-and-seedling-growth-of-barelyHordeum-Vulgare-L-cultivars.pdf
- Pastuszak, J., Dziurka, M., Hornyák, M., Szczerba, A., Kopeć, P., & Płażek, A. (2022). Physiological and biochemical parameters of salinity resistance of three durum wheat genotypes. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(15), 8397. <https://doi.org/10.3390/ijms23158397>
- Pérez, de la C. F. D. J., Carballo Carballo, A., Santacruz Varela, A., Hernández Livera, A., & Molina Moreno, J. C. (2007). Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura técnica en México*, 33(1), 53-61. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172007000100006&script=sci_arttext
- Pérez, M. C., Hernández Livera, A., González Cossío, F. V., García de los Santos, G., Carballo Carballo, A., Vásquez Rojas, T. R., & Tovar Gómez, M. D. R. (2006). Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura técnica en México*, 32(3), 341-352. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s0568-25172006000300010&script=sci_arttext
- Qu, C., Liu, C., Gong, X., Li, C., Hong, M., Wang, L., & Hong, F. (2012). Impairment of maize seedling photosynthesis caused by a combination of potassium deficiency and salt stress. *Environmental and experimental botany*, 75, 134-141. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.08.019>
- Schmitz, A., & Moss, C. B. (2015). Mechanized agriculture: Machine adoption, farm size, and labor displacement. *AgBioForum*, 18(3), 278-296. <http://agbioweb.org/wp-content/uploads/2021/02/AgBioForum-18-3-278.pdf>
- Slimani, N., Arraouadi, S., & Hajlaoui, H. (2022). Biochemical and physiological behavior against salt stress effect on two quinoa accessions (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Int. J. Agric. Anim. Prod.*, 2, 9-19. <https://journal.hmjournals.com/index.php/IJAAP/article/view/920>
- Yasmeen, A., Basra, S. M. A., Farooq, M., Rehman, H. U., Hussain, N., & Athar, H. U. R. (2013). Exogenous application of moringa leaf extract modulates the antioxidant enzyme system to improve wheat performance under saline conditions. *Plant Growth Regulation*, 69, 225-233.

<https://doi.org/10.1007/s10725-012-9764-5>

Zhuang, Q., Shao, Z., Li, D., Huang, X., Cai, B., Altan, O., & Wu, S. (2022). Unequal weakening of urbanization and soil salinization on vegetation production capacity. *Geoderma*, 411, 115712. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115712>