

Efecto de diferentes niveles de salinidad en la fisiología de la variedad de maíz criolla mejorada Jaguan

Effect of different salinity levels in the physiology of improved variety of maize Creole Jaguan

Josué Israel García-López¹, Norma Angélica Ruiz-Torres^{*2},
Froylán Rincón-Sánchez³, Celestino Flores-López⁴

¹Maestría en Tecnología de Granos y Semillas, ²Centro de Capacitación de Tecnología de Granos y Semillas, ³Departamento de Fitomejoramiento
⁴Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. Buenavista, C.P. 25315. Saltillo, Coahuila, México.
Tel. (844)4110377 y 78. Email: n_nruiz@hotmail.com (*Autor responsable)

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue medir el efecto que tiene la salinidad (NaCl) sobre la calidad fisiológica de la semilla de maíz, variedad criolla mejorada Jaguan, bajo condiciones de laboratorio e invernadero. Se utilizó semilla de maíz de la variedad Jaguan, tolerante a condiciones de temporal y altas densidades de siembra; es una variedad prolífica, de ciclo intermedio, adaptada a áreas de transición y alturas arriba de los 1800 msnm). Se llevaron a cabo dos estudios: uno de pruebas de salinidad en laboratorio en el que se aplicaron 15 tratamientos: testigo, -2.68, 5.11, 7.52, 9.79, 12.07, 14.25, 16.46, 18.57, 22.80, 26.18, 29.90, 34.5, 42.1 y 48.8 mS/cm para evaluar la germinación, el vigor, el peso seco de plúmula y de la radícula, longitud de plúmula y de radícula; el otro sobre efecto de la salinidad en la tasa de asimilación de CO₂ y conductancia estomática en diferentes etapas fenológicas: hoja 5, 8, 12 y 16, en el que se aplicaron cuatro tratamientos: 18.57, 34.50 y 48.80 mS/cm en las soluciones de riego, además de un testigo tratado con agua destilada. Las variables que se evaluaron fueron: tasa de asimilación de CO₂, conductancia estomática, concentración de CO₂ intercelular y tasa de transpiración. En el estudio I se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para todas las variables, mientras que en el estudio II hubo diferencias ($P \leq 0.05$) entre tratamientos para la variable [C_i]; para las demás variables evaluadas, las diferencias fueron ($P \leq 0.01$). Para la etapa fenológica se encuentran diferencias ($P \leq 0.01$) para todas las variables. En la interacción tratamiento x etapa fenológica, hubo diferencias significativas en la tasa de transpiración ($P \leq 0.05$), mientras que para las demás variables se encontraron diferencias al ($P \leq 0.01$). Los resultados indican que los incrementos en los niveles de salinidad afectan la germinación de las semillas y la tasa de asimilación de CO₂ en plantas.

Palabras clave: maíz, Jaguan, conductividad eléctrica, fisiología.

ABSTRACT

The objectives of this study were to measure the effect of salinity (NaCl) on the physiological quality of the seed maize landrace Jaguan under laboratory and greenhouse conditions. Maize seed variety Jaguan, tolerant to rainfed conditions and high sowing densities, is a prolific variety of intermediate cycle adapted to transition areas and height above 1800 m. Treatments are expressed in electrical conductivity using sodium chloride (NaCl). Two studies were carried out: The first one was a laboratory test to determine the effect of salinity on germination using 15 treatments: control, -2.68, 5.11, 7.52, 9.79, 12.07, 14.25, 16.46, 18.57, 22.80, 26.18, 29.90, 34.5, 42.1 and 48.8 mS/cm were applied to evaluate germination, vigor, plumule and radicle dry weight and plumule and radicle. The second study measured the effect of salinity on CO₂ assimilation rate, and stomatal conductance at different growth stages: 5th, 8th, 12th, and 16th leaves. Four treatments were used: 18.57, 34.50 and 48.80 ms/cm and a control were applied in irrigation solutions to measure CO₂ assimilation rate, stomatal conductance, intercellular CO₂ concentration and transpiration rate. In the first study, significant differences ($p \leq 0.01$) for all variables were found. In the second one, differences ($P \leq 0.05$) among treatments for variable [C_i] was found. For other variables, differences ($P \leq 0.01$) they were found. For the phenological stages, differences ($P \leq 0.01$) for all variables were found. Interaction between treatments and phenological stages were found too. There were significant differences in the transpiration rate ($P \leq 0.05$) and for other variables ($P \leq 0.01$) too. The results indicate that salinity increase affects seed germination and CO₂ assimilation rate in plants.

