

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



ESTUDIO DE DIFERENTES NIVELES DE SALINIDAD EN LA  
GERMINACIÓN, VIGOR Y PROCESOS FISIOLÓGICOS EN LA VARIEDAD  
CRIOLLA MEJORADA DE MAÍZ JAGUAN

**Tesis**

Que presenta JOSUÉ ISRAEL GARCÍA LÓPEZ  
como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

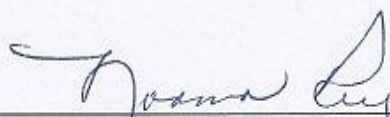
Saltillo, Coahuila

Mayo 2016

ESTUDIO DE DIFERENTES NIVELES DE SALINIDAD EN LA  
GERMINACIÓN, VIGOR Y PROCESOS FISIOLÓGICOS EN LA VARIEDAD  
CRIOLLA MEJORADA DE MAÍZ JAGUAN

**Tesis**

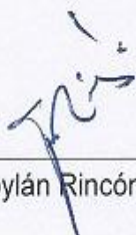
Elaborada por JOSUÉ ISRAEL GARCÍA LÓPEZ como requisito parcial para  
obtener el grado de MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y  
SEMILLAS con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



---

Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Asesor Principal



---

Dr. Froylán Rincón Sánchez

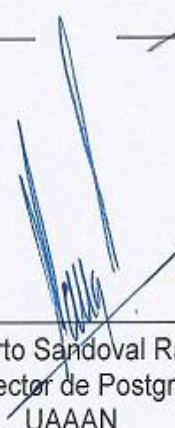
Asesor



---

Dr. Celestino Flores López

Asesor



---

Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Subdirector de Postgrado  
UAAAN

## **Agradecimientos**

**A Dios Nuestro Salvador:** Por darme la vida, por ser mi fortaleza a lo largo de ella, por regalarme una vida maravillosa al lado de mi familia mis seres más queridos, hoy concluyo una etapa más en mi vida, en la cual se han presentado adversidades y pruebas, sin embargo tu nunca me has dejado solo, tu fidelidad y lealtad siempre me han acompañado, gracias mi fiel amigo por todas y cada una de las bendiciones que has entregado a mi vida. A ti Señor, Gracias.

**“A mi Alma Terra mater”** Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Por darme la oportunidad de formar parte de ella, y por permitirme culminar mi formación profesional, y de la cual siempre he recibido apoyo, por cada momento de enseñanza dentro de tus instalaciones. Gracias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por brindarme el sustento económico para llevar a cabo mis estudios de postgrado.

A la **Ph. D. Norma Angélica Ruiz Torres** por su asesoramiento incondicional, por su dedicación y aportación a la presente investigación, pero además, por ser una gran Maestra y amiga durante mi estancia en mis estudios de postgrado.

Al **Ph. D. Froylán Rincón Sánchez** por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación, por todos sus conocimientos aportados en mis estudios de postgrado, su confianza, tiempo y dedicación.

Al **Dr. Celestino Flores López** por su valiosa colaboración, asesorías y comentarios en el desarrollo de esta investigación.

**T.L.Q Carlos Arévalo Sanmiguel**, por su valiosa aportación a este trabajo de investigación.

Al Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología y Semillas (**CCDTS**).

## **Dedicatorias**

### **A MIS PADRES:**

#### **C. Martina López de García y C. Isaías García Martínez**

A ustedes que me dieron la vida y que han sido un ejemplo intachable a lo largo de ella, porque gracias a su dedicación y esfuerzo me han sacado adelante y me han hecho un hombre de bien, por su interminable apoyo en toda mi vida, por sus enseñanzas, consejos y por su eterna paciencia y perdón ante los errores cometidos, he alcanzado esta meta en mi vida, hoy quiero expresarles que han sido parte esencial y única en mi vida.

### **A mis hermanos:**

Edgar y Carlos, porque en las buenas y en las malas siempre hemos estado juntos, gracias a la gran unión familiar que ha existido siempre; por su apoyo y comprensión los amo mucho.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
Agradecimientos .....	ii
Dedicatorias .....	iv
Lista de cuadros.....	vii
Lista de figuras.....	viii
Resumen .....	ix
Abstract.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Importancia de la salinidad .....	3
Efecto de la salinidad en la germinación .....	4
Efecto de la salinidad en el vigor de las semillas.....	5
Efectos de la salinidad en la asimilación de CO <sub>2</sub> .....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
Material genético utilizado .....	9
Estudio preliminar. Calidad fisiológica de semillas y análisis bromatológico.....	9
Estudio I. Ensayo de laboratorio para determinar el efecto de la salinidad en la germinación .....	14
Estudio II. Efecto de la salinidad en la tasa de asimilación de CO <sub>2</sub> y en la conductancia estomática .....	16
Estudio III. Índice de velocidad de emergencia y emergencia total con diferentes concentraciones de NaCl en invernadero .....	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	21
Estudio Preliminar. Calidad fisiológica de las semillas y análisis bromatológico .....	21

Estudio I. Ensayo de laboratorio para determinar el efecto de la salinidad en la germinación .....	22
Estudio II. Efecto de la salinidad en la tasa de asimilación de CO <sub>2</sub> y conductancia estomática. ....	27
Estudio III. Índice de velocidad de emergencia y emergencia total en invernadero, bajo concentraciones salinas. ....	40
CONCLUSIONES .....	44
LITERATURA CITADA .....	45

## Lista de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Potenciales osmóticos de los tratamientos aplicados en el ensayo de germinación y vigor de la semilla. ....	15
<b>Cuadro 2.</b> Potenciales osmóticos aplicados para evaluar la respuesta de plantas de maíz bajo condiciones de salinidad en invernadero. ....	17
<b>Cuadro 3.</b> Potenciales osmóticos en los tratamientos para determinar el índice de velocidad de emergencia.....	19
<b>Cuadro 4.</b> Ensayo de la calidad fisiológica en semilla de maíz de la variedad JAGUAN. ....	21
<b>Cuadro 5.</b> Análisis de las composición química de la semilla de maíz de la variedad JAGUAN.....	22
<b>Cuadro 6.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para variables evaluadas en el ensayo de germinación en estudios de salinidad en laboratorio. ....	23
<b>Cuadro 7.</b> Comparación de medias de las variables evaluadas en el ensayo de germinación, en el estudio de salinidad en laboratorio. ....	25
<b>Cuadro 8.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza del estudio de asimilación de CO <sub>2</sub> bajo diferentes concentraciones de NaCl, en invernadero. ....	28
<b>Cuadro 9.</b> Comparación de medias del estudio de asimilación de CO <sub>2</sub> bajo diferentes concentraciones de NaCl, en invernadero. ....	32
<b>Cuadro 10.</b> Coeficiente de correlación entre las variables fisiológicas del estudio de salinidad. ....	37
<b>Cuadro 11.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de pesos seco del dosel y peso seco de raíz. ....	38
<b>Cuadro 12.</b> Comparación de medias para las variables de pesos seco de dosel y pesos seco de raíz.....	38
<b>Cuadro 13.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas evaluadas en invernadero, bajo diferentes concentraciones de NaCl. ....	41
<b>Cuadro 14.</b> Comparación de medias para variables fisiológicas evaluadas en invernadero bajo, diferentes concentraciones de NaCl.....	42

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Efecto de la salinidad en la tasa de asimilación de CO <sub>2</sub> (A).....	33
<b>Figura 2.</b> Efecto de la salinidad en la conductancia estomática (g <sub>s</sub> ) .....	34
<b>Figura 3.</b> Efecto de la salinidad en concentración de CO <sub>2</sub> intercelular (C <sub>i</sub> ) .	35
<b>Figura 4.</b> Efectos de la salinidad en la tasa de transpiración (Tr).....	36
<b>Figura 5.</b> Efecto de la salinidad en el contenido de clorofila .....	37



## Resumen

ESTUDIO DE DIFERENTES NIVELES DE SALINIDAD EN LA  
GERMINACIÓN, VIGOR Y PROCESOS FISIOLÓGICOS EN LA VARIEDAD  
CRIOLLA MEJORADA DE MAÍZ JAGUAN

POR:

JOSUÉ ISRAEL GARCÍA LÓPEZ

MAESTRÍA PROFESIONAL EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

PH. D. NORMA A. RUIZ TORRES – ASESOR –

Saltillo, Coahuila

Mayo 2016

La variedad JAGUAN es tolerante a condiciones de temporal y a altas densidades de siembra, es prolífica, de ciclo intermedio, adaptada a áreas de transición y altura arriba de los 1800 msnm, sin embargo, se desconoce su tolerancia al estrés salino. Los objetivos de este trabajo fueron: 1). Medir el efecto del estrés salino sobre la calidad fisiológica de la semilla, 2). Determinar la respuesta fotosintética a la salinidad en condiciones de invernadero y en diferentes etapas fenológicas. 3) Determinar en qué grado influye el estrés salino sobre el vigor de las semillas. Estudio preliminar: se llevó a cabo para determinar la calidad fisiológica de las semillas, se sembró en papel Anchor y se evaluó germinación, vigor, peso seco de plúmula y de radícula y longitud de plúmula y de radícula, además se realizó un análisis proximal de la semilla. Los tratamientos para los estudios I, II y III se expresaron en mS/cm, unidades de conductividad eléctrica (CE), utilizando NaCl. Estudio I. Ensayo de laboratorio para determinar el efecto de la salinidad en la germinación. Se sembró semillas entre papel (Anchor), se aplicaron 15 tratamientos (0.0, -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) y se mantuvieron por siete días en una cámara germinadora a 25°C; se evaluó porcentaje de germinación, vigor, peso seco y longitud de plúmula y de radícula. Estudio II. Se determinó el efecto del estrés salino en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> (A), conductancia estomática (g<sub>s</sub>), CO<sub>2</sub> intercelular (C<sub>i</sub>), tasa de transpiración (Tr) y el contenido de clorofila (SPAD), en plantas cultivadas en invernadero; se aplicaron cuatro tratamientos (0.0, 18.57, 34.50 y 48.80 mS/cm) y se evaluó en diferentes etapas fenológicas (hoja 5, 8, 12 y 16). Estudio III. Índice de velocidad de emergencia (IVE) y emergencia total (ET) en invernadero. En una cama para siembra se aplicaron siete tratamientos (0.00, 5.11, 9.79, 14.25, 18.57, 22.80 y 26.80 mS/cm), se evaluó el IVE, ET y el peso seco de plántulas (PSP). Resultados del estudio preliminar muestran una germinación de 96 %. En el análisis bromatológico se determinó cenizas 1.41 %, fibra cruda 1.74 %, lípidos 5.77 %, proteína cruda 10.50 % y carbohidratos 81.06 %. Estudio I. Se encontraron diferencias significativas (P≤0.01) para todas las variables, el incremento de la CE redujo la germinación y el crecimiento de las plántulas. Estudio II. Se encontraron diferencias significativas para todas las variables, incrementos en la CE

redujeron  $A$ ,  $g_s$ ,  $C_i$ ,  $Tr$  y el contenido de clorofila; estos resultados indican que la acumulación de sales en las plantas afecta la capacidad fotosintética, expresándose en un menor crecimiento y producción de biomasa. Estudio III. En invernadero, se obtuvieron diferencias significativas para las variables IVE, ET y PSP. El IVE y la ET se redujeron considerablemente a una CE de 9.79 mS/cm, esto es atribuido a la toxicidad de los iones en la solución. En la variable PSP, el testigo alcanzó un valor de 47.58 mg plántula<sup>-1</sup>, mientras que a una CE de 18.57 mS/cm, se obtuvo 13.82 mg plántula, como resultado de un menor desarrollo radicular y de la plúmula. En general, se observó que la salinidad en el agua de riego, es uno de los factores ambientales que limita el vigor de la semilla, la germinación, la asimilación de CO<sub>2</sub> y el crecimiento de la planta.

