

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Comportamiento Fisiológico de la Germinación y el Desarrollo de Plántulas de Maíz (*Zea mays* L.), Bajo Condiciones de Estrés Salino (NaCl).

Por:

ALEXIS BARRETO RUIZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Octubre, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Comportamiento fisiológico de la germinación y el desarrollo de plántulas de maíz
(*Zea mays L.*), bajo condiciones de estrés salino (NaCl).

Por:

ALEXIS BARRETO RUIZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Asesor Principal



Dr. Neymar Camposeco Montejo

Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes

Coordinador de la División de Agronomía

Mtro. Josué Israel García López

Coasesor



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Octubre 2019.

AGRADECIMIENTOS

Patsy Dayana Guerrero Espinoza

Gracias por estar siempre a mi lado, por esos consejos y por ese amor incondicional. Te agradezco por acompañarme durante esta etapa que fue de errores y enseñanzas, solo contigo pude pasar tantos momentos, eres la mujer que me dio una gran lección de vida y por eso quiero que sepas lo importante que eres para mí.

Amiga, novia y confidente estas palabras te las dedico a ti por ser esa persona tan admirable y especial, gracias por todas esas sonrisas y palabras de aliento.

A la Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Por brindarme sus conocimientos y enseñanzas durante la carrera. Por prestarme su tiempo, dedicación, paciencia y apoyo para la realización de este proyecto de tesis, ya que sin duda alguna es una de las mejores maestras de esta institución.

A mis amigos

No hace falta mencionar a todas aquellas personas que me ofrecieron su apoyo, sus buenos deseos y sobre todo ese apoyo moral para poder lograr este gran paso. A todos eso hermanos que conocí en las gradas “La oficina” gracias por ser parte de esta nueva meta.

DEDICATORIAS

A mis padres

Este título se los dedico a ustedes, que con su gran esfuerzo y sacrificio dieron todo por darme esta gran oportunidad de seguir estudiando, gracias de todo corazón por darme esas palabras de aliento que me motivaron día a día.

ADRIANA RUIZ ALVAREZ, la mujer que me impulsa a seguir a delante hoy te puedo decir que he terminado este gran logro gracias a ti y a todo ese sacrificio y esfuerzo que pasamos juntos, quiero decirte lo mucho que te amo y gracias por tener esa confianza y fe en mí. De todo corazón gracias por ser la persona que eres, dios me dio la madre más hermosa de este mundo, no cambiaría mi vida por nada, te amo mamá.

PABLO BARRETO VALDERRAMA, gracias por la educación y por todo el apoyo que me brindaste, con mucho esfuerzo hemos logrado concluir una meta más. Te agradezco por darme la vida, Te amo.

A mi abuelo

Gracias por el apoyo a **Enrique Barreto Gutiérrez** mi viejo que siempre se preocupa por mí y me da sabios consejos en cada momento. Le tengo mucho afecto, cariño y amor.

Janeth Barreto Ruiz y Ian Brandon Barreto Ruiz

Les agradezco el apoyo que me han brindado, es una bendición tenerlos a mi lado por ser parte de mi familia y por brindarme su apoyo, los amo tanto.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
Objetivo	4
Hipótesis.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
Salinidad en el suelo	5
Salinidad en los cultivos	7
Efectos de salinidad en la germinación	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Variables evaluadas.....	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
CONCLUSIONES.....	21
BIBLIOGRAFÍA.....	22
ANEXOS.....	31

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza para variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de maíz (*Zea mays*), imbibidas en diferentes concentraciones de cloruro de sodio.

Cuadro 2. Comparación de medias de las variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de maíz (*Zea mays*), imbibidas en diferentes concentraciones de cloruro de sodio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vigor de germinación, germinación y plántulas anormales, obtenidas de semillas tratadas con NaCl a diferentes concentraciones.

Figura 2. Peso seco de plántula, obtenidas de semillas tratadas con NaCl a diferentes concentraciones.

Figura 3. Efecto de NaCl sobre el desarrollo de longitud de plúmula y radícula.