Key words: maize, Jaguan, electrical conductivity, physiology.

INTRODUCCIÓN

La salinización de los suelos se ha convertido en un problema mundial que se concentra especialmente en zonas áridas y semiáridas, las cuales presentan una acumulación paulatina de sal debido a procesos naturales o a la intervención humana. Este problema aparece, principalmente, por la pérdida de agua del suelo (evaporación), la contaminación industrial, la aplicación de grandes concentraciones de fertilizantes y/o por el uso indebido del agua de riego. De acuerdo con Ronen (2015), el proceso de salinización de suelos cultivados es resultado, también, de la evaporación y la transpiración, lo que aumenta la concentración de solutos.

La salinidad –que se representa como conductividad eléctrica (CE)– ocasiona en la planta un estrés hídrico, lo cual se debe a que el potencial osmótico disminuye a medida que se incrementan los niveles de sal; esto trae como consecuencia una reducción del crecimiento de la planta, necrosis foliar, disminución en el crecimiento del cultivo, pérdida de la capacidad de la germinación, limitación en la producción de etileno y reducción del peso del fruto (Martínez *et al.*, 2011).

Doria (2010) menciona que la germinación es el comienzo del desarrollo del embrión, después de la cual se inician los procesos fisiológicos de crecimiento en los que intervienen actividades metabólicas como el incremento de la humedad en la semilla y su actividad respiratoria. Sin embargo, el proceso de germinación puede verse afectado por diferentes factores, tales como: la humedad, la temperatura y las propiedades del sustrato. En relación con lo anterior, Herranz *et al.* (2004) mencionan que al examinar el aumento de las concentraciones salinas en diferentes sustratos se observó un efecto negativo sobre la germinación de aclanera (*Arthrocnemum macrostachyum*) y berro amargo (*L. cardamine hirsuta*), lo cual permite deducir que este tipo de factores son inadecuados para obtener una buena germinación de la semilla y un favorable desarrollo de las plántulas.

Gupta y Sharma (1990) comentan que las plantas sometidas a salinización se ven afectadas desde la germinación hasta estados más avanzados de desarrollo, y en semillas, la salinización inhibe o reduce el proceso de germinación por el efecto osmótico. Sin embargo, el efecto principal de la salinidad en los cultivos es la reducción de su productividad, lo que afecta principalmente el rendimiento.

El efecto de las sales sobre la germinación y emergencia ha sido estudiado también en la especie

fanerógama arbustiva malvavisco (*Sphaeralcea bonariensis*); al respecto, Sobrero *et al.* (2014) indican que en trabajos realizados en laboratorio encontraron que, al aumentar las concentraciones salinas de NaCl de 0 a 150 mM, la germinación de esta especie decreció de manera exponencial. En pastos (*Kochia scoparia*), García *et al.* (2008) encontraron que las soluciones salinas de KCl afectan directamente el vigor y la germinación.

Dodd y Donovan (1999) señalaron que, debido al efecto osmótico, un aumento en los niveles de salinidad comúnmente causa una reducción en la germinación, lo que se atribuye a una reducción del potencial de los solutos en el suelo.

Por otro lado, las plantas poseen la capacidad de transformar la energía solar en energía química. Dicha cualidad puede verse afectada por diversos factores, tales como: el estrés edáfico, el climático y el hídrico, el cual, a su vez, puede ocasionarse por la elevada cantidad de sales en el agua que se emplea para el riego.