**Palabras clave:** maíz, JAGUAN, salinidad, germinación, vigor.

**Abstract**

STUDY OF DIFFERENT SALINITY LEVELS IN GERMINATION, VIGOR  
AND PHYSIOLOGICAL PROCESS IN JAGUAN AN IMPROVED MAIZE  
LANDRACE

BY:

JOSUÉ ISRAEL GARCÍA LÓPEZ

PROFESSIONAL MASTER IN GRAIN AND SEED TECHNOLOGY  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

PH. D. NORMA ANGÉLICA RUIZ TORRES – ADVISER

Saltillo, Coahuila

Mayo 2016

JAGUAN is a variety tolerant to rain fed conditions and to a high planting density; it is prolific, of intermediate cycle, adapted to transition areas and more than 1800 masl, however its tolerance to salinity stress is unknown. The objectives of this research work were: 1). To measure the saline stress effect in the seed physiological quality, 2). To determine in greenhouse environment and in different phonological stages the photosynthetic response to salinity conditions and 3). To determine the degree in which the saline stress affects the seed vigor. Preliminary assays were carried out to determine the seed physiological quality; seeds were planted in Anchor paper, germination, seed vigor, plumule and radicle weight, and plumule and radicle length were evaluated, also a proximal seed analysis was done. Treatments for studies I, II and III were expressed in mS/cm (electrical conductivity) (EC) using NaCl. Study I. Laboratory assay to determine germination salinity effect. Seeds were planted between Anchor paper, and germinated with the application of fifteen CE treatments (0.0, -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) and kept for seven days in a growth chamber at 25°C; seed germination, vigor, plumule and radicle length, and plumule and radicle dry weight were evaluated. Study II. The effect of saline stress was determined in the CO<sub>2</sub> assimilation rate (A), stomatal conductance (g<sub>s</sub>), intercellular CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>), transpiration rate (Tr) and chlorophyll content (SPAD), in greenhouse cultivated plants; four treatments were applied (0.0, 18.57, 34.50 y 48.80 mS/cm), and evaluated in different phonological stages (5<sup>th</sup>, 8<sup>th</sup>, 12<sup>th</sup> and 16<sup>th</sup> leaves). Study III. Emergence speed index (ESI) and total emergence (TE) under greenhouse conditions. In a planting bed, seven treatments were applied (0.00, 5.11, 9.79, 14.25, 18.57, 22.80 y 26.80 mS/cm), ESI, TE and seedlings seed weight (SDWT) were determined. Results from the preliminary assay indicated that the seed had 96 % germination. The bromatological test results showed 1.41 % ashes, 1.74 % crude fiber, 5.77 % lipids, 10.50 % crude protein and 81.06 % carbohydrates. Study I. Significant differences were found (P≤0.01) for all variables, increases in the EC reduced the germination percentage and the seedlings growth. Study II. Significant differences were found for all variables, increases in the EC, diminished A, g<sub>s</sub>, C<sub>i</sub>, Tr and the chlorophyll content; these results showed that

the NaCl accumulation in the plants, affected the photosynthetic capacity, expressed as less growth and biomass production. Study III. In greenhouse, significant differences were obtained for ESI, TE and SDWT. The ESI and the ET were considerably reduced at a CE of 9.79 mS/cm, this is attributed to the solution ion toxicity. For SDWT, the check had 47.58 mg/seedling, while at a CE of 18.57 mS/cm, it was reduced to 13.82 mg/seedling, as a result of less radicle and plumule development. In general, it was observed that salinity is one of the environment factors that limits seed vigor, germination, CO<sub>2</sub> assimilation rate and plant growth.

**Key words:** maize, JAGUAN, salinity, germination, vigor.

## INTRODUCCIÓN

La salinidad en suelos representa un problema a nivel mundial para la producción de alimentos, teniendo como efecto una reducción del potencial productivo de los cultivos (Rodríguez, 2009). Se concentra principalmente en regiones con climas áridos y semiáridos; causa de la alta pérdida de agua por evaporación, que trae consigo un incremento de las sales en la superficie del suelo. Aunque hay otras causas, como el uso indiscriminado de fertilizantes, sobre explotación de mantos acuíferos, la calidad del agua de riego entre otros.

La salinidad genera una degradación constante de los suelos, se estima que en la actualidad más de 831 millones de hectáreas a nivel mundial presentan problemas de salinidad; para el caso de México, la salinidad en la superficie del suelo se presenta en más del 3.2 % de su territorio. Las plantas expuestas a altos niveles de salinidad, afectan su capacidad de absorción del agua y por otra parte los efectos tóxicos de los iones ocasionan un daño a nivel enzimático en los procesos de glicólisis, ciclo de Krebs y fotofosforilación, que son sensibles a las soluciones salinas, teniendo como resultado reducción en la disponibilidad de energía, de nutrientes y del crecimiento de las plantas y germinación de las semillas (Mata-Fernández *et al.*, 2014).

Siendo la salinización un proceso de degradación química de los suelos, es importante tener conocimiento sobre sus efectos en la germinación y el desarrollo de las plantas, con el fin de identificar genotipos con capacidad de tolerar este tipo de estrés.

Uno de los cultivos considerados como moderadamente sensible a la salinidad, es el maíz. Este ocupa una posición clave como uno de los cereales más importantes, tanto para el consumo humano y animal, además de tener un impacto económico y social. Sin embargo, factores como el cambio climático, el empleo de agua de riego de baja calidad y el uso excesivo de fertilizantes, están promoviendo degradaciones rápidas de los suelos destinados a la agricultura y aumentando los niveles de salinidad. El

maíz es una planta con un metabolismo C4, y muestra signos evidentes de estrés cuando es sometido a condiciones de salinidad, que van desde una disminución en la germinación, reducción del crecimiento, marchitamiento de las hojas, aun cuando hay una adecuada humedad del suelo, ya que la planta no puede absorber el agua. En este trabajo de investigación se estudió el nivel de tolerancia a la salinidad de la variedad JAGUAN, se consideraron parámetros como la germinación, el vigor y la eficiencia fotosintética.

### **Objetivos**

- Evaluar la respuesta fisiológica de la planta a diferentes niveles de salinidad.
- Determinar el efecto de la salinidad sobre los caracteres de germinación y vigor de la semilla.

### **Hipótesis**

Elevadas concentraciones de NaCl en la solución del suelo, tienen un efecto negativo en los procesos fisiológicos de la germinación.

La salinidad del suelo afecta la expresión de vigor, de germinación, obteniéndose plántulas de menor longitud y peso seco.

El estrés salino reduce la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, la conductancia estomática, el CO<sub>2</sub> intercelular y la tasa de transpiración, resultando en una disminución de la biomasa, por la afectación en la síntesis de fotosintatos.



## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Importancia de la salinidad**

La proporción de sales en el suelo está determinada en primera instancia por el material parental del que se origina, a este se acumulan sales acarreadas desde las fuentes de agua en el subsuelo e incluso por el viento. Aunado a esto, el uso de fertilizantes y la calidad del agua de riego, además de las condiciones del suelo, la eficiencia de los sistemas de drenaje, la explotación de los mantos acuíferos y las prácticas de manejo agronómico, las cuales son fuentes importantes en el suministro de sales (Otero *et al.*, 2007).

En este mismo sentido Ronen (2015), menciona que el proceso de salinización de los suelos cultivados, se debe también a la evaporación y transpiración, lo cual reduce el contenido de agua en el suelo, e incrementa la concentración de solutos. Una elevada concentración de sodio (Na) en el suelo se denomina “sodicidad”, mientras que a una elevada concentración de cloro (Cl) u otras sales se le denomina salinidad, representada como “conductividad eléctrica” (CE).

De acuerdo con Villacencio *et al.* 2011, la alta concentración de sales en el suelo, disminuye el potencial osmótico de la solución. Las plantas cultivadas bajo condiciones de salinidad sufren un estrés hídrico que provoca una reducción en el crecimiento de la planta, necrosis foliar, pérdida de la capacidad de la germinación, limitación en la producción de etileno y reducción del peso del fruto.

En los últimos años se han realizado investigaciones sobre los problemas asociados con la salinidad en suelos, y su efecto en los cultivos, dejando como manifiesto la trascendencia de este problema sobre el desarrollo de la agricultura (Aliu *et al.*, 2015; Turan *et al.*, 2009; Sozharajan y Natarajan, 2014).

En México, la salinidad del suelo limita el potencial agrícola y su distribución y extensión se está incrementando; se estima que 29.3 millones de hectáreas que son destinadas para siembra, no pueden ser utilizadas en su

totalidad debido a la alta concentración de sales que poseen (Martínez *et al.*, 2011).

### **Efecto de la salinidad en la germinación**

Por definición, la germinación incorpora aquellos eventos que inician con la absorción de agua y termina con el alargamiento del eje embrionario (Derek, 1997). Sin embargo, el proceso de germinación puede ser afectado por diferentes factores, como la humedad, la temperatura y las altas concentraciones salinas en el suelo. Gupta y Sharma (1990) comentan que las plantas sometidas a salinidad son afectadas desde la germinación hasta estados más avanzados del desarrollo; en semillas, 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 en productividad, afectando principalmente el rendimiento, debido a la presencia de una alta conductividad eléctrica en el perfil del suelo superior a los cuatro dS/m en la planta, inhibiendo de este modo la absorción de agua y de nutrientes, por el efecto tóxico, lo que trae consigo limitaciones en cuanto al establecimiento de plantas y su deficiente desarrollo.

Al respecto Dodd y Donovan (1999) señalan que un aumento en los niveles de salinidad comúnmente causa una reducción en la germinación, debido al efecto osmótico, atribuido a una reducción del potencial de los solutos en el suelo, ocasionando un estrés hídrico para la planta y a los impactos iónicos, provocando una menor disponibilidad de agua para las semillas y plantas, de esta manera si no generan el suficiente potencial osmótico para mejorar su estado hídrico, resultará en una reducción de la germinación y el crecimiento de las plántulas.

Diversos autores han estudiado la respuesta del maíz a diferentes niveles de salinidad (Layne *et al.*, 2007; Layne *et al.*, 2008; Awad *et al.*, 2014; Khodarahmpour *et al.*, 2012; Abdellatif y Ali 2015; Aliu *et al.*, 2015) señalando que al evaluar la etapa de germinación de diferentes genotipos se observa que esta especie presenta tendencia a la reducción gradual de la germinación y vigor, conforme se incrementa la concentración de sal.

En maíz, el estrés salino, además de afectar la germinación, reduce el vigor de semillas y plántulas, limitando el potencial de desarrollo y productivo

(Khodarahmpour, 2012; Abraha y Yohannes, 2013; Ibne *et al.*, 2014; Aliu *et al.*, 2015).

Por su parte Goykovic y Saveedra (2007) mencionan que los incrementos en los niveles de salinidad, afectan negativamente la germinación de semillas de tomate, tanto en especies silvestres como en cultivadas, reduciendo el porcentaje de germinación. La tolerancia a la salinidad de las semillas en la etapa de germinación, depende de la habilidad de estas para soportar los impactos de las altas concentraciones salinas del medio.

### **Efecto de la salinidad en el vigor de las semillas**

El vigor de las semillas ha sido definido como la sumatoria total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de las mismas, durante la germinación y emergencia de las plántulas. Sin embargo, el comportamiento del vigor en una semilla puede ser afectado por diversos factores, incluyendo el estrés salino, ya que influye de manera directa y negativa en este atributo de calidad.

Eisazadeh *et al.* (2014) evaluaron los efectos de diferentes niveles de salinidad inducidos por el NaCl, en los procesos fisiológicos de semilla maíz y encontraron una disminución del peso fresco de las plántulas (raíz y plúmula), probablemente debido a que las plantas almacenan iones tóxicos de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en las vacuolas, afectando su metabolismo celular, considerando a la salinidad, como uno de los factores ambientales más importantes que afectan los procesos fisiológicos en plantas.

En relación con lo anterior Giaveno *et al.* (2007), sometieron a 14 híbridos comerciales de maíz, a diferentes concentraciones de salinidad, observando una disminución en el peso seco de las plántulas para todos los genotipos, además de exhibir síntomas de toxicidad, como marchites en las hojas y clorosis generalizada en relación con el incremento de la sal.

Los rasgos asociados con el vigor de las semillas, como el peso de las plántulas, la tasa de crecimiento y la eficiencia fotoquímica bajo condiciones de estrés, puede ser utilizado como criterios de selección para tolerancia del cultivo de maíz a la salinidad, en los programas de mejoramiento.

Según Khodarahmpour *et al.* (2012), la longitud de la radícula es uno de los más rasgos importantes a considerar bajo el estrés salino, debido a que las

raíces están en contacto con el suelo y absorben agua del mismo. Por esta razón, la longitud de la radícula proporciona un importante indicador sobre la respuesta de las plantas a estrés causado por la salinidad. Por su parte, Saadalla *et al.* (2007) encontraron que la longitud de plúmula y de radícula de tres híbridos comerciales de maíz en estudio disminuyó considerablemente en respuesta al aumento de los niveles de salinidad.

Radić *al.* (2007) mencionan que el maíz se cultiva en diversas regiones con gran diversidad de climas, bajo diferentes condiciones de producción. Asumiendo que las altas concentraciones de sales en el suelo reducen el rendimiento de este cultivo, las etapas en las que se ve más afectado por las condiciones de salinidad, son la germinación y el crecimiento de las plántulas

### **Efectos de la salinidad en la asimilación de CO<sub>2</sub>**

Las plantas poseen la capacidad de transformar la energía solar en energía química. Dicha cualidad se puede ver afectada por diversos factores de estrés como el edáfico, climático e hídrico, este último puede ser ocasionado por la elevada cantidad de sales en el agua empleada para el riego.

El estrés ambiental por salinidad da como resultado una inhibición en la fotosíntesis, debido a las elevadas concentraciones de Na<sup>+</sup> y/o Cl<sup>-</sup> acumulados en los cloroplastos. Dado que el transporte de electrones del mecanismo fotosintético es indeterminadamente insensible al efecto atribuido a la salinidad, esto 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 CO<sub>2</sub> y el O<sub>2</sub>, siendo una enzima esencial en la fijación de CO<sub>2</sub> durante el proceso de fotosíntesis. Se ha encontrado que la salinidad puede disminuir la función de esta enzima, de igual manera hay una reducción en la actividad de la fosfoenolpiruvato carboxilasa, la cual cataliza las reacciones de conversión del oxaloacetato en fosfoenolpiruvato y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Pesqueira, 2008).

Casierra y García (2006) mencionan que una menor eficiencia en la carboxilación y en la tasa máxima de asimilación de CO<sub>2</sub>, es una señal de la restricción de la fotosíntesis total bajo saturación de luz y concentración

adecuada de CO<sub>2</sub>. La eficacia de la carboxilación manifiesta la función de la Rubisco, enzima clave durante el ciclo de Calvin en las reacciones oscuras de la fotosíntesis.