RESUMEN

La investigación fue llevada a cabo en el Laboratorio de Fisiología de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), que se encuentra ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Durante 24 h, semillas de maíz (*Zea mays*) de la raza Celaya fueron puestas a imbibir en soluciones salinas a diferente concentración molar, se establecieron 4 tratamientos (0.0, 0.1, 0.2 y 0.3 M) con 3 repeticiones cada uno. Se colocaron 75 semillas en cada caja de Petri, se vertieron 30 mL de cada solución salina de acuerdo al tratamiento, al testigo se le añadió 30 mL de agua destilada.

Posteriormente, la siembra se llevó a cabo entre papel Anchor, para lo cual se humedeció el papel, las semillas fueron sembradas en forma horizontal, una vez realizada la siembra, los “tacos” fueron acomodados dentro de una bolsa de plástico por tratamiento, las cuales se ubicaron en canastillas de plástico y colocadas en la cámara bioclimática a 25° Celsius, esto con la finalidad de cuantificar el efecto de los diferentes tratamientos con NaCl, en el vigor de germinación y en el crecimiento y desarrollo de plántulas.

Se evaluaron las siguientes variables: porcentaje de vigor de germinación, germinación, plántulas anormales, longitud de radícula, longitud de plúmula y peso seco de plántula. Se realizó un análisis de varianza con los datos de las variables evaluadas, posteriormente una prueba de rango múltiple (Tukey, $P \leq 0.01$), con el Paquete Estadístico SAS (2009).

En resultados se encontró que, al incrementar los niveles de estrés por salinidad, se reduce el porcentaje de vigor de germinación y el porcentaje de germinación. Igualmente, de manera negativa se afectó la longitud de radícula y de plúmula, así como el peso seco de plántula. La salinidad tiene un efecto negativo en el crecimiento y desarrollo de plántula, afectando mecanismos fisiológicos, y esto se debe al efecto osmótico, que dificulta la absorción de agua por las semillas y plántulas y el iónico atribuido a la toxicidad de los iones responsables de la salinización.

INTRODUCCIÓN

En México, el problema de la salinidad se presenta principalmente en las zonas áridas y semiáridas con riego, y a lo largo de las costas. Se estima que la superficie afectada es del orden de un millón de Has (Fernández, 1990). En muchas áreas del mundo dedicadas a la agricultura, la obtención de buenos rendimientos, así como también el poder cultivar una amplia variedad de especies, cada vez está teniendo más restricciones debido a la salinización de los suelos. Se estima que existen más de 800 millones de hectáreas en el planeta que están afectadas por sales, de estos, 397 millones lo son por problemas de salinidad y 434 millones por condiciones asociadas a sodicidad (FAO, 2000; Munns, 2005). Varias son las causas vinculadas a estos procesos de salinización, entre las cuales es posible citar un excesivo empleo de fertilizantes, uso de agua de mala calidad por el exceso de sales, mal drenaje y tala inmoderada (Tanwar, 2003).

La salinidad en la agricultura produce un efecto negativo sobre los cultivos, ya que existe una relación entre la salinidad y el descenso en el rendimiento que se produce. Aunado a lo anterior Hasegawa *et al.* (2000), menciona que la salinidad afecta el crecimiento y producción de los cultivos al reducir el potencial hídrico de la solución del suelo y al crear un desequilibrio nutritivo dado a la elevada concentración de elementos que pueden inferir con la nutrición mineral y el metabolismo celular.

En lo que concierne a semillas, estas no germinan o no alcanzan a desarrollar satisfactoriamente, ya que existen ciertos mecanismos que les impide hacerlo, y en caso de las plantas que logran prosperar en estas condiciones, producen semillas estériles o bien que no alcanzan a formarse. Así mismo, las semillas tienen problemas de emergencia y dificultad de adaptación en campo. Las gramíneas forrajeras que se explotan en suelos salinos, no se encuentran ajenas a una disminución y establecimiento, no obstante que son medianamente sensibles a las sales.

Uno de los cultivos considerados 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 mala 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.