El estrés ambiental de salinidad provoca, también, una inhibición en la fotosíntesis, debido a las elevadas concentraciones de Na⁺ y/o Cl acumuladas en los cloroplastos. Por otra parte, es conocido que el transporte de electrones del mecanismo fotosintético es indeterminadamente insensible al efecto atribuido a la salinidad, lo cual permite deducir que los mecanismos dañados pueden ser el metabolismo del carbono o de la fosforilación. La ribulosa 1,5-bifosfato carboxilasa/oxigenasa (Rubisco) es una enzima bifuncional que tiene la capacidad de utilizar de manera eficiente el CO₂ y el O₂. En diversos estudios se ha encontrado que la salinidad puede disminuir la función de esta enzima, a la vez que reducir la actividad de la fosfoenolpiruvato carboxilasa, la cual cataliza las reacciones de conversión del oxaloacetato en fosfoenolpiruvato y dióxido de carbono (CO₂) (Pesqueira, 2008).

Eliosa (2010) menciona que la fotosíntesis juega un papel clave en el suministro de energía para el desarrollo de la planta, y su eficacia puede disminuir debido al efecto de la salinidad y la sequía, ya que influyen en la difusión de CO₂, en la eficiencia del PSII, en el transporte de electrones, en la formación de especies reactivas de oxígeno, en el contenido de la ribulosa- 1,5 bifosfato (RuBP) dependiente de ATP, en el suministro de NADPH y en la actividad de la ribulosa-1-bifosfato carboxilasa, 5/oxigenasa (Rubisco) y, además, en la fotorespiración.

Una respuesta fisiológica de las plantas al estrés salino se da a través de la disminución de la conduc-

tancia estomática, en la cual hay una reducción de la transpiración que impide una sequía fisiológica y permite mantener una turgencia celular. Esta disminución en la conductancia estomática conlleva el cierre de estomas y se vincula con otros factores: la luz, CO₂, temperatura y corrientes de aire. De esta manera hay una reducción del ingreso de CO₂, lo que provoca una disminución en la síntesis de fotosintatos y propicia una reducción en la producción de biomasa (Carranza *et al.*, 2009). De acuerdo Pérez (2006), la disminución en la transpiración que se da a través del cierre estomático es un proceso que se mide por el ABA en plantas expuestas a estrés. Este proceso impide una disminución en el potencial hídrico, e implica aspectos fisiológicos y metabólicos.

Con el propósito de mantener una eficiencia fotosintética a un nivel alto y/o óptimo e impedir un desbalance de energía resultado de un estrés abiótico en su proceso evolutivo, las plantas han desarrollado habilidades para adaptarse a los diferentes cambios ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación consta de dos estudios: el de pruebas de salinidad en laboratorio, y el de efecto de la salinidad en la tasa de asimilación de CO₂ y conductancia estomática.

El ensayo de germinación llevó a cabo en el laboratorio de fisiología de semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), y el estudio de efecto de la salinidad en la tasa de asimilación de CO₂, conductancia estomática, se realizó en invernadero, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de Buenavista, Saltillo.

Para el trabajo se utilizó material genético de semilla de maíz de la variedad Jaguan (Rincón-Sánchez *et al.*, 2014), registrada como MAZ-1213-240511, en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales, perteneciente al Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

Para las pruebas de salinidad en laboratorio, el experimento se estableció en un diseño completamente al azar; los tratamientos aplicados constaron de 15 conductividades eléctricas: testigo, -2.68, 5.11, 7.52, 9.79, 12.07, 14.25, 16.46, 18.57, 22.80, 26.18, 29.90, 34.5, 42.1 y 48.8 mS/cm. Los tratamientos salinos fueron calculados con base en la ecuación establecida por Van't Hoff. Donde, $Y_{os} = MiRT$ en unidades de (MPa); Y_{os} = potencial osmótico; M = molalidad de

la solución (moles disoluto/1000 g H₂O); i = constante que indica la ionización del producto, cloruro de sodio (NaCl); R = constante de los gases = (0.00831 LMPa mol⁻¹ k⁻¹); T = temperatura absoluta (°K) = 25° C + 273 = 298° K. Se sembraron en papel Anchor tres repeticiones de 25 semillas por tratamiento, las cuales se humedecieron con NaCl, y posteriormente se regaron cada tercer día; se enrollaron en forma de "taco" y se colocaron de manera aleatoria dentro de una bolsa de polietileno, para enseguida acomodarlos en una canastilla. Éstas se mantuvieron en una cámara germinadora Lab-Line Instruments, a una temperatura de 25° C y a 80% de humedad relativa.