Al respecto Munns (2002) menciona que tanto el estrés hídrico como el estrés salino tienen un efecto reductor en el proceso de fotosíntesis. La salinidad afecta de diferentes maneras el desarrollo de la planta; en primer lugar se da una reducción del crecimiento en respuesta al efecto osmótico de la sal presente en el suelo, teniendo un efecto idéntico al estrés hídrico. Sin embargo cuando la sal entra y se acumula en los tejidos de la planta se presenta un efecto tóxico que trae como resultado la senescencia de los mismos.

El estrés hídrico generado por la sal disminuye el potencial hídrico y potencial osmótico de las hojas, mismos que controlan el intercambio gaseoso. Así mismo el estrés iónico no causa daños irreversibles al aparato fotosintético.

Una respuesta fisiológica de las plantas al estrés salino se da a través de la disminución de la conductancia estomática; en la cual hay una reducción de la transpiración impidiendo una sequía fisiológica, lo cual permite mantener una turgencia celular. Esta reducción en la conductancia estomática conlleva el cierre de estomas y se vincula con otros factores como la luz, CO<sub>2</sub>, temperatura y corrientes de aire. De esta manera hay una reducción del ingreso de CO<sub>2</sub>, afectando la fotosíntesis, teniendo como resultado una disminución en la síntesis de fotosintatos, causando una reducción en la producción de biomasa (Carranza *et al.*, 2009).

En este mismo sentido James *et al.* (2002), mencionan que la conductancia estomática y la asimilación de CO<sub>2</sub> son indicadores muy sensibles al estrés por salinidad.

De acuerdo Rodríguez (2006), la disminución en la transpiración que se da a través del cierre estomático, es mediado por el ácido abscísico (ABA) en plantas expuestas a estrés. Este proceso impide una disminución en el potencial hídrico, e implica aspectos fisiológicos y metabólicos. La síntesis de diversos metabolitos tales como aminoácidos, azúcares solubles, poliaminas, fructanos y pigmentos (carotenoides, antocianinas, betalainas) no interactúan con el metabolismo celular, sino que son esenciales en el

mantenimiento de la turgencia celular. Dichos metabolitos interactúan con proteínas y lípidos, lo cual permite reducir cambios en las membranas celulares, disociando complejos proteicos e inactivación de enzimas. En plantas que son expuestas a elevados niveles extracelulares de salinidad, se da una transportación de iones mediante los sistemas selectivos de  $K^+$  y  $Na^+$  y de los no selectivos, estos se encuentran en la membrana celular y vacuolar. La fase de osmoregulación permite a las plantas la aptitud de tolerar condiciones de altas concentraciones de salinidad, a través de mecanismos de adaptación que previenen una reducción en la tasa de fotosíntesis, los cambios en la translocación y redistribución de fotoasimilados y disminuciones en el rendimiento, aspectos que son de gran importancia en el funcionamiento de la planta y en la productividad que puedan alcanzar los cultivos.

En el proceso evolutivo de las plantas se han desarrollado habilidades para la adaptación a los diferentes cambios ambientales, teniendo como propósito mantener una eficiencia fotosintética, a un nivel alto y/o óptimo, impidiendo un desbalance de energía resultado de un estrés abiótico. La salinización de los suelos es un proceso al cual algunas especies se adaptaran, sin embargo no todas tienen la constitución genética para lograrlo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación consistió en el establecimiento de cuatro estudios: Estudio preliminar. Calidad fisiológica de las semillas y análisis bromatológico; Estudio I. Ensayo de laboratorio para determinar el efecto de la salinidad en la germinación; Estudio II. Efecto de la salinidad en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y conductancia estomática; Estudio III. Índice de velocidad de emergencia y emergencia total en invernadero, bajo concentraciones salinas.

### **Material genético utilizado**

Se utilizó semilla de maíz de la variedad JAGUAN (Rincón-Sánchez *et al.*, 2014). Es una variedad de ciclo intermedio, adaptada a áreas de transición y altura (arriba de los 1800 msnm), es prolífica, responde a la aplicación de fertilizantes y tolera altas densidades de población en siembras de temporal.

### **Estudio preliminar. Calidad fisiológica de semillas y análisis bromatológico**

Al inicio del trabajo de investigación, se realizó un ensayo de germinación de acuerdo a las reglas de la ISTA (2004), con la finalidad de conocer la capacidad germinativa y el vigor de la semilla.

Se sembraron tres repeticiones de 25 semillas en papel Anchor, el cual se humedeció con agua destilada, posteriormente se enrollaron en “forma de taco”, se acomodaron aleatoriamente en una bolsa de polietileno transparente dentro de una canastilla, esta se mantuvo en una cámara germinadora Lab-line Instruments a una temperatura de 25° C y 80 % de humedad.

Al cuarto día se evaluó las plántulas normales (plántulas con raíz y plúmula, cada una con dos centímetros de desarrollo) como un indicador de vigor de la semilla y el resultado se expresó en porcentaje. En el mismo ensayo se realizó un segundo conteo de plántulas al séptimo día, para determinar el porcentaje de germinación, contando las plántulas normales (PN), anormales

(PA) y las semillas sin germinar (SSG). Se determinó también la longitud de plúmula (LP) y de radícula (LR) en plántulas normales, estos datos se expresaron en cm, y se consideran un indicador del vigor. Para finalizar, se tomó el peso seco (PS) de todas las plántulas normales, las cuales fueron colocadas en bolsas de papel estraza con perforaciones, para someterlas a secado en una estufa Lab-Line modelo 3478M, con una duración de 24 h a 70°C. Al cumplirse el tiempo, las bolsas fueron colocadas en un desecador por 15 minutos, esto con el fin de evitar que las plántulas fueran expuestas a la humedad relativa del ambiente y posteriormente se pesaron en una balanza analítica (Precisa Instruments Ltd. / Switzerland), expresando su peso en miligramos por plántula.

### **Análisis bromatológico**

Las determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Nutrición de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se utilizó el manual de técnicas utilizadas por la AOAC (1984). Se tomaron al azar dos muestras de semillas, se procedió a una molienda en un molino (KRUPS GX4100) estas incluían pericarpio, endospermo y embrión, posteriormente se conservaron en bolsas de polietileno transparente. En este estudio se determinó cenizas, proteína, grasas, fibra y nitrógeno, a continuación se menciona la metodología empleada.

### **Materia seca total**

La materia seca, es la muestra de la cual se extrae el agua por acción del calor y es constituida por sustancias que contienen carbono o materia orgánica, de tal manera que es susceptible a quemarse y que aporta energía al alimento, asimismo integra sustancias que no pueden quemarse y los residuos que forman son cenizas cuando son sometidos a calcinación. La materia seca total se obtiene a través de la evaporación total de la humedad a una temperatura que varía entre 100-105 C°.

El método consistió en utilizar crisoles de porcelana a peso constante, expuestos a un horno de secado marca Arsa modelo AR-220 por 24 horas a una temperatura de 100 C°, posteriormente se retiraron del horno, para ser introducidos en un desecador durante 20 minutos, y después se obtuvo su



peso, se pesaron dos gramos de muestra molida con un molinillo de uso exclusivo para granos, los dos gramos de muestra se depositaron utilizando una espátula, en crisoles por separado, cada una identificada para ser introducidos en el horno durante 12 horas, posteriormente se colocaron en el desecador para ser enfriadas y para finalizar se pesaron. Los datos que se registraron fueron el número y peso del crisol, peso del crisol más la muestra fresca y el peso del crisol más la muestra seca, con estos datos se estimó la materia seca total a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Mst} = \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{muestra seca}) - \text{peso de crisol vacío}}{\text{g de muestra}} * 100$$

### **Cenizas (C)**

El método consistió en incinerar (500-600 C°) en un mechero, la muestra molida de la semilla contenida en un crisol, hasta llegar al punto de carbonizado, después se colocó en una mufla durante tres horas, transcurrido el tiempo se retiró con unas pinzas y se colocó en un desecador por un tiempo de 15 minutos para su enfriamiento. Los resultados se obtuvieron a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{cenizas}) - \text{peso del crisol}}{\text{g de muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Materia orgánica} = \% \text{ MST} - \% \text{ Cenizas}$$

### **Proteína cruda (PC)**

Se denomina proteína cruda, ya que no solo incluye proteínas, sino que también comprende compuestos nitrogenados.

La metodología consistió en la conversión del nitrógeno de las sustancias nitrogenadas en amonio. Se pesó 1 g de la muestra molida, la cual fue colocada en el matraz Kjeldhal, se agregó una cucharada de muestra de selenio, se añadieron de seis a siete perlas de vidrio y por último se agregaron 30 ml de ácido sulfúrico concentrado. Posteriormente se colocó el matraz en el digestor Kjeldhal, se encendió la parrilla durante cinco minutos,

hasta que la muestra cambió de tonalidad de café oscuro a verde claro, después se enfrió el matraz y se agregaron 300 ml de agua destilada. En el matraz Erlenmeyer se agregaron 50 ml de ácido bórico y se añadieron seis gotas de indicador mixto, se colocó la manguera del destilador Kjeldhal dentro del matraz y se agitó para disolver bien la muestra, se abrió la llave del agua colocando el matraz sin agitarlo y se agregaron 110 ml de hidróxido de sodio al 45 % por las paredes del matraz, se añadieron siete granadillas de zinc y se llevó al aparato de destilación Kjeldhal, una vez encendida la parrilla se colocó en la parte superior y se abrió la llave del agua, para que se agregaran 300 ml, posteriormente se retiró el matraz Erlenmeyer de la manguera y se apagó la parrilla, esto con el fin de evitar que la muestra se succionara y se devolviera al matraz Kjeldhal. Los cálculos se realizaron en base a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{D * 0.014 * N}{g \text{ de muestra}} * 100$$

D = (ml gastados de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en la muestra – ml gastados de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> blanco 0.3)

1 eq de nitrógeno pesa 14 g/eq= 14/100 = mili equivalente

N= normalidad del ácido sulfúrico = 0.1

$$\% \text{ Proteína Cruda} = \% \text{ Nitrógeno} \times 6.25$$

El 6.25 resulta de dividir 100 entre 16, que es el porcentaje de nitrógeno que tienen los alimentos.

### **Lípidos (Lip)**

Este análisis no solo permite identificar grasas y aceites, sino también distintos compuestos como vitaminas liposolubles, pigmentos, fosfolípidos, glicolípidos, ceras, parafinas y xantófilas.

La metodología empleada constó en poner tres perlas de vidrio en dos matraces de bola de fondo plano, colocándolos en la estufa durante 12 horas para que mantuvieran a peso constante. Posteriormente en un papel filtro se pesó cuatro gramos de muestra (molida) y se colocó en un dedal de asbesto, doblando con precaución el dedal que contenía la muestra, se retiró con las

pinzas un matraz bola de fondo plano y se colocó en el desecador durante 10 minutos, después de enfriarse se pesó el matraz, se agregaron 250 ml de hexano al matraz y se colocó un dedal en el Soxhlet, junto con el matraz bola del refrigerante, se encendió la parrilla y se abrió la llave del agua para dejarlo 6 horas sifoneando. Posteriormente se retiró el dedal con pinzas, recuperando el solvente y colocando el matraz en la estufa, el cual se dejó por 12 horas, para después sacarlo para su enfriamiento y proceder al pesaje. Los cálculos se realizaron a través de la siguiente fórmula:

$$\% Lip = \frac{(Peso\ de\ matraz +\ grasa) - peso\ de\ matraz\ vacío}{g\ de\ muestra} * 100$$

### **Fibra cruda (FC)**

La fibra está asociada con la lignina y la celulosa, esto hace referencia a los glúcidos insolubles en el agua que resisten la acción hidrolítica de los ácidos y álcalis.

El procedimiento consistió en pesar dos g de muestra, colocándolos dentro del vaso Berzelius y se agregaron 100 ml de ácido sulfúrico 0.255 N, se abrió la llave del digestor Labconco y se encendió la parrilla en escala 2-3.5 para colocar el vaso, después de que la muestra empezó a hervir se contaron 30 minutos. Se calentó agua destilada y se colocó el filtro sobre el embudo de la muestra y se lavó con agua caliente, con ayuda de una espátula se vació la muestra en el vaso y se agregaron 100 ml de hidróxido de sodio 0.313 N, después de que empezó a hervir se contaron 30 minutos y se retiró la muestra, se lavó y se filtró con agua caliente, y con las pinzas se retiró un crisol de la estufa.

Con espátula se retiró la muestra y se colocó en el crisol dejándolo por 12 horas en la estufa, después se retiró el crisol de la estufa con las pinzas, para colocarlo en el desecador para enfriarlo y pesar. Posteriormente se colocó el crisol en la mufla durante 12 horas, se enfrió en el desecador durante 10 minutos y se pesó. Los cálculos se realizaron a través de la siguiente ecuación:

$$\% FC = \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso de crisol} + \text{cenizas})}{g \text{ de muestra desengrasada}} * 100$$

### **Carbohidratos**

Los carbohidratos son azúcares, almidón y material considerado como hemicelulosa.