OBJETIVOS

1. Evaluar el efecto de diferentes niveles de salinidad (NaCl) en la germinación y en el vigor de plántulas de maíz de la raza Celaya.
2. Determinar la respuesta de la acumulación de biomasa, en plántulas obtenidas de semillas sometidas a diferentes niveles de estrés salino (NaCl), durante el proceso de imbibición.

HIPÓTESIS

1. Al incrementar los niveles de salinidad durante el proceso de imbibición, se reduce el vigor, el porcentaje de germinación y la biomasa de plántulas de maíz de la raza Celaya.
2. Al incrementar los niveles de salinidad durante el proceso de imbibición, no se reduce el vigor, el porcentaje de germinación y la biomasa de plántulas de maíz de la raza Celaya.

REVISIÓN DE LITERATURA

Salinidad en el suelo

La salinidad de los suelos es un factor muy importante que limita la productividad de las plantas y que afecta a aproximadamente 930 millones de hectáreas en el mundo (Munns, 2002; Kefu *et al.*, 2002). El PNUMA (Programa Ambiental de las Naciones Unidas) estima que al menos un 20 % de las tierras cultivables del mundo y más del 40 % de las tierras de regadío se encuentran en condiciones de estrés por sales en diversos grados (Rhoades y Loveday, 1990; Flowers y Yeo, 1995). Se estima que existen 397 millones de hectáreas afectadas por problemas de salinidad y 434 millones por condiciones asociadas a sodicidad (FAO, 2000; Munns, 2005).

La salinidad de los suelos es uno de los principales fenómenos responsables de su deterioro en todas partes del mundo, provoca daños fisiológicos y morfológicos en las plantas afectando el vigor y la germinación de semillas (Singh y Chatrath, 2001). La salinidad disminuye la germinación de las semillas, retrasa el desarrollo de las plantas y reduce el rendimiento de los cultivos (Epstein *et al.*, 1980). El término salinidad se refiere a la presencia en el suelo de una elevada concentración de sales que perjudican a las plantas por su efecto tóxico y la disminución del potencial osmótico del suelo. La situación más frecuente de salinidad en los suelos es por NaCl, pero los suelos salinos suelen presentar distintas combinaciones de sales, siendo comunes los cloruros y los sulfatos de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Se dice que un suelo se considera salino cuando la conductividad eléctrica (CE) es igual o mayor de 4 dS m^{-1} (SEMARNAT y SAGARPA, 2010). De acuerdo con Villa *et al.* (2006), el sodio (Na^+) es uno de los iones dominantes en los ambientes salinos y durante todo el ciclo fenológico de las plantas (especialmente de las glicofitas), induciendo mal funcionamiento de sus procesos fisiológicos, ya que puede considerarse equivalente a la sequía, debido a que retiene agua pero indisponible para las semillas o las plántulas; suprimiéndose la absorción neta de nutrimentos, afectando la integridad de la membrana, causando numerosos problemas en el crecimiento y desarrollo de éstas (Tester y Davenport, 2003; Munns y Tester, 2008).

Sin embargo, la tolerancia a la salinidad de cada especie dependerá de las condiciones ambientales y de la habilidad que posea para controlar la absorción y el transporte de Na^+ al tejido fotosintético (Layne *et al.*, 2008; Reyes *et al.*, 2013), principalmente durante la fase de germinación, donde se producen cambios y adaptaciones que pueden afectar no solo al proceso germinativo en sí, sino también al crecimiento y desarrollo futuro de las plantas, por ser la primera etapa crucial del ciclo de vida de muchas especies (Ruiz y Terenti, 2012).

La acumulación primaria de sales es mediante procesos naturales, debido principalmente al alto contenido propio del suelo o en las aguas subterráneas (Tanji, 2002; European Communities, 2009). Los suelos afectados por salinidad generalmente se encuentran en zonas bajas, esto se debe a la cercanía y a la altura sobre el nivel del mar, así como también la intemperización que da la descomposición de las rocas, bajo la influencia de factores químicos, físicos y biológicos. Es decir, da una descomposición química, liberando sales solubles (Im-Erb y Pongwichian, 2003; Lamz y González, 2013).