La primera evaluación se realizó al cuarto día, en la que se contaron las plántulas normales; posteriormente, al séptimo día se contó el número de plántulas normales (PN) para evaluar el porcentaje de germinación, y, finalmente, se determinó el número de plántulas anormales (PA) y semillas sin germinar (SSG). Todos los resultados fueron expresados en porcentaje.

Por otra parte, se evaluó la longitud de plúmula y de radícula de las plántulas normales, y los datos se expresaron en cm. Asimismo, después de colocar las plántulas normales (PS) dentro de bolsas de papel de estraza con perforaciones, se sometieron a un secado continuo dentro de una estufa Lab-Line modelo 3478M, por 24 h a 70° C para determinar su peso seco. Una vez cumplido el tiempo, las bolsas se colocaron en un desecador por 15 minutos, para posteriormente tomar el peso de las plántulas en una balanza analítica (Precisa Instruments Ltd. /Switzerland); este dato se reportó en miligramos por plántula (mg/plántula).

Para el efecto de la salinidad en la tasa de asimilación de CO₂ y conductancia estomática, se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4 x 4, considerando el factor A, concentraciones de salinidad: testigo, 18.57, 34.50 y 48.80 mS/cm, y el factor B, etapa fonológica del cultivo: hoja 5, 8, 12 y 16. Las conductividades eléctricas se aplicaron en el riego como soluciones salinas, las cuales se prepararon de acuerdo a la ecuación de Van't Hoff, que determina la cantidad en g de NaCl y su aforo a un litro de agua, para ajustar los potenciales osmóticos deseados. Para establecer las plantas, se sembraron dos semillas por maceta, para lo cual se utilizaron bolsas de polietileno negro de 10 L, y una mezcla de perlita, vermiculita y peatmost (1: 0.5: 0.25) como sustrato. Posterior a la emergencia de las plántulas, se realizó un raleo a cada maceta para de-

jar una sola planta. La aplicación de los tratamientos se inició quince días después de la siembra, cuando las plántulas se establecieron.

Con el fin de realizar mediciones en diferentes etapas fenológicas: hoja 5, 8, 12 y 16, la evaluación de las variables se realizó con un equipo portátil Licor-6400, durante el desarrollo de las plantas, hasta llegar a la etapa de madurez fisiológica; de esta manera se determinaron los siguientes parámetros asociados con la fisiología de la planta: la tasa de asimilación de CO₂ (μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹), conductancia estomática (gs) en mol H₂O m⁻² s⁻¹, concentración de CO₂ intercelular (Ci) en μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ y la tasa de transpiración (Tr) en mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Para determinar el contenido de clorofila, se utilizó un medidor portátil Spad 501 (Minolta Corp., Ramsey, NJ, EEUU), con el cual se tomaron dos datos por hoja de cada planta, para ello se empleó un método no destructivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para las pruebas de salinidad en laboratorio, se encontraron diferencias significativas (P≤0.01) para las siguientes variables: vigor, germinación, plántulas anormales (PA), semillas sin germinar (SSG), peso seco de plúmula (PSP), peso seco de radícula (PSR), longitud de plúmula (LP) y longitud de radícula (LR), (Cuadro 1). Lo anterior coincide con los resultados presentados por Ramírez *et al.* (1999), ya que encon-

traron diferencias significativas para las mismas variables, al evaluar la calidad fisiológica de la semilla de Campanilla *Centrosema pubescens* cv. CIAT-438 y de Stylo *Stylosantes guianensis* cv. CIAT-184, bajo diferentes niveles de NaCl. Esto permite deducir que las elevadas concentraciones de salinidad afectan la calidad fisiológica de la semilla.