Este resultado se obtuvo de la sumatoria de los porcentajes de cenizas, lípidos, proteínas y fibra cruda, restándole 100 partes de muestra analizada.

$$\text{Carbohidratos} = 100 - (\% \text{ de } C + \% \text{ Lip} + \% \text{ PC} + \% \text{ FC})$$

Los resultados (se ajustaron en base a materia seca total).

### **Estudio I. Ensayo de laboratorio para determinar el efecto de la salinidad en la germinación**

Se realizó un ensayo de germinación en condiciones de estrés salino para determinar la capacidad germinativa y de vigor de la semilla.

Las soluciones de cada tratamiento fueron preparadas con cloruro de sodio (NaCl) como osmótico (soluto) en MPa, calculados en base a la ecuación de Van 't Hoff (Salisbury y Ross, 2000).

$$\Psi_o = -CiRT$$

Dónde:  $\Psi_o$  = potencial osmótico;  $C$  = concentración de la solución (moles de soluto por Kg de  $H_2O$ );  $i$  = 1.8 constante de ionización del NaCl;  $R$  = constante de los gases =  $0.00831 \text{ LMPa mol}^{-1} \text{ k}^{-1}$ ; y  $T$  = temperatura absoluta ( $^{\circ}\text{K}$ ).

Para cada solución se determinó su conductividad eléctrica (CE), con un equipo Hach sensION 5 Waterprof Conductivity Meter (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Potenciales osmóticos de los tratamientos aplicados en el ensayo de germinación y vigor de la semilla.

<b>Tratamientos</b>	<b>PO MPa</b>	<b>CE (mS/cm)</b>	<b>NaCl (g/L)</b>
1 (Testigo)	0.000	0.00	0.00
2	-0.125	2.68	1.63
3	-0.250	5.11	3.26
4	-0.375	7.52	4.89
5	-0.500	9.79	6.52
6	-0.625	12.07	8.14
7	-0.750	14.25	9.77
8	-0.875	16.46	11.40
9	-1.000	18.57	13.03
10	-1.250	22.80	16.29
11	-1.500	26.18	19.74
12	-1.750	29.90	23.03
13	-2.000	34.50	26.32
14	-2.500	42.10	32.90
15	-3.000	48.80	39.48

PO = Potencial osmótico; CE = Conductividad eléctrica.

Se sembraron tres repeticiones de 25 semillas por tratamiento, en papel Anchor, el cual se humedeció con NaCl, utilizando un sistema de aspersion, controlado por un envase de plástico, los riegos se realizaron cada tercer día con las soluciones salinas. Se enrollaron en forma de "taco", para ser colocados dentro de una bolsa de polietileno (tres tacos), correspondientes a cada tratamiento, enseguida se acomodaron en una canastilla. Estas se mantuvieron en una cámara germinadora Lab-line Instruments, a una temperatura de 25 C° y 80 % de humedad relativa.

La primera evaluación se realizó al cuarto día, donde se contaron las plántulas normales (con raíz y plúmula con al menos dos cm cada una), posteriormente al séptimo día se evaluó el porcentaje de germinación, se contabilizaron el número de plántulas normales (PN), y dentro del mismo ensayo se determinó el número de plántulas anormales (PA) y semillas sin germinar (SSG). Todos los resultados fueron expresados en porciento.

Se evaluó también la longitud de plúmula y de radícula, en plántulas normales, los datos se expresaron en cm. Estos parámetros son considerados un indicador de vigor. Posteriormente se determinó el peso seco de todas las plántulas normales (PS), que fueron colocadas dentro de

bolsas de papel de estraza con perforaciones y se sometieron a un secado continuo dentro de una estufa Libe-Line modelo 3478M, por 24 h a 70 C°. Una vez cumplido el tiempo, las bolsas se colocaron en un desecador por 15 minutos, posteriormente se tomó el peso de las plántulas en una balanza analítica (Precisa Instruments Ltd. / Switzerland) y el dato se reportó en miligramos por plántula ( $\text{mg plántula}^{-1}$ ).

### **Diseño experimental y análisis estadístico**

Para analizar la información obtenida de este estudio, se utilizó un diseño completamente al azar con quince tratamientos y tres repeticiones. Se consideró como unidad experimental un taco de 25 semillas.

Los datos se analizaron a través de un análisis de varianza y la comparación de medias se realizó por medio de la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) (SAS Institute, 2002). Se utilizó el modelo lineal  $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$ ; donde:  $Y_{ij}$ : Variable observada;  $\mu$  = media general;  $\alpha_i$  = concentración de NaCl;  $\varepsilon_{ij}$  = error experimental.

### **Estudio II. Efecto de la salinidad en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y en la conductancia estomática**

En bolsas de polietileno negro de 10 L, usando como sustrato una mezcla de perlita, vermiculita y peat moss (1:0.5:0.25), se sembraron dos semillas por maceta de la variedad JAGUAN. Posterior a la emergencia de las plántulas, se realizó un raleo a cada maceta para dejar una sola planta.

Los primeros riegos se aplicaron de forma manual, suministrando 1 L de agua potable a cada maceta, a los 15 días de emergidas las plántulas se inició la aplicación de soluciones salinas en estudio y agua potable para el testigo (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Potenciales osmóticos aplicados para evaluar la respuesta de plantas de maíz bajo condiciones de salinidad en invernadero.

Tratamientos	PO MPa	CE (mS/cm)	NaCl (g/L)
1 (Testigo)	0.00	0.00	0.00
2	-1.00	18.57	13.30
3	-2.00	34.50	26.06
4	-3.00	48.80	39.09

PO = Potencial osmótico; CE = Conductividad eléctrica

La evaluación se realizó durante el desarrollo de las plantas, hasta llegar a la etapa de madurez fisiológica, esto con el fin de realizar mediciones en diferentes etapas fenológicas (hoja 5, 8, 12 y 16), determinando los siguientes parámetros asociados con la actividad fotosintética de la planta: la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> ( $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ) en  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , concentración de CO<sub>2</sub> intercelular ( $C_i$ ) en  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y la tasa de transpiración (Tr) en  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Para lo anterior se usó un equipo portátil Licor-6400, que además registra la radiación fotosintéticamente activa y la temperatura del ambiente y de la hoja. Se usó una concentración de 400 ppm de CO<sub>2</sub>.

**Contenido de clorofila.** La evaluación se realizó en diferentes etapas fenológicas (hoja 5, 8, 12 y 16), tomando dos datos por hoja para cada planta, para esto se empleó un método no destructivo, que consistió en tomar lecturas, con un medidor portátil SPAD 501 (Minolta Corp., Ramsey, NJ, EEUU); este equipo captura la medida como un valor matemático, que es denominado unidades SPAD (*Soil plants análisis development*), el cual permite obtener una estimación del contenido de clorofila, utilizando métodos espectrofotométricos.

Al finalizar este estudio, se tomó el peso seco de la planta (dosel) y el peso seco de la raíz, ambas partes fueron lavadas con agua de la llave para retirar el exceso de tierra, posteriormente se colocaron dentro de bolsas de papel estraza con perforaciones, cada una identificada correctamente; enseguida fueron sometidas a secado dentro de una estufa Lab-Line, modelo 3478M por un periodo de 24 h a 70 C°. Una vez cumplido el tiempo, las bolsas se colocaron en un desecador por 15 minutos, posteriormente se

determinó su peso en una balanza analítica (Precisa Instruments Ltd. / Switzerland), el cual se expresó en gramos por planta.

### **Diseño experimental y análisis estadístico**

Para analizar la información obtenida del presente estudio, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4x4 (AxB) considerando al factor A las concentraciones de salinidad (testigo, 18.57, 34.50 y 48.80 mS/cm) y como factor B las etapas fenológicas del cultivo (hoja 5, 8, 12 y 16), cada planta fue considerada como una unidad experimental. Los datos se analizaron a través de un análisis de varianza y la comparación de medias se realizó por medio de la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) (SAS Institute, 2002).

Se utilizó el siguiente modelo lineal:  $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha_i \beta_j + \varepsilon_{ijk}$ ; donde:  $Y_{ijk}$  = variable observada;  $\mu$  = Media general;  $\alpha_i$  = efecto de la i-esima concentración de NaCl;  $\beta_j$  = efecto del j-esima etapa fenológica del cultivo;  $\alpha_i \beta_j$  = efecto de la interacción de la i-ésima concentración de NaCl por la j-ésima etapa fenológica del cultivo;  $\varepsilon_{ijk}$  = error asociado a las ij - ésimas unidades experimentales.

### **Estudio III. Índice de velocidad de emergencia y emergencia total con diferentes concentraciones de NaCl en invernadero**

La siembra se llevó a cabo en una cama de concreto, con 1.10 m de ancho y 3 m de largo, y se dividió en siete secciones, cada una correspondiente a un tratamiento, estableciendo camas individuales de 32 cm, separándolas con fibra de vidrio y bolsas de plástico negro. Se realizó un único riego, para cada sección con NaCl, a diferentes concentraciones (Cuadro 3). Dicho riego se aplicó 24 horas antes de la siembra con el fin de homogenizar el sustrato. Posteriormente, se sembraron tres repeticiones de 25 semillas por tratamiento, con una profundidad de 2 cm, con una distancia entre semillas de 1.5 cm y tres repeticiones por tratamiento (cada surco se consideró como una unidad experimental).



**Cuadro 3.** Potenciales osmóticos en los tratamientos para determinar el índice de velocidad de emergencia.

Tratamiento	PO (Mpa)	CE (mS/cm)	NaCl (g/L)
1 (Testigo)	0.000	0.00	0.00
2	-0.250	5.11	3.26
3	-0.500	9.79	6.52
4	-0.750	14.25	9.77
5	-1.000	18.57	13.03
6	-1.250	22.80	16.29
7	-1.500	26.80	19.74

PO = Potencial osmótico; CE = Conductividad eléctrica.

El índice de velocidad de emergencia (IVE) es considerado como un estimador de vigor, propuesto por Maguire (1962), el cual se obtuvo a través del conteo diario de las plántulas emergidas a partir de la siembra, tomando como plántulas emergidas a las que sobresalieran del sustrato. La evaluación se llevó a cabo por siete días y para mayor exactitud de la prueba los conteos se realizaron a la misma hora.

Los datos se calcularon en base a la siguiente fórmula:

$$IVE = \frac{\text{No. de plántulas emergidas al conteo } i - \text{ésimo}}{\text{No. de días desde la siembra al conteo } i - \text{ésimo}}$$

Al término de este estudio se obtuvo el porcentaje total de emergencia, el cual consistió en contabilizar cada una de las plántulas emergidas hasta el último día de evaluación y el resultado se obtuvo dividiendo el número total de plántulas emergidas, entre el número total de semillas sembradas y se multiplicó por cien.

$$\% E = \frac{\text{No. plántulas emergidas en el ultimo conteo}}{\text{No. de semillas sembradas}} * 100$$

Para finalizar, se determinó el peso seco de las plántulas, las raíces fueron lavadas con agua de la llave del exceso de tierra, posteriormente fueron colocadas en bolsas de papel de estraza con perforaciones, sometiéndolas a un secado continuo dentro de una estufa Libe-Line, modelo 3478M en un

periodo de 24 h a 70 C°. Una vez cumplido el tiempo, las bolsas se colocaron en un desecador por 15 minutos, posteriormente se tomó el peso de las plántulas en una balanza analítica (Precisa Instruments Ltd. / Switzerland) y el dato se reportó en miligramos por plántula ( $\text{mg plántula}^{-1}$ ).

### **Diseño experimental y análisis estadístico**

Para analizar la información obtenida de este estudio, se utilizó un diseño completamente al azar con siete tratamientos y tres repeticiones. Se consideró como unidad experimental un surco de 25 semillas. Los datos se analizaron a través de un análisis de varianza y la comparación de medias se realizó por medio de la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) (SAS Institute, 2002). Se utilizó el modelo lineal  $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$ ; donde:  $Y_{ij}$ : Variable observada;  $\mu$  = media general;  $\alpha_i$  = concentración de NaCl;  $\varepsilon_{ij}$  = error experimental.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio Preliminar. Calidad fisiológica de las semillas y análisis bromatológico

Ensayo de germinación: El Cuadro 4 muestra los resultados del ensayo de la calidad fisiológica de la semilla. Este tipo de estudios indica que capacidad tienen las semillas para generar plántulas con buen desarrollo (vigor) y características deseables. La calidad fisiológica considera parámetros como la capacidad germinativa, el peso seco y el vigor. Para la industria es de gran importancia, ya que esto determina el establecimiento y uniformidad del cultivo en campo.

**Cuadro 4.** Ensayo de la calidad fisiológica en semilla de maíz de la variedad JAGUAN.

Vigor (%)	Germinación (%)	SSG (%)	PS (mg plántula <sup>-1</sup> )	LP (cm)	LR (cm)
96	96	4	75.31	13.02	17.85

Vigor = Plántulas normales al primer conteo; SSG = Semillas sin germinar; PS = Peso seco de plántulas; LP = Longitud de plúmula; LR= Longitud de radícula.

Los resultados obtenidos en el ensayo de germinación en laboratorio, indican que la variedad JAGUAN cuenta con un porcentaje de germinación del 96 %, este dato brinda información relacionada con la aptitud de la semilla para generar plántulas normales, superando los estándares establecidos en la Regla para la calificación de semillas (2014) por el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), ya que este órgano demanda como mínimo un 85 % de germinación, para declarar a la semilla en alguna de las categorías certificadas.