La existencia de sales en el suelo influye en las propiedades fisicoquímicas del perfil del suelo, como son: la estructura, la porosidad, la permeabilidad, la capacidad de retención de humedad y de intercambio catiónico. En regiones áridas y semiáridas esta situación es predominante, donde las bajas precipitaciones no permiten la lixiviación de las sales de manera natural hacia estratos más profundos (SERMANAT y SAGARPA, 2010). Además, las adversas condiciones climáticas, deben considerar otros factores, en la ocurrencia de salinidad, como son: las aguas salinas subterráneas, las tierras bajas cercanas a las costas, los pantanos y las lagunas litorales, así como en las áreas cercanas a minas.

La acumulación secundaria de sales es producida por las intervenciones del hombre, va asociada a la evolución de la agricultura, tanto a nivel de las técnicas de irrigación, como a los cambios en el uso, distribución del agua o un drenaje insuficiente, residuos del abonado y de fertilizantes químicos (Tanji, 2002; Pitman y Läuchli, 2002).

La expansión de zonas agrícolas para hacer frente a la creciente necesidad de alimentos ha causado el uso inadecuado de los recursos de tierra y agua. El aumento de riego con el uso de las aguas salinas para el riego, el aumento de estas en las capas del subsuelo en áreas de drenaje pobre y la aplicación de fertilizantes son las actividades humanas que en combinación con la naturaleza como es el clima, el suelo favorecen este proceso (Jiménez *et al.*, 2010).

Salinidad en los cultivos

Zhu (2001) menciona que el estrés salino como tantos otros estreses abióticos inhibe el crecimiento de la planta. El bajo crecimiento es una característica adaptativa de los cultivos para sobrevivir al estrés por salinidad. En la naturaleza la capacidad de tolerar la salinidad o la sequía parece estar inversamente relacionada a la tasa de crecimiento. Una causa de la reducción del crecimiento es la inadecuada fotosíntesis debida al cierre estomático y en consecuencia la limitación de la entrada de CO₂. Más importante es que el estrés inhibe la división celular y la expansión directamente. Algunas plantas son tan sensibles al estrés que limitan el crecimiento cuando ocurre un ligero estrés. Por lo contrario, algunas plantas que no son sensibles corren el riesgo de morir por continuar creciendo cuando el estrés es severo.

Hasegawa *et al.* (2000) hacen mención que uno de efectos más evidentes del estrés salino es la reducción en la capacidad de absorción de agua, que se puede manifestar como los efectos del estrés hídrico: reducción de expansión foliar y pérdida de turgencia. Sin embargo, los efectos de la salinidad se pueden clasificar desde el punto de vista fisiológico, que pueden producir alteraciones de los caracteres morfológicos, que son las que se aprecian visualmente al someter los cultivos a condiciones salinas. Hartung *et al.* (2002) mencionan que las características anatómicas y morfológicas de la raíz pueden tener gran influencia en la capacidad de adaptación a la salinidad, por lo que, a nivel de raíces, las sales alteran la absorción de agua afectando el crecimiento de estos órganos; también actúan produciendo efectos tóxicos.

Por su parte Romero *et al.* (2001), comenta que la parte aérea de la planta igualmente es afectada por la salinidad. Las plantas alcanzan una menor altura, las hojas se presentan en menor número y a la vez manifiestan una disminución en su densidad estomática en la cara adaxial, presentan clorosis y necrosis principalmente en los bordes de las hojas.

Efectos de salinidad en la germinación

La semilla es la unidad de reproducción y dispersión de las plantas superiores y tienen la función de multiplicar, perpetuar y dispersar la especie a la que pertenecen. Para que la semilla cumpla con su objetivo es necesario que el embrión se transforme en una plántula, la cual será capaz de valerse por sí misma y, finalmente convertirse en una planta. Todo ello comprende una serie de procesos metabólicos y morfogenéticos conocidos como germinación. En este proceso una semilla en dormición o latencia recupera su actividad y origina una nueva planta (Azcón-Bieto y Talón, 2008). La germinación es una etapa clave en el ciclo de los vegetales, de ella depende el número final de plantas y su rendimiento o supervivencia (Hadas, 1976; Zhu, 2001).