La comparación de medias para el ensayo de germinación bajo diferentes niveles de salinidad (Cuadro 2), indica que al incrementar la conductividad eléctrica hay una reducción en el vigor y en la germinación; es importante mencionar, que a partir de una conductividad eléctrica de 22.80 mS/cm se presentó una disminución drástica, lo que evidencia el efecto que tiene el NaCl en los procesos metabólicos relacionados con la germinación, ya que al incrementarse el potencial osmótico, hubo un retraso en el proceso de imbibición de la semillas, el cual se atribuye a que acumulan iones tóxicos, lo que afecta el desarrollo de las plántulas. Respecto a la acumulación de materia seca (peso seco), de igual manera se presentó una reducción al aumentar los valores en la conductividad eléctrica, lo que evidencia el efecto negativo de las sales a nivel celular debido a un desbalance de hormonas, y una disminución de la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, lo que dio como resultado un menor aprovechamiento de las reservas. De la misma manera, se observó el efecto negativo del NaCl en el desarrollo de la longitud de la plúmula y la radícula, debido a una deficiencia nutricional causada por la reducción en el potencial

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de germinación en estudios de salinidad en laboratorio.

| FV | GL | Vigor (PC) | Germinación (%) | PSP (%) | PSR (%) | GL | LP | LR |
|-------------|----|------------|-----------------|-----------|-----------|-------|------------|------------|
| Tratamiento | 14 | 5752.99 ** | 6329.04 ** | 348.71 ** | 329.81 ** | 14 | 1521.35 ** | 2531.94 ** |
| Error | 30 | 46.57 | 48.71 | 34.18 | 15.66 | 14 | 4.13 | 10.80 |
| CV (%) | | 14.87 | 11.86 | 23.11 | 144.08 | 23.11 | 29.10 | 23.54 |

*, **= Niveles de significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; GL Grados de libertad; Vigor = Plántulas normales al primer conteo; Germinación = Plántulas normales al segundo conteo; PSP = Peso seco de plúmula; PSR = Peso seco de radícula; LP = Longitud de plúmula; LR = Longitud radícula.

osmótico, pero principalmente por el daño a nivel de mitosis, ya que las altas concentraciones de salinidad inhibieron el proceso de división celular. Es importante mencionar que con una conductividad eléctrica de 2.68 mS/cm, se obtuvo 100% de vigor y de germinación, lo que indica que se llevó a cabo un proceso de osmocondicionamiento en las

semillas que se trataron con sales, lo que mejoró su metabolismo. En un estudio realizado por Camejo y Torres (2000) en dos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill), encontraron que a medida que se incrementan las concentraciones de NaCl, se ve afectada la germinación y la acumulación de biomasa fresca y seca.

Cuadro 2. Comparación de medias del análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de germinación, en estudios de salinidad en laboratorio.

| Tratamientos CE (mS/cm) | Vigor (PC) | Germinación (%) | PSP (mg/plántula) | PSR (mg/plántula) | LP (cm) | LR (cm) |
|-------------------------------|---------------|--------------------|----------------------|----------------------|------------|------------|
| 0.002 | 98.66 a | 98.66 a | 42.55 a | 39.91 a | 15.39 a | 21.24 a |
| 2.68 | 100.00 a | 100.00 a | 37.78 a | 35.23 a | 13.60 b | 20.62 ab |
| 5.11 | 100.00 a | 100.00 a | 34.89 ab | 35.23 a | 11.14 c | 20.04 ab |
| 7.52 | 92.00 a | 100.00 a | 28.14 ab | 28.76 ab | 9.63 d | 18.73 bc |
| 9.79 | 89.33 a | 98.66 a | 29.12 ab | 29.39 ab | 8.15 d | 17.43 c |
| 12.07 | 82.66 ab | 96.00 a | 20.70 bc | 23.77 bc | 5.13 e | 13.78 d |
| 14.25 | 62.66 b | 90.66 a | 19.14 bc | 21.26 bc | 4.58 ef | 13.27 d |
| 16.46 | 29.33 c | 84.00 a | 14.87 c | 15.46 cd | 3.11 fg | 10.82 e |
| 18.57 | 22.66 c | 80.00 a | 12.48 c | 13.66 cd | 2.55 gh | 8.46 e |
| 22.80 | 9.33 cd | 33.33 b | 13.22 c | 7.99 cd | 1.61 hi | 5.61 f |
| 26.80 | 1.33 cd | 1.33 c | 0.00 | 0.00 | 1.10 hi | 3.47 fg |
| 29.90 | 0.00 d | 0.00 c | 0.00 | 0.00 | 0.00 i | 0.00 g |
| 34.50 | 0.00 d | 0.00 c | 0.00 | 0.00 | 0.00 i | 0.00 g |
| 42.10 | 0.00 d | 0.00 c | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 48.80 | 0.00 d | 0.00 c | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Media | 45.86 | 58.84 | 29.95 | 4.53 | 6.99 | 13.96 |
| (Tukey, α = 0.05) | 20.53 | 20.99 | 30.07 | 19.65 | 1.49 | 2.42 |