**Análisis bromatológico.** El Cuadro 5 muestra los resultados de los análisis bromatológicos. El maíz es una fuente importante de energía, contiene cantidades de proteína, carbohidratos y grasas. Se emplea para la alimentación humana y animal, del cual se obtienen subproductos. El

proceso de transformación o beneficio del maíz depende de la variedad, por ello es importante conocer sus características químicas, los cuales constituyen la calidad nutricional.

**Cuadro 5.** Análisis de las composición química de la semilla de maíz de la variedad JAGUAN.

<b>Componente químico</b>	<b>Porcentaje</b>
Cenizas	1.41
Lípidos	5.78
Proteína cruda	10.50
Fibra cruda	1.75
Carbohidratos	81.06

La composición química, es de gran importancia para determinar el valor nutricional y el tipo de transformación o valor agregado que se le dará al grano.

### **Estudio I. Ensayo de laboratorio para determinar el efecto de la salinidad en la germinación**

En el Cuadro 6 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza. Se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para todas las variables en estudio, lo anterior indica que los tratamientos afectaron la etapa de imbibición, degradación de reservas y la emergencia de radícula y plúmula. Alui *et al.* (2015) reportaron diferencias en la germinación de semillas de maíz, al evaluar cuatro concentraciones de dos diferentes sales NaCl y CaCl<sub>2</sub>, los resultados mostraron que tanto el porcentaje de germinación y el índice de germinación disminuyeron significativamente. En general, el Cuadro 6 indica que el estrés causado por la salinidad, influye de manera significativa en las variables evaluadas.

**Cuadro 6.** Cuadrados medios del análisis de varianza para variables evaluadas en el ensayo de germinación en estudios de salinidad en laboratorio.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Vigor (%)</b>	<b>Germinación (%)</b>	<b>PSP (%)</b>	<b>PSR (%)</b>	<b>GL</b>	<b>LP (cm)</b>	<b>LR (cm)</b>
Tratamientos	14	5752.99 **	6329.04 **	348.71 **	329.81 **	12	1521.35 **	2531.94 **
Error	30	46.57	48.71	34.18	15.66	789	4.13	10.80
C V (%)		14.87	11.86	23.11	144.08		29.10	23.54

\*, \*\* = Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; Vigor = Plántulas normales al primer conteo; PSP = Peso seco de plúmula; PSR = Peso seco de radícula; LP = Longitud de plúmula; LR = Longitud de radícula.

La comparación de medias para el ensayo de germinación bajo diferentes niveles de salinidad se presentan en el Cuadro 7, se observó que al incrementar la conductividad eléctrica, se ven afectados los procesos fisiológicos de la semillas; sin embargo, los resultados indican que a partir de una conductividad eléctrica de 22.80 mS/cm, se obtuvo una reducción de 90.5 % y 66.2 %, en el vigor y en la germinación de las semillas, considerando a este nivel como crítico, poniendo de manifiesto el efecto que tiene el NaCl, en los procesos metabólicos relacionados con la germinación. Se afecta el proceso de imbibición de las semillas, atribuido a la acumulación de iones tóxicos en las mismas, y por lo tanto el desarrollo de las plántulas. Específicamente, esta reducción en el porcentaje de germinación, está relacionada con el estrés iónico durante la segunda fase de la germinación, que corresponde a la activación del crecimiento del embrión mediante metabolitos de reserva, ya que el estrés salino también afecta la movilización de almidón y carbohidratos, a través de la reducción en la actividad de la enzima amilasa y la descomposición del almacenamiento de lípidos a través de una reducción en la actividad de las enzimas.

Los resultados también indican que al mismo nivel de CE, hay una reducción en la acumulación de materia seca (peso seco), ya que se obtuvo una disminución del 71.3 % del peso seco de plúmula y de 80.0 % del peso seco de radícula, esto se atribuye al efecto negativo de las sales a nivel celular, debido a un desbalance de hormonas, una disminución en la síntesis de proteínas y de ácidos nucleicos, dando como resultado un menor aprovechamiento de las reservas. Asimismo, se observó una disminución considerable en la longitud de plúmula radícula, de un 89.5 % y 73.6 % respectivamente, debido a una deficiencia nutricional causada por la reducción en el potencial osmótico, pero principalmente por el daño a nivel de mitosis, ya que las altas concentraciones de salinidad inhiben el proceso de división celular. Las altas concentraciones de NaCl en las soluciones incrementan el potencial osmótico, ocasionando una alta absorción de iones de Na y Cl durante la germinación, resultando en toxicidad a nivel celular que inhibe la velocidad de la germinación y el crecimiento de plántulas (Carpici *et al.*, 2009).

**Cuadro 7.** Comparación de medias de las variables evaluadas en el ensayo de germinación, en el estudio de salinidad en laboratorio.

Tratamientos CE (mS/cm)	Vigor (%)	Germinación (%)	PSP (mg plántula <sup>-1</sup> )	PSR (mg plántula <sup>-1</sup> )	LP (cm)	LR (cm)
0.00	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	0.100 d	0.100 e	1.10 hi	3.47 fg
29.90	0.00 d	0.00 c	0.00 d	0.00 e	0.00 i	0.00 g
34.50	0.00 d	0.00 c	0.00 d	0.00 e	0.00 i	0.00 g
42.10	0.00 d	0.00 c	0.00 d	0.00 e	0.00 i	0.00 g
48.80	0.00 d	0.00 c	0.00 d	0.00 e	0.00 i	0.00 g
Media	45.86	58.84	29.95	4.53	6.99	13.96
Tukey ( $\alpha = 0.05$ )	20.53	20.99	30.07	19.65	1.49	2.42

Medias con las mismas letras en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$  %). CE = Conductividad eléctrica; Vigor = Plántulas normales al primer conteo; PSP = Peso seco de plúmula; PSR = Peso seco de radícula; LP = Longitud de plúmula; LR = Longitud de radícula.

En un estudio realizado por Abd y Shadadd (2013) evaluaron la tolerancia del de la semilla de maíz al estrés causado por la salinidad, bajo los siguientes potenciales osmóticos con cloruro de sodio (-0,3, -0,6, -0,9 y -1.2 MPa) y encontraron que la germinación se redujo un 31 % a un nivel de NaCl de -1.2 MPa, en comparación con el testigo. Esta reducción en la germinación de las semillas bajo tratamientos salinos, es resultado de la alta concentración de sales en el agua de riego, que impide que las semillas absorban la suficiente cantidad de agua. Estudios anteriores han demostrado que el aumento de la salinidad, retrasa o inhibe la etapa de germinación (Aghamir *et al.*, 2014).

Por otra parte Sozharajan y Natarajan (2014) mencionan que el estrés salino es uno de los factores ambientales más graves, que reduce y limita el crecimiento y desarrollo de las plantas, y al evaluar el efecto de NaCl en la germinación y crecimiento de plántulas, en semillas de maíz, encontraron que a una concentración de 200 mm de NaCl, la germinación se redujo en 85.4 %, la longitud de la plúmula en 56.4 % y de la radícula en 57. 3 %. El alto estrés salino, es resultado de un bajo potencial osmótico, que genera homeostasis iónica, la cual reduce la disponibilidad de agua para las semillas, generando una germinación pobre y retardada, sin embargo a nivel plántula, el estrés abiótico ocasiona tensiones que alteran la síntesis de enzimas y los niveles de hormonas, que conducen a la disminución en el crecimiento de las plantas.

En un estudio realizado por Ibne *et al.* (2014), en nueve genotipos de maíz, se observó una variación en el crecimiento de las plántulas, en respuesta al estrés salino, lo cual ofrece posibilidades de ser usadas en un programa de mejoramiento genético, y de esta manera obtener resistencia al estrés causado por salinidad y/o la sequía.

Layne *et al.* (2008) al estudiar la respuesta de la germinación y crecimiento de maíz a diferentes niveles de salinidad con NaCl (0, - 0.328 y - 0.547 MPa), encontraron que las plántulas de maíz se vieron afectadas por las altas concentraciones salinas, provocando una reducción en el crecimiento, esto se atribuye a la alta toxicidad iónica, deficiencia nutricional mineral y a los cambios en las relaciones hídricas, siendo un efecto similar al producido



por las sequías. La influencia de este factor en el crecimiento depende en gran medida del genotipo.

En un estudio previo, Laynez *et al.* (2007) señalan que las reducciones en los potenciales osmóticos, dan como resultado una disminución gradual de la longitud de las raíces y del crecimiento de la plántula. La disminución de la tasa de crecimiento, es consecuencia de un descenso paulatino en la tasa de utilización de reservas de la semilla afectada por el potencial osmótico.

La respuesta de maíz al estrés salino es un fenómeno complejo que implica procesos bioquímicos y fisiológicos, así como cambios morfológicos y de desarrollo. Las diferencia entre las especies y cultivares a los efectos causados por la salinidad, dependerá de sus mecanismos de tolerancia. El crecimiento de la plúmula en el estado de plántula y la elongación de las raíces, puede utilizarse como criterio, en la selección de cultivares con tolerancia al estrés salino (Zadehbagheri, 2014).

### **Estudio II. Efecto de la salinidad en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y conductancia estomática.**

En el Cuadro 8 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza para el estudio de asimilación de CO<sub>2</sub> y variables asociadas.

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 8) indican diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para las variables  $A$ ,  $g_s$ ,  $Tr$  y contenido de clorofila y  $P \leq 0.05$  para  $C_i$ , en la fuente de variación tratamientos. En la fuente de variación etapa fenológica se presentan también diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) en todas las variables en estudio. La interacción tratamientos x etapa fenológica mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) en las variables  $A$ ,  $g_s$ ,  $C_i$  y en el contenido de clorofila.

**Cuadro 8.** Cuadrados medios del análisis de varianza del estudio de asimilación de CO<sub>2</sub> bajo diferentes concentraciones de NaCl, en invernadero.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>A</b> ( $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	<b>g<sub>s</sub></b> ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	<b>C<sub>i</sub></b> ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	<b>Tr</b> ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	<b>Clorofila</b> (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*EF	9	31.33 **	0.004 **	26521.46 **	3.09 *	331.53 **
Error	102	5.25	0.000	3108.89	0.75	46.09
CV (%)		33.23	45.86	38.28	32.75	17.03

\*, \*\*= Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; Trat= Tratamientos; EF= Etapa Fenológica; A= Tasa de Asimilación de CO<sub>2</sub>; g<sub>s</sub> = Conductancia estomática; C<sub>i</sub>= CO<sub>2</sub> intercelular; Tr = Transpiración.

Lo anterior indica que tanto el incremento en los niveles de salinidad, como la etapa fenológica contribuyen en la respuesta de la fisiología de la planta. Estas diferencias pueden ser atribuidas al afecto del NaCl en los cloroplastos, ya que es donde se lleva a cabo la asimilación de CO<sub>2</sub> y en la síntesis de clorofila. En un estudio realizado por Bastías *et al.* (2015), encontraron diferencias significativas en la fotosíntesis, tasa de transpiración y la conductancia estomática, al evaluar la eficiencia fotosintética en plantas de maíz bajo altas concentraciones de NaCl (430 mM).

Los resultados de la comparación de medias para el estudio de asimilación de CO<sub>2</sub> y variables asociadas se presentan en el Cuadro 9.

La comparación de medias del estudio de asimilación de CO<sub>2</sub>, donde se observa que el testigo presentó la mayor tasa de asimilación debido a una mayor eficiencia del mesófilo, indicado por una reducción del CO<sub>2</sub> intercelular (139.47  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), mostrando que el CO<sub>2</sub> está siendo fijado por la enzima Rubisco, además de presentar un alto nivel de clorofila (41.66). Asimismo, la tasa de transpiración es alta (3.70  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) con respecto a los otros tratamientos, debido a una mayor apertura de los estomas (0.076  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Con respecto a los tratamientos con conductividades eléctricas más elevadas, se observó una reducción en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, 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  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , con respecto al testigo, a una conductividad eléctrica de 48.8 mS/cm.

Ashraf y Harris (2013) mencionan que ambientes estresantes, como la salinidad y la sequía provocan alteraciones en una amplia gama de procesos fisiológicos, bioquímicos y moleculares en plantas. La fotosíntesis, el más fundamental y complejo proceso fisiológico en todas las plantas, también es afectada en todas sus fases por estos factores. Dado que el mecanismo de la fotosíntesis implica varios componentes, que incluyen los pigmentos fotosintéticos y fotosistemas, el sistema de transporte de electrones y la reducción del CO<sub>2</sub>, los daños

causados a cualquier nivel por un estrés abiótico pueden reducir la capacidad general fotosintética de una planta.

Sharwood *et al.* (2015) evaluaron la flexibilidad fotosintética en plantas de maíz sometida a dos niveles de salinidad (50 y 100 mM NaCl), los resultados indicaron que la salinidad reduce la fotosíntesis principalmente mediante la disminución de la conductancia estomática y en segundo lugar mediante la reducción en la actividad de la enzimática. En los tratamientos con salinidad se presentó una reducción del 50 % y 80 % en el contenido de las enzimas Rubisco y fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPC), respectivamente.