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales [Tukey a 0.05 %]. CE = Conductividad eléctrica; Vigor = Plántulas normales al primer conteo; Germinación = Plántulas normales al segundo conteo; PSP = Peso seco de plúmula; PSR = Peso seco de radícula; LP = Longitud de plúmula; Longitud de radícula.

En cuanto al efecto de la salinidad en la tasa de asimilación de CO₂ y conductancia estomática, en el Cuadro 3 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza. Los resultados indican que las variables en estudio: A, G_s, C_i, Tr y contenido de clorofila fueron afectados significativamente por la aplicación de tratamientos con soluciones salinas, y en las etapas fenológicas en las que fueron evaluadas, lo que indica que tanto el incremento en los niveles de salinidad como la etapa vegetativa, contribuyeron en la respuesta de la fisiología de la planta. Estas diferencias pueden ser atribuidas al efecto del NaCl en los cloroplastos, ya que es donde se lleva a cabo la asimilación de CO₂ y la síntesis de clorofila. Un estudio realizado por Morales *et al.* (2002) en tres variedades de tomate expuestas a distintos niveles de NaCl (0 mM, 75 mM y 150 mM), encontraron que el intercambio gaseoso –medido a través de la conductancia estomática y la tasa de asimilación de CO₂–, así como el estado hídrico, el contenido relativo del agua y la transpiración, fueron afectados significativamente bajo estas concentraciones.

Por otra parte, el Cuadro 4 muestra la comparación de medias del estudio de asimilación de CO₂, en el cual se observa que el testigo presentó la mayor tasa de asimilación de CO₂ debido a una mayor eficiencia del mesófilo, lo que indica una reducción del C_i intercelular (139.47), y muestra que el CO₂ se fijó por la enzima Rubisco, además de presentar un alto nivel de clorofila (41.66). Asimismo, debido a

una mayor apertura de los estomas (0.076 mol H₂O m⁻² s⁻¹), la tasa de transpiración es alta (3.70 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) con respecto a los otros tratamientos. En relación a los tratamientos con conductividades eléctricas más elevadas, se observó una reducción en la tasa de asimilación de CO₂ al incrementar la conductividad eléctrica a 48.8 mS/cm, lo cual coincide con la reducción gradual en el contenido de clorofila. La conductancia estomática (g_s) no presentó un patrón definido, sin embargo, se redujo en 0.026 unidades de mol H₂O m⁻² s⁻¹ con una CE más elevada. Estos resultados coinciden con los reportados por Moreno (1998), ya en dos variedades de frijol: Flor de Junio y Pinto Americano, a una concentración de 200 mM de NaCl, se afectó significativamente la asimilación de CO₂. Por otra parte, en un estudio realizado por Franco *et al.* (2008), en plantas del nopal *Opuntia ficus-indica* (L) MILL evaluaron la concentración de clorofila bajo diferentes niveles de NaCl: 0, 50, 100, y 150 mol m⁻³ y no se encontraron efectos significativos, lo cual se atribuye al efecto osmótico y osmoprotección del aparato fotosintetizador. En este estudio, la concentración de C_i en el mesófilo de las hojas depende de dos factores: la eficiencia del mesófilo en la fijación de CO₂ y de la apertura estomática, que permite la entrada y salida tanto de CO₂ como de H₂O en forma de vapor. De acuerdo a Chávez y González (2009), en el cierre estomático influye la participación del ABA como tolerancia a la salinidad y a otros tipos de estrés, regulando el balance