Por su parte Kausar *et al.* (2014) estudiaron el efecto de las condiciones salinas, sobre los parámetros de intercambio gaseosos en dos cultivares de maíz y encontraron diferencias al ( $P \leq 0.01$ ) en las variables tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$ , conductancia estomática ( $g_s$ ) y concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular. La fotosíntesis disminuye en un ambiente salino debido a la inhibición de la fijación de  $\text{CO}_2$ , a través del cierre de los estomas o daño al mesófilo.

En otro estudio, Aragão *et al.* (2013) sometieron a plantas de maíz bajo estrés salino con NaCl 120 mM, y en encontraron que la fotosíntesis, la transpiración, la conductancia estomática y la concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular fueron fuertemente afectados por la salinidad después de siete y 14 días de exposición a la sal. La reducción de la fotosíntesis en plantas de maíz, es causada por el cierre de los estomas, disminuyendo la concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular para la activación de la enzima Rubisco.

De acuerdo a Chávez y González (2009), en el cierre estomático influye la participación del ABA como parte de la tolerancia a la salinidad y a otros tipos de estrés, regulando el balance hídrico de la planta. En este estudio se observó así mismo, que al incrementar la conductividad eléctrica se presenta una reducción en la tasa de transpiración, esto se debe a que la planta activa sus mecanismos de tolerancia frente a este tipo de estrés, accionando un cierre estomático inducido por el ABA, para aprovechar el potencial hídrico de la planta.

En cuanto a la etapa fenológica, se obtuvo un mayor contenido de clorofila en la hoja ocho, reflejándose en un incremento en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> (9.70 μmol de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Asimismo se presentó una alta tasa de transpiración (5.38 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), relacionada con una mayor apertura estomática (0.086 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Por otra parte, el contenido de clorofila se redujo al avanzar en las etapas fenológicas, presentando una disminución de 8.58 unidades, posiblemente como una respuesta al estrés salino; sin embargo, la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> se mantuvo entre 5.25 y 6.04 μmol de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Al avanzar en la fenología de la planta, para la hoja 16 con respecto a la hoja 12, hubo un incremento en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> de 0.79 μmol de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, esto indica que la tolerancia de la planta frente al estrés salino dependerá del desarrollo vegetativo en el que se encuentre.

Los resultados muestran, que un aumento de la salinidad en el agua de riego, ocasiona cambios fisiológicos, entre los que se puede observar disminución en la conductancia estomática, en la tasa de transpiración y en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, que inhibe el desarrollo normal de la planta.

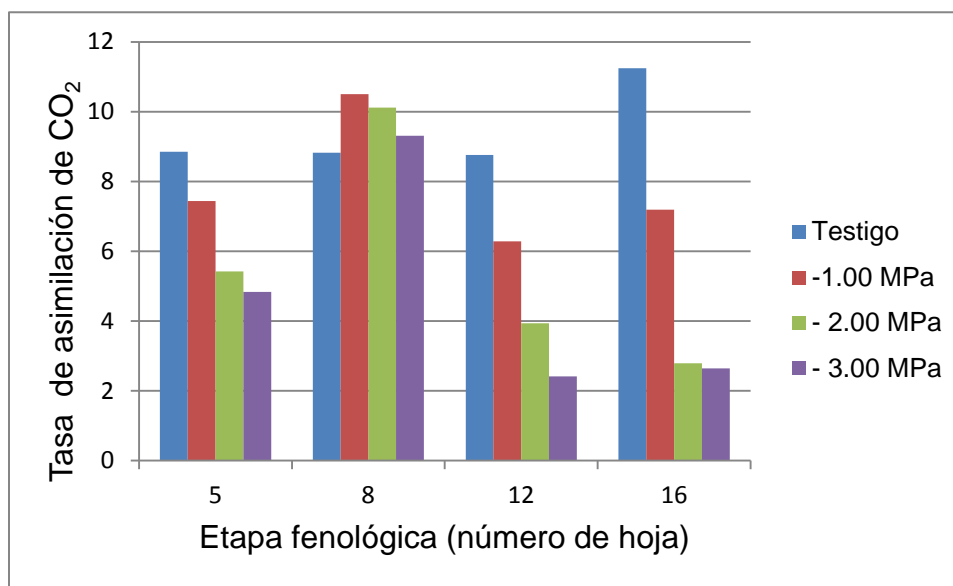
**Cuadro 9.** Comparación de medias del estudio de asimilación de CO<sub>2</sub> bajo diferentes concentraciones de NaCl, en invernadero.

Tratamientos CE (mS/cm)	A ( $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$g_s$ ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$C_i$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Tr ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Clorofila (SPAD)
0.00	9.70 a	0.076 a	139.47 ab	3.70 a	41.66 ab
18.57	7.86 b	0.052 b	120.37 b	2.67 b	43.65 a
34.50	5.48 c	0.040 b	156.02 ab	2.36 bc	38.79 b
48.80	4.65 c	0.050 b	164.10 a	1.83 c	35.08 c
Etapa 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	0.60	2.92

Medias con las mismas letras en cada columna no son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$  %). CE = Conductividad eléctrica; A = Tasa de Asimilación de CO<sub>2</sub>;  $g_s$  = Conductancia estomática;  $C_i$  = CO<sub>2</sub> intercelular; Tr = Transpiración.

Los resultados de la interacción entre tratamientos y etapa fenológica se presenta en las siguientes figuras.

**Figura 1.** Efecto de la salinidad en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> (A)



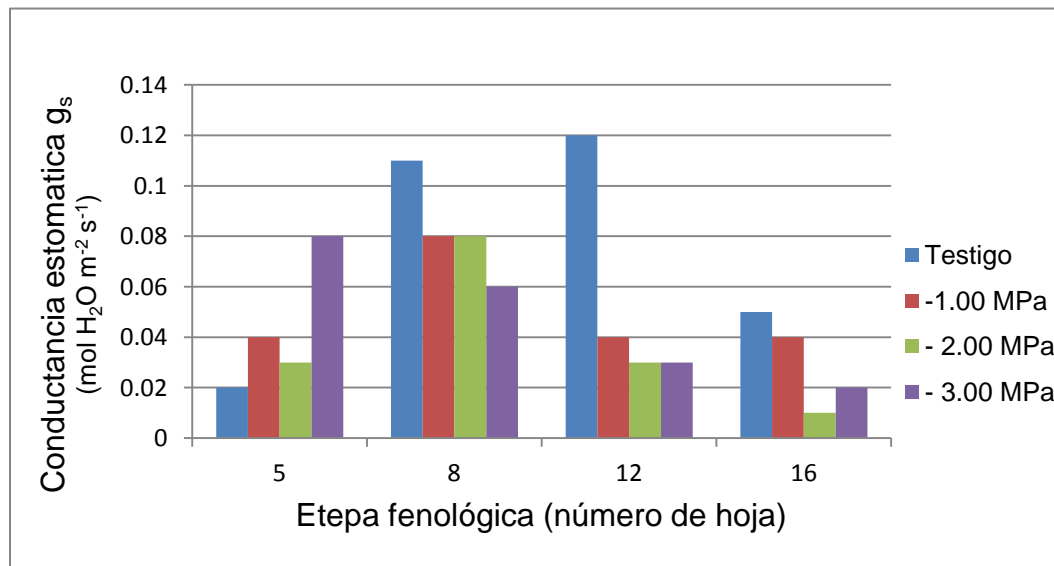
La tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> se redujo al incrementar los niveles de salinidad en la solución de los riegos, acentuándose este comportamiento a partir de la etapa vegetativa (V12) (Figura 1). Lo anterior se puede atribuir al estrés salino y a su efecto en la reducción en los niveles de clorofila (Figura 5), ya que a partir de V12 disminuyó al hacerse más negativo el potencial osmótico de las soluciones, esto es, al pasar de -1.00 MPa a -2.00 MPa y -3.00 MPa, esto explica el grado de asociación ( $r=0.4884$  \*\*) entre la asimilación de CO<sub>2</sub> y el contenido de clorofila, en el análisis de correlación (Cuadro 10).

En el (Cuadro 10) se observa una correlación positiva entre la A y G<sub>s</sub> ( $r=0.4677$  \*\*). En relación con lo anterior Sharwood *et al.* (2014), señalan efectos principales de la salinidad son la reducción en el crecimiento vegetal y la fotosíntesis, a través de una reducción en la conductancia estomática y secundariamente inactivación de enzimas importantes como la Rubisco.

En un estudio realizado por Aragão *et al.* (2013) mencionan que la salinidad reduce el área foliar y brotes, asimismo afecta el sistema fotosintético, la transpiración, conductancia estomática y  $\text{CO}_2$  intercelular en las primeras etapas vegetativas de la planta. Sin embargo, la respuesta de las plantas al estrés causado por salinidad, dependerá de la etapa fenológica, de la especie, el cultivar y los factores ambientales (Munns, 2002).

Las plantas de maíz bajo condiciones de suelo salino, enfrentan una pérdida de la funcionalidad de diversos parámetros fisiológicos, como contenido de agua, asimilación de  $\text{CO}_2$ , conductancia estomática,  $\text{CO}_2$  intercelular y la tasa de transpiración (Hussain *et al.*, 2014). Esta posibilidad se respalda con los valores de correlación (Cuadro 10), en los cuales el  $C_i$ , se asoció de manera negativa y significativa ( $r=-0.4005^{**}$ ) con la tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$ , mientras que el  $C_i$  presentó una alta relación positiva con  $Tr$  ( $r=0.6379^{**}$ ).

**Figura 2.** Efecto de la salinidad en la conductancia estomática ( $g_s$ )



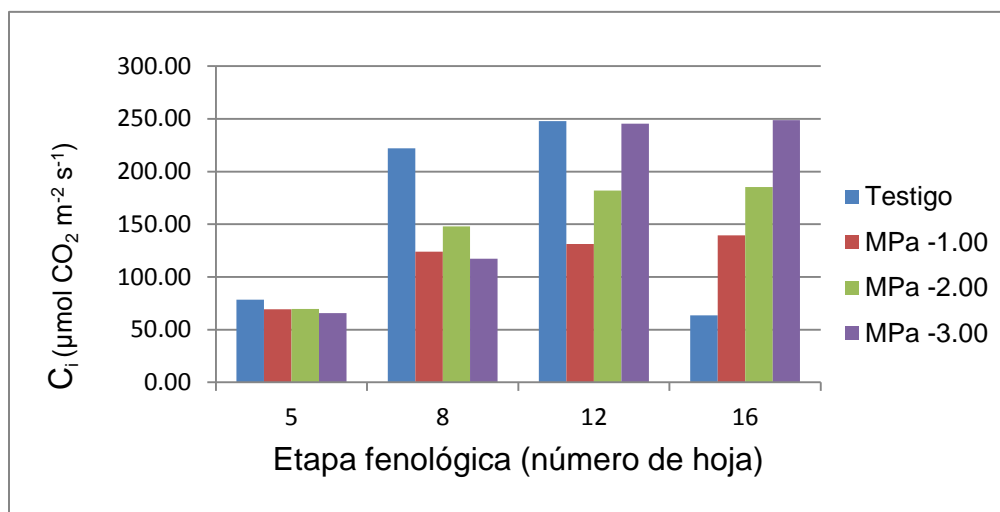
La conductancia estomática ( $g_s$ ) también presentó un patrón definido de reducción en la apertura del estoma, a partir de la medición en la etapa vegetativa V8, (Figura 2) debido al incremento en los niveles de salinidad, afectando el movimiento de las células guarda, encargados de regular la



pérdida de agua en la planta como respuesta a los altos niveles de estrés. La activación del cierre de estomas comienza cuando el mesófilo de la hoja entra en deshidratación y los niveles del ABA se incrementan, su función es la regulación del potencial hídrico dentro de la planta.

La tasa de transpiración (Figura 4) está altamente relacionada con la conductancia estomática, ya que se obtuvo una correlación positiva y significativa entre estas variables ( $r=0.7467^{**}$ ) (Cuadro 10), debido a que los estomas permiten regular la salida de agua de la planta, según las condiciones en las que se encuentre. Se observó que a partir de la medición en la hoja 8 (V8), la tasa de transpiración se redujo a la par de la disminución en la conductancia estomática, asociado principalmente con alta concentración de sal en el sustrato.