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza del estudio de asimilación de CO₂ bajo diferentes concentraciones de NaCl, en invernadero.

| FV | GL | A ($\mu\text{mol de CO}_2$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | g _s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}$ s^{-1}) | C _i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}$ s^{-1}) | Tr ($\text{mmol H}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | Clorofila (SPAD) |
|---------------|----|---|--|---|--|---------------------|
| Tratamientos | 3 | 124.26 ** | 0.007 ** | 13367.84 * | 15.31 ** | 1190.53 ** |
| E. Fenológica | 3 | 106.39 ** | 0.015 ** | 71423.45 ** | 92.06 ** | 2813.88 ** |
| Trat*E F | 9 | 31.33 ** | 0.004 ** | 26521.46 ** | 3.09 * | 331.53 ** |
| Error | | 5.25 | 0.0006 | 3108.89 | 0.75 | 46.09 |
| CV (%) | | 33.23 | 45.86 | 38.28 | 32.75 | 17.03 |

*, **= Niveles de significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; GL = Grados de libertad; A = Tasa de asimilación de CO₂; g_s = Conductancia estomática; C_i = CO₂ intercelular; Tr = Transpiración; Contenido de clorofila.

hídrico de la planta, con tolerancia al estrés causado por el potencial osmótico. Se observó, así mismo, que al incrementar la conductividad eléctrica se presentó una reducción en la tasa de transpiración, lo cual se debe a que la planta activa sus mecanismos de tolerancia frente a este tipo de estrés y acciona un cierre estomático inducido por el ABA para aprovechar el potencial hídrico de la planta. En cuanto a la etapa fenológica, se observó un mayor contenido de clorofila en la hoja 8, lo que se refleja en un incremento en la tasa de asimilación de CO_2 ($9.70 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Asimismo, se presentó una alta tasa de transpiración ($5.38 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) relacionada con una mayor apertura estomática ($0.086 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Por otra parte, el contenido de clorofila se

redujo al avanzar en las etapas fenológicas, ya que presentó una disminución de 8.58 unidades, posiblemente como una respuesta al estrés salino; sin embargo, la asimilación de CO_2 se mantuvo entre $5.25 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $6.04 \text{ CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Por otra parte, para las hojas 12 y 16 hubo un incremento en la asimilación de CO_2 en $0.79 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, lo que indica que la tolerancia de la planta frente al estrés salino depende del desarrollo vegetativo en el que se encuentre. Los resultados de indican que un aumento de la salinidad en el agua de riego ocasiona cambios fisiológicos, como una disminución en la conductancia estomática, en la transpiración y en la tasa de asimilación de CO_2 , y posiblemente en el estado morfológico.

Cuadro 4. Comparación de medias del estudio de asimilación de CO_2 bajo diferentes concentraciones de NaCl, en invernadero.

| Tratamientos | | A ($\mu\text{mol de CO}_2$ $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}$ s^{-1}) | C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ s^{-1}) | Tr ($\text{mmol H}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | Clorofila (SPAD) |
|--------------|---------------------------|--|---|---|---|---------------------|
| | CE (mS/cm) | | | | | |
| 1 (Testigo) | 0.002 | 9.70 a | 0.076 a | 139.47 ab | 3.70 a | 41.66 ab |
| 2 | 18.57 | 7.86 b | 0.052 b | 120.37 b | 2.67 b | 43.65 a |
| 3 | 34.50 | 5.48 c | 0.040 b | 156.02 ab | 2.36 bc | 38.79 b |
| 4 | 48.80 | 4.65 c | 0.050 b | 164.10 a | 1.83 c | 35.08 c |
| | E. Fenológica | | | | | |
| | Hoja 5 | 6.44 b | 0.052 b | 70.28 c | 1.44 b | 40.71 b |
| | Hoja 8 | 9.70 a | 0.086 a | 155.94 b | 5.38 a | 46.55 a |
| | Hoja 12 | 5.25 b | 0.054 b | 196.76 a | 1.83 b | 39.74 b |
| | Hoja 16 | 6.04 b | 0.032 c | 154.56 b | 1.80 b | 32.13 c |
| | Media | 6.89 | 0.055 | 145.64 | 2.64 | 39.86 |
| | [Tukey, $\alpha = 0.05$] | 1.58 | 0.017 | 38.61 | 0.600 | 2.92 |

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey a 0.05 %). CE = Conductividad eléctrica; A = Tasa de Asimilación de CO_2 ; g_s = Conductancia estomática; C_i = CO_2 intracelular; Tr = Transpiración; Contenido de clorofila.

CONCLUSIONES

El incremento en la conductividad eléctrica afecta negativamente la calidad fisiológica de la semilla, ya que hay una disminución drástica de la germinación y el vigor a partir de una CE de 22.80 mS/cm.

Las plantas sometidas a salinidad presentan una disminución en su capacidad fotosintética, en la asimilación de CO₂ y en cada una de las variables asociadas. Los efectos negativos de la salinidad se hacen presentes en la fisiología de la planta, ya que el mesófilo tiene una menor capacidad de asimilación de CO₂ debido a que se modifica la apertura estomática, lo que provoca una menor transpiración de la planta y un bajo aprovechamiento de CO₂ intercelular.

LITERATURA CITADA

- CARRANZA, C., O. Lancho, D. Miranda, y B. Chaves. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) "Batavia", cultivada en un suelo salino de la sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana* 27 (1), 41-48.
- CASIERRA, F. y N. García. 2006. Producción y calidad de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria sp.*) afectados por estrés salino. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. Vol. 59. No. 2. Pp. 3527-3542.
- DODD, G. y L. Donovan. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *American Journal of Botany* 86(8): 1146-1153.
- DORIA, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Reserva Científica del Departamento de Fitotecnia, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, gaveta postal 1. San José de las Lajas, La Habana, Cuba. Vol. 31(1), 75 p.
- GARCÍA, J., P. Valdez, O. y A. Torres. 2008. Efecto del KCL en semilla de *Kochia scoparia* bajo condiciones controladas. XIV Curso Internacional y 1er Congreso en Tecnología de Semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, Buenavista, Saltillo, Coah. Mexico. 49 p.
- GUPTA, S. K. and S. K. Sharma. 1990. Response of crops to high exchangeable sodium porcentage. *Irrig. Sci.* 11: 173-179.
- HERRANZ, J. M., P. Ferrandis, y M. A. Copete. 2004. Germinación de tres halófitos amenazados en Castilla la Mancha en condiciones de estrés salino. *Invest. Agr. Sist. Rec. For.* 13 (2), 357-367.
- MARTÍNEZ, V. N., C. V. López, M. S. Basurto y R. L. Pérez. 2011. Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chihuahua, México. Vol. 5 (3), 156 p.
- MORALES, E. 2010. Estudio de las respuestas fenotípicas y fisiológicas del musgo *Ceratodon stenocarpus* ante estrés osmótico, salinidad y congelación bajo condiciones de cultivo in vitro. Tesis de Maestría en Ciencias, especialidad en Biotecnología Aplicada. Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla, Tlaxcala. 32 p.
- PESQUEIRA, J. 2008. Cambios bioquímicos, morfológicos y ecofisiológicos en plantas del género *Lotus* bajo estrés salino. Tesis de Doctorado en Ciencias, especialidad en Biología Vegetal. Universidad Politécnica de Valencia. Buenos Aires, Argentina. 48 p.
- RINCÓN-SÁNCHEZ, F., N. A. Ruíz-Torres, R. Cuellar-Flores y F. Zamora-Cacino. 2014. 'Jaguan', variedad criolla mejorada de maíz para áreas de temporal del sureste de Coahuila, México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 37 (4): 403-405.
- RODRÍGUEZ, L. 2006. Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agronomía Colombiana* 24 (1): 28-37.
- RONEN, E. 2005. Nitrato de Potasio Multi K una solución posible para los problemas de salinidad. Portal informativo para el productor agropecuario. Haifa Bay 26120, Israel. 2 p.
- SOBRERO, M. T., S., Chaila, M. C. Ochoa y M. G. Pece. 2014. Requerimientos ambientales para la germinación de *Sphaeralcea bonariensis*. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. *Vicosa-MG*, V. 32(3), pp. 491-496.