**Figura 3.** Efecto de la salinidad en concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular ( $C_i$ )

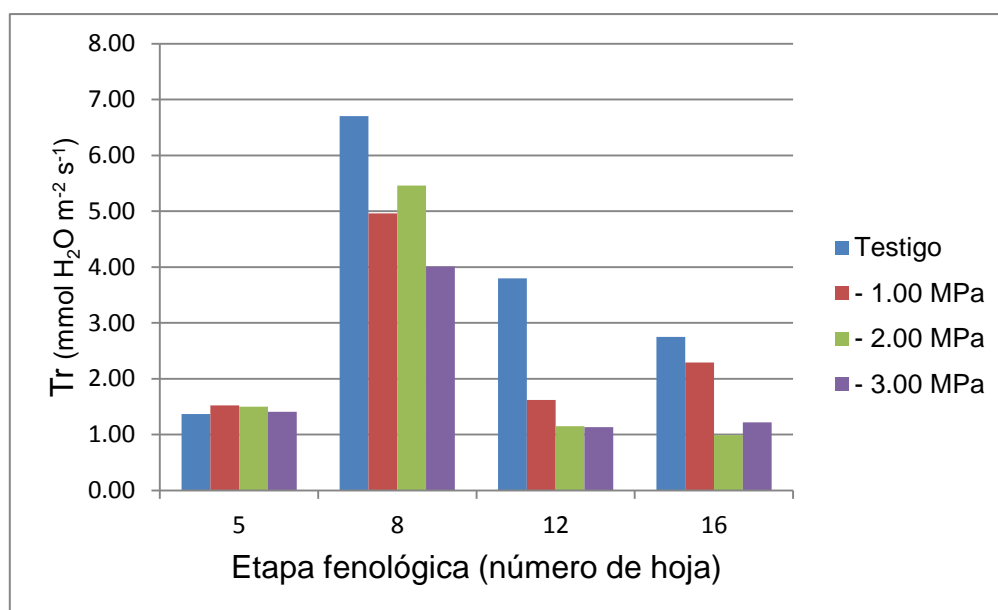


Por otra parte se observó un incremento en los niveles del  $C_i$ , en las etapas vegetativas (V12 y V16) (Figura 3) al ser más negativo el potencial osmótico de la solución, a partir de los tratamientos  $-2.00$  MPa y  $-3.00$  MPa, y al avanzar en las etapas fenológicas de la planta, lo cual es resultado de una baja tasa de fijación de  $\text{CO}_2$ , generando una acumulación de  $\text{CO}_2$  en el mesófilo de la hoja, reflejándose en mayor contenido de  $C_i$ , esto indica un posible daño a

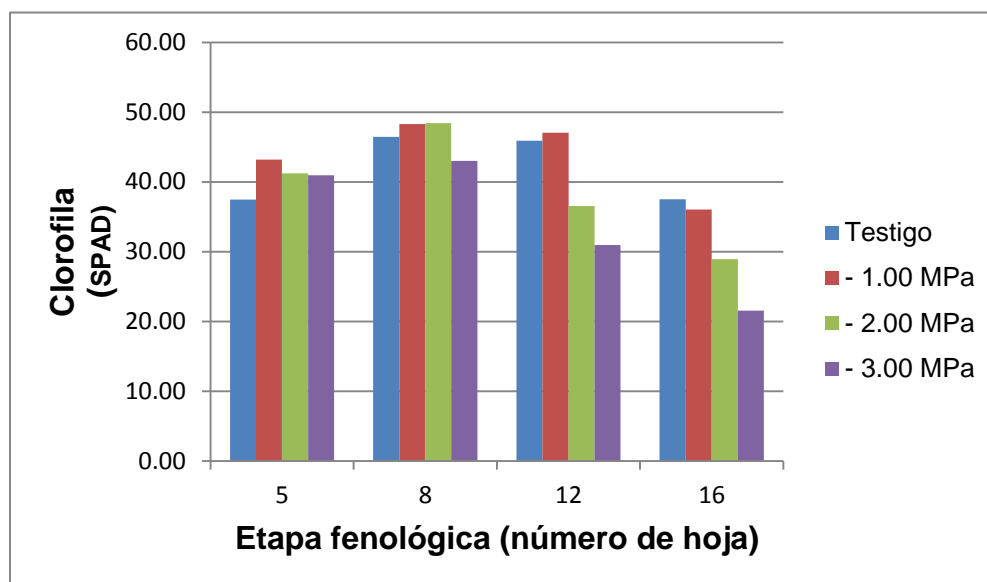
nivel enzimático, ya que los altos niveles de  $C_i$  revelan una ineficiencia en la activación de la enzima Rubisco.

La conductancia estomática ( $g_s$ ) es un parámetro sensitivo al estrés por salinidad, que conduce a cambios drásticos en los niveles de  $CO_2$  intercelular, y estrechamente ligado a la baja actividad de la enzima Rubisco en condiciones de estrés hídrico (Sayed, 2011).

**Figura 4.** Efectos de la salinidad en la tasa de transpiración (Tr)



Ragab y Abd (2015) comentan que las plantas de maíz bajo condiciones de estrés salino, disminuyen el contenido de clorofila y la tasa de transpiración, afectando negativamente la actividad fotosintética. Sin embargo, el Cuadro 10 indica una correlación significativa ( $r=0.5340^{**}$ ) para la tasa de transpiración y el contenido de clorofila, las plantas expuestas a estrés por salinidad presentan modificaciones en su tasa de transpiración, lo que, a su vez, puede permitir la liberación del contenido de  $H_2O$  de la hoja, permitiendo una mayor concentración de los niveles de clorofila.

**Figura 5.** Efecto de la salinidad en el contenido de clorofila**Cuadro 10.** Coeficiente de correlación entre las variables fisiológicas del estudio de salinidad.

	$g_s$ ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$C_i$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$T_r$ ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Clorofila (SPAD)
A ( $\mu\text{mol de CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	0.4677 **	-0.4005 **	0.6379 **	0.4884 **
$g_s$ ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		0.1120	0.7467 **	0.5187 **
$C_i$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )			0.1638	-0.2599 **
$T_r$ ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )				0.5340 **

\*, \*\*= Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; A= Tasa de Asimilación de  $\text{CO}_2$ ;  $g_s$  = Conductancia estomática;  $C_i$ =  $\text{CO}_2$  intercelular;  $T_r$  = Transpiración.

En el Cuadro 11 se presenta los resultados del análisis de varianza para las variables peso seco de dosel y peso seco de raíz en invernadero.

**Cuadro 11.** Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de pesos seco del dosel y peso seco de raíz.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>PSD (g/planta)</b>	<b>PSR (g/planta)</b>
Tratamientos	3	13481.42 **	537.31 **
Error	18	251.88	15.71
CV (%)		28.52	43.35

\*, \*\*= significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; FV = Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; PSD = Peso seco del dosel; PSR = Peso seco de raíz.

Los cuadrados medios del análisis de varianza para la acumulación de materia seca en plantas de maíz bajo concentraciones salinas, indican diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) en las variables peso seco de dosel y peso seco de raíz. Tufail *et al.* 2013 reportaron diferencias significativas en la acumulación de biomasa al evaluar dos genotipos de maíz bajo cuatro concentraciones de NaCl (0, 0.25, 0.50 mM y 120 mM).

La comparación de medias para tratamientos y acumulación de materia seca se presenta en el Cuadro 12.

**Cuadro 12.** Comparación de medias para las variables de pesos seco de dosel y pesos seco de raíz.

<b>Tratamientos CE (mS/cm)</b>	<b>PSD (g/planta)</b>	<b>PSR (g/planta)</b>
0.00	121.15 a	22.81 a
18.57	56.20 b	7.00 b
34.50	26.46 c	3.52 b
48.80	13.93 c	1.95 b
Media	55.62	6.78
Tukey ( $\alpha = 0.05$ )	27.16	9.14

Medias con las mismas letras en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ). CE = Conductividad eléctrica; PSD = Peso seco de dosel; PSR = Peso seco de raíz.

Los resultados indican que a medida que se incrementa la conductividad eléctrica, hay una disminución en la acumulación de materia seca, ya que para una conductividad eléctrica de 18.57 mS/cm, el peso seco del dosel disminuyó en 53.6 %, mientras que el peso seco de la raíz se redujo en 69.3 %. La reducción en la tasa de fotosíntesis, afecta la acumulación de biomasa y por ende el rendimiento de los cultivos. Además se perturban los procesos bioquímicos de la planta, resultado de la modificación del potencial hídrico y la poca disponibilidad de nutrientes (Kausar *et al.* 2014)

Esto se debe a que el estrés salino influye sobre los procesos de crecimiento, consecuencia de la acción tóxica de los iones de  $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$  que generan cambios físicos, principalmente modificaciones en el desarrollo de plántulas, limitando la absorción de agua por la raíces, causando un desequilibrio nutricional, mientras que a nivel interno, se afecta el metabolismo celular inhibiendo su división y el desarrollo, dando como resultado una pérdida de la estructura celular, por un desorden en las membranas y una reducción en la función de diversas enzimas. Chávez y González (2009) mencionan que la salinidad retrasa el ciclo celular, limitando la función de proteínas quinasas dependientes de ciclinas, teniendo como efecto una disminución de células y un crecimiento limitado.

Los resultados de este estudio concuerdan con los reportados por Ali *et al.* (2009), quienes evaluaron el efecto de la aplicación de NaCl en el crecimiento de plantas de maíz, y encontraron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) en el peso seco de las plantas. Las plantas de maíz cultivadas en el niveles bajos de NaCl (0 mM) alcanzaron relativamente un mayor peso seco y no mostraron síntomas de toxicidad; sin embargo, el peso seco de la planta se redujo significativamente a mayores niveles de salinidad (100 mM) presentando síntomas de la toxicidad por la sal, como es la reducción en el crecimiento. La concentración de NaCl que redujo en mayor proporción el peso seco (45.46 %) fue 100 mM, en comparación con el testigo. Esto se debe a que la salinidad afecta el desarrollo vegetativo, relacionado a una reducción del potencial osmótico del medio de crecimiento, que trae consigo una deficiencia del potencial hídrico de la planta, además de la acumulación de iones tóxicos que producen un desbalance

nutricional de la planta, ya que inhiben la absorción de nutrientes esenciales para su desarrollo.

En este sentido, Azevedo *et al.* (2004) mencionan que al evaluar ocho híbridos de maíz, en condiciones salinas ( $100 \text{ mmol.L}^{-1}$  de NaCl), se encontró una disminución en la acumulación de materia seca en todos los genotipos, se presentaron reducciones en longitud de tallo y de raíces, en promedio del 66.5 y 61.4%, respectivamente. Es importante evaluar el contenido de sodio y solutos orgánicos en las raíces, como resultado de respuesta frente al estrés salino, ya que desempeña un papel importante en la fisiología del cultivo, frente a este tipo de condiciones, lo que sugiere que podrían ser utilizados como marcadores fisiológicos durante la detección de tolerancia a la sal.

Parvaiz (2014) menciona que la salinidad es el estrés abiótico más importante, que inhibe el crecimiento y la productividad de los cultivos, considerado como un problema mundial que limita el crecimiento y la productividad de toda la vegetación y que se incrementa día a día. El estrés que causa la salinidad afecta gravemente a la morfología de la planta, el funcionamiento y la homeostasis y disminuyen la biomasa vegetal.

### **Estudio III. Índice de velocidad de emergencia y emergencia total en invernadero, bajo concentraciones salinas.**

En el Cuadro 13 se presentan los resultados del análisis de varianza para las variables índice de velocidad de emergencia, emergencia total y peso seco de plántula.

**Cuadro 13.** Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas evaluadas en invernadero, bajo diferentes concentraciones de NaCl.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>IVE</b>	<b>ET (%)</b>	<b>PS (mg plántula<sup>-1</sup>)</b>
Tratamientos	6	155.61 **	3923.97 **	607.03 **
Error	11	2.85	33.82	18.29
CV (%)		20.27	9.96	19.45

\*, \*\*= Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; IVE = Índice de velocidad de emergencia; ET = Emergencia total; PS = Peso seco de plántula.

Los resultados del índice de velocidad de emergencia (IVE) y emergencia total (ET) en invernadero, muestran diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para todas las variables. La respuesta, se debe al incremento de la conductividad eléctrica, y su efecto en el proceso de germinación, relacionado con una sequía a nivel fisiológico, producida por una disminución del potencial osmótico, resultando en una disminución del potencial hídrico.

En un estudio realizado por Abbasdokhta *et al.* (2013), en semillas de maíz bajo cuatro niveles de salinidad (0.0, -0.4, -0.8 y -1.2 MPa de NaCl), encontraron diferencias significativas en las variables velocidad de emergencia, longitud y peso seco de raíz y de tallo, la interacción con el potencial osmótico afectó significativamente el vigor de las semillas.

La comparación de medias bajo diferentes niveles de NaCl aplicados en la prueba de vigor (IVE) se presenta en el (Cuadro 14).

**Cuadro 14.** Comparación de medias para variables fisiológicas evaluadas en invernadero bajo, diferentes concentraciones de NaCl.

Tratamientos CE (mS/cm)	IVE	ET (%)	PS (mg plántula <sup>-1</sup> )
0.00	16.89 a	96.00 a	47.58 a
5.11	18.21 a	96.00 a	32.32 b
9.79	10.82 b	89.33 a	22.70 bc
14.25	5.40 c	56.00 b	18.89 cd
18.57	2.83 c	25.33 c	13.82 cde
22.80	1.05 c	18.66 c	8.61 de
26.80	0.00 c	0.00 c	0.00 e
Media	8.32	58.40	21.98
Tukey ( $\alpha= 0.05$ )	5.07	17.48	12.85

Medias con las mismas letras en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$  %). CE = Conductividad eléctrica; IVE = Índice de velocidad de emergencia; ET = Emergencia total; PS = Peso seco de plántula.

Los resultados muestran una reducción en el en el índice de velocidad de emergencia (IVE) del 93.8 % a una conductividad de 22.80 mS/cm, considerándolo como un nivel de salinidad crítico. También se puede observar que la emergencia total (ET) a una conductividad de 22.80 mS/cm, se redujo en 80.6 %, en comparación con el testigo. Por otra, las plántulas obtenidas de semilla tratada con agua destilada obtuvo peso seco de 47.58 mg plántula<sup>-1</sup>, mientras que las tratadas con solución a una conductividad eléctrica de 22.80 mS/cm, obtuvieron un peso seco de 8.61 mg plántula<sup>-1</sup>, presentando una reducción de 81.7 %. Es importante mencionar que a una conductividad eléctrica de 26.80 mS/cm, el estrés causado por la salinidad y el efecto osmótico, generaron una pérdida total de la germinación de las semillas.

En un estudio realizado por Carpıcı *et al.* (2009) evaluaron la calidad fisiológica de seis híbridos de maíz, bajo seis diferentes concentraciones de sal (0, 50, 100, 150, 200 y 250 mM NaCl), y encontraron diferencias significativas en los pesos secos de los cultivares. La media de las semillas tratadas con agua destilada fue 25.78 mg planta<sup>-1</sup>, este valor disminuyó gradualmente al incrementar la concentración de sal, y llegando a 7.27 mg planta<sup>-1</sup> a 250mM NaCl. La reducción gradual en las variables evaluadas, se atribuyó, a la



elevada concentración de iones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en el medio donde se desarrolló el estudio, limitando la captación de nutrientes, y causando daños en el metabolismo celular, que por ende disminuye todas las reacciones de síntesis, esto se expresa en una reducción en la velocidad de germinación y el crecimiento.

La sal en la solución del suelo disminuye la accesibilidad de agua y de nutrientes esenciales en la planta, lo que trae consigo una reducción del crecimiento, síntoma común ante este tipo de condiciones, siendo resultado, de gran cantidad de respuestas fisiológicas, incluyendo la transformación del equilibrio de iones, la eficiencia del potencial hídrico, la eficiencia fotosintética, que son considerados mecanismos de reacción o tolerancia ante el estrés salino. A través de las pruebas de vigor, como el índice de velocidad de emergencia y la acumulación de materia seca en plántulas, se pueden obtener parámetros como características de resistencia al estrés salino.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, es evidente que el estrés salino es una condición adversa para la germinación y el desarrollo de plántulas, considerando 22.80 mS/cm como el nivel crítico, que afecta la calidad fisiológica de las semillas. En el porcentaje de germinación, se obtuvo una reducción del 90.5 %. Asimismo se observó una disminución importante en el peso seco de plúmula y de raíz, del 71.3 y 80 % respectivamente, con una disminución de la longitud de plúmula y de radícula, asociado al afecto de una mayor conductividad eléctrica.

Por otra parte, se observan efectos negativos en el desarrollo vegetativo de las plantas, causado por las condiciones elevadas de salinidad en el sustrato, generando una reducción del crecimiento de las plantas, a través de su influencia sobre diversos procesos fisiológicos, afectando principalmente a la tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$ , conductancia estomática, absorción de nutrientes e inactivación de diversas enzimas.

## CONCLUSIONES

- La semilla de la variedad JAGUAN tolera niveles intermedios de salinidad, conservando la capacidad germinativa, aun cuando se presenta reducción en el crecimiento de las plántulas y acumulación de biomasa.
- La variedad JAGUAN, tiene la capacidad de germinar en condiciones de salinidad, sin embargo el punto crítico de tolerancia a este tipo de estrés es de (22.80 mS/cm), presentando una reducción significativa de 90.5 % y 66.2 % en el vigor y la germinación.
- En invernadero, la variedad JAGUAN mostró un alto grado de germinación expresado a través de la velocidad de emergencia. Se observó que el punto crítico de tolerancia a elevados niveles de salinidad, es de (22.80 mS/cm), coincidiendo con los resultados del ensayo de germinación en laboratorio.
- Con niveles de salinidad extrema (48.8 mS/cm), las plantas continúan asimilando CO<sub>2</sub> y sintetizando fotosintatos, usados en la acumulación de materia seca.
- Las plantas sometidas a salinidad presentan una disminución en su capacidad fotosintética. 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 CO<sub>2</sub>, se modifica la apertura estomática y hay un bajo aprovechamiento del CO<sub>2</sub> intercelular.

## LITERATURA CITADA

- Abbasdokhta, H., A. Gholamia, and H. Asgharia. 2013. Halopriming and hydropriming treatments to overcome salt and drought stress at germination stage of corn (*Zea mays L.*). *Desert* 19(1):26-34.
- Abd, H.M., and M.A. Shadadd. 2013. The response strategy of maize, pea and broad bean plants to different osmotic potential stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry* 9(3):240-250.
- Abdellatif, I., and S.M. Ali. 2015. Response of maize (*Zea mays L.*) to sodium chloride concentrations at early growth stages. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)* 5(4):68-74.
- Abraha, B. and G. Yohannes. 2013. The role of seed priming in improving seedling growth of maize (*Zea mays L.*) under salt stress at field conditions. *Agricultural Sciences* 4(12):666-672.
- Aghamir, F., H.A. Bahrami., M.J. Malakouti, and S. Eshghi. 2015. Magnetized water effects on seed germination and seedling growth of corn (*Zea mays L.*) Under Saline Conditions. *American Journal of Life Science Researches* 3(2):184-195.
- Ali, M.T., A.H. Awad, N. Taban, and S. Taban. 2009. Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant. *African Journal of Agricultural Research* 4(9):893-897.
- Aliu, S., I. Rusinovci, S. Fetahu, B. Gashi, E. Simeonovska., and L. Rozman. 2015. The effect of salt stress on the germination of maize (*Zea mays L.*) seeds and photosynthetic pigments. *Agriculturae Slovenica* 105(1):85 – 94.
- AOAC 1984. Association of Official Analytical Chemists, 14<sup>th</sup> edition. Official Methods for Analysis. Arlington, VA, 1141 pp.
- Aragão, F., R. Souza, E. Gomes-Filho, and T. Prisco. 2013. Enhanced salt tolerance in maize plants induced by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> leaf spraying is associated with improved gas exchange rather than with non-enzymatic antioxidant system. *Theoretical and Experimental Plant Physiology* 25(4):251-260.
- Ashraf, M., and P.J. Harris. 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica* 51(2):163-190.

- Awad, M., S. Solaimani, and F.S. El-Nakhlawy. 2014. Effect of soil salinity at germination and early growth stages of two maize (*Zea mays L.*) Cultivars in Saudi Arabia. *Journal of Bioscience and Agriculture Research* 1(1):47-53.
- Azevedo, A.D., J. Tarquinio, J. Enéas, C. Feitosa, J. Viera, P.H. Alves, and E. Gomes. 2004. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. *Braz. J. Plant Physiol* 16(1): 31-38.
- Bastías, E., M.B. González, and C. González. 2015. Interactive effects of excess boron and salinity on response curves of gas exchange to increase in the intensity of light of *Zea mays amyloacea* from the Lluta Valley (Arica-Chile). *IDESIA (Chile)* 33(1):33-38.
- Carpıcı, E.B., N. Celik, and G. Bayram. 2009. Effects of salt stress on germination of some maize (*Zea mays L.*) cultivars. *African Journal of Biotechnology*. 8(19):4918-4922.
- 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. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. Medellín 59(2):3527-3542.
- Chávez, L., y L.M. González. 2009. Mecanismo moleculares involucrados en la tolerancia de las plantas a la salinidad ITEA 105(4):231-256.
- Derek, J. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*, American Society of Plant Physiologists 11:1055-1066.
- Dodd, G. and 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.
- Eisazadeh, L., A. Gharib, B. Mirzamasoumzadeh, and R. Serajamani. 2014. Effects of drought and salinity on maize varieties *in vitro*. *Agriculture Science Developments* 3(1):147-148.
- Giaveno, C.D., R. Vasconcelos, G. Maia, and R. Ferraz. 2007. Screening of tropical maize for salt stress tolerance. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 7: 304-313.

- Goykovic, V. y G. Saavedra. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. IDESIA (Chile) 25: 47-58.
- Gupta, S.K., and S.K. Sharma. 1990. Response of crops to high exchangeable sodium porcentage. Irrigation Science 11:173-179.
- Hussain, I. M. Anwar, Z. Akram, M. Afzal, I. Shabbir, and s. Hussain. 2014. Physiological and Ionic expressions of different hybrids of maize (*Zea Mays L.*) under different salinity levels. Journal of agricultural research 2(5):168-173.
- Ibne, M.M., Z. Jun, and W. Guoying. 2014. Impact of salinity stress on seed germination indices of maize (*Zea mays L.*) genotypes. Kragujevac J. Science 36: 155-166.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2004. International Rules for Seed Testing. Zurich, Switzerland. 243 p.
- James, R.A., A.R. Rivelli, R. Munns and S. Caemmerer. 2002. Factors affecting CO<sub>2</sub> assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. Functional Plant Biology 29(12):1393:1403.
- Kausar, N., K. Nawas, K. Hussain, K.H. Bhatti, E.H. Siddiqi, and A. Tallat. 2014. 2014. Effect of exogenous applications of glycine betaine on growth and gaseous exchange attributes of two maize (*Zea mays L.*) cultivars under saline conditions. World Applied Sciences Journal 29(12):1559-1565.
- Khodarahmpour, Z. 2012. Evaluation of salinity effects on germination and earlygrowth of maize (*Zea mays L.*) hybrids. African Journal of Agricultural Research 7(12):1926-1930.
- Khodarahmpour, Z., M. Ifar, and M. Motamedi. 2012. Effects of NaCl salinity on maize (*Zea mays L.*) at germination and early seedling stage. African Journal of Biotechnology 11(2):298-304.
- Layne, J. J.R. Méndez, y J. Mayz. 2007. Efecto de la salinidad del suelo sobre la germinación de semillas de maíz de diferentes pesos en el oriente Venezolano. Temas Agrarios 12:62-73.
- Layne, J. J.R. Méndez, y J. Mayz. 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. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 11(1):17-25.
- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for Seedling Emergences and Vigor. Crop Science 2:176-177.

- Martínez, N., C.V. López, M. Basurto y R. Pérez. 2011. Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia* 5(3):156-160.
- Mata-Fernández, I., M.L. Rodríguez-Gamiño, J. López-Blanco, G. Vela-Correa. 2014. Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente* 1(5):26-35.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of water stress. *Plant, Cell and Environment* 25:239-250.
- Otero, M., A. Francisco, V. Galvéz, S. Morales, I. Sánchez, M. Labaut, M. Vento, M. Cintra, y L. Rivero. 2007. Caracterización y evaluación de la salinidad. Ministerio de Agricultura. Instituto de Suelos, Cuba. Cuba. p. 1-9.
- Parvaiz, M. 2014. Response of maize to salt stress a critical review. *International Journal of Healthcare Sciences* 1(1):13-25.
- 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.
- Radić, V., D. Beatović, and J. Mrda. 2007. Salt tolerance of corn genotypes (*Zea mays L.*) during germination and later growth. *Journal of Agricultural Sciences*. 52(2):115-120.
- Ragab, H. and M. Abd. 2015. Comparative Response of Salt Tolerant and Salt Sensitive Maize (*Zea mays L.*) Cultivars to Silicon. *Journal of Academic* 2(1):1-5.
- 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. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(4): 403-405.
- Rodríguez, L. 2006. Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agronomía Colombiana* 24(1): 28-37.
- Rodríguez, P.L. 2006. Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agronomía Colombiana* 24(1):28-37.
- Ronen, E. 2015. Nitrato de Potasio Multi K una solución posible para los problemas de salinidad. Portal informativo para el productor agropecuario. Haifa Bay 26120, Israel. p. 1-11.

- Saadalla, M.M., F.S. El-Nakhlawy, M.S. Badran, and S.A. Morsy. 2007. Seed size of maize hybrids: i-effects on emergence and seedling traits under different salinity levels. *J.Agric and Env. Sci. Alex. Univ, Egypt* 6(2):117-134.
- Salisbury, F. y C. Ross. 2000. Osmosis. *In. Fisiología de las plantas*. Thomson Learning. España. pp 65-93.
- SAS Institute 2002 SAS/STAT ® 9.1 User 'S Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.
- Sharwood, R.E., B.V. Sonawane, and O. Ghannoum. 2014. Photosynthetic flexibility in maize exposed to salinity and shade. *Journal of Experimental Botany*. 1: 2-10.
- Sayed, H. 2011. Influence of salinity stress on growth parameters, photosynthetic activity and cytological studies of *Zea mays, L.* plant using hydrogel polymer. *Agric. Biol. J. N* 2(6):907-920.
- Sozharajan, R. and S. Natarajan. 2014. Germination and seedling growth of *Zea mays L.* under different levels of sodium chloride stress. *International Letters of Natural Sciences* 12:5-15.
- SNICS. 2014. Regla para la calificación de semillas. Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Información disponible en línea: <http://snics.sagarpa.gob.mx/certificacion/Documents/2015/Reglas/Cereales.pdf> Fecha de consulta 05 de mayo de 2016.
- Tufail, A., M. Arfan. A.R. Gurmani. A. Khan, and A. Bano. 2013. Salicylic acid induced salinity tolerance in maize (*Zea mays L.*). *Pak. J. Bot* 45(1):75-82.
- Turan, M.A., A.H. Awad, N. Taban., and S. Taban. 2009. Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant. *African Journal of Agricultural Research* 4(9):893 – 897.
- Villacencio, N.M., C.V. López, M.B. Sotelo, y R.P. Leal. Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia* 5(3):156-160.
- Zadehbagheri, M. 2014. Salicylic acid priming in corn (*Zea mays L. var. Sc.704*) reinforces NaCl tolerance at germination and the seedling growth stage. *International Journal of Biosciences* 4(5):187-197.