Las especies de regiones áridas deben germinar generalmente en condiciones de baja disponibilidad de agua y alta concentración de sales en el suelo. Lo que genera la interacción de dos procesos: por un lado, un efecto osmótico debido a la disminución del potencial hídrico del medio y, por otro lado, un efecto iónico por la entrada y/o acumulación de iones en la semilla (Dodd y Donovan, 1999). El medio salino produce retraso en la germinación y afecta el crecimiento de las plantas, a la vez que provoca disminución del rendimiento en grano y de materia seca (Pérez *et al.*, 1990, Jacobsen & Bach, 1998; González, 1999).

La baja concentración de salinidad produce disminución de la velocidad de germinación, y la alta concentración la inhibe (González & Prado, 1992). Las plantas están sometidas frecuentemente a situaciones desfavorables para su desarrollo y funcionamiento óptimo ocasionadas por alteraciones en el medio ambiente (Azcón-Bieto y Talon, 1993).

La salinización es un proceso de enriquecimiento del suelo con sales más solubles que el sulfato de calcio, por lo general se trata de cloruros y sulfatos de sodio y de magnesio. Esto provoca valores muy altos de la presión osmótica en el agua del suelo, con evidentes repercusiones sobre la vegetación (interfiere en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y otras plantas no especializadas) (Porta *et al.*, 1999).

En general el incremento de la salinidad genera reducción de la germinación en las glicófitas y afecta en menor grado a las halófitas (Khan y Ungar, 1997). Sin embargo, muchas especies halófitas son sensibles a altas condiciones de salinidad durante el proceso de germinación (Ungar, 1987), presentando una considerable variabilidad en su germinación y crecimiento, al ser tratadas con diferentes concentraciones de NaCl (Wallace *et al.*, 1982; Redondo-Gómez *et al.*, 2007; Chachar *et al.*, 2008).

Por su parte Aceves (1979), menciona que a niveles moderados de sales en el suelo generalmente retardan la germinación sin afectar el porcentaje de esta, pero en concentraciones elevadas retardan la germinación y además afectan notablemente el porcentaje de emergencia, dependiendo del cultivo. Según Guerra (1993), por lo general la mayoría de las plantas son más sensibles a la salinidad durante la germinación, que en las últimas etapas de desarrollo.

La salinidad produce una disminución en porcentaje de semillas germinadas y un aumento en el tiempo de germinación y emergencia, así como una disminución en la tasa de absorción de agua por las semillas en germinación. Por su parte Romero *et al.* (2001) mencionan que, a nivel de germinación, a medida que aumenta la concentración de sales en el medio, el porcentaje de germinación disminuye y el periodo en que este proceso se lleva a cabo se prolonga. A nivel de raíces, las sales alteran la absorción de agua afectando el crecimiento de estos órganos; también actúan produciendo efectos tóxicos.

Una reducción en el porcentaje de germinación y un atraso en el inicio del proceso germinativo con el aumento del estrés salino puede estar relacionado con una sequía fisiológica producida, pues cuando existe un aumento de la concentración de sales en el medio germinativo, hay una disminución del potencial osmótico y consecuentemente, una reducción del potencial hídrico (Fanti y Perez, 2004).

Por su parte Tobe *et al.* (2000), menciona que esta reducción puede afectar la cinética de absorción de agua por las semillas (efecto osmótico), como también elevar a niveles tóxicos las concentraciones de iones (efecto tóxico). La inhibición de la movilización de las reservas puede ser atribuida a los efectos de las sales en la síntesis “de novo” y la actividad de enzimas responsables de la hidrólisis y translocación de los productos hidrolizados de los tejidos de reserva para el eje embrionario, afectando de este modo el proceso germinativo. Por lo tanto, Osorio (1995) menciona que los efectos de las sales en la planta pueden variar dependiendo de la etapa fenológica. La sensibilidad puede ser bastante diferente durante la etapa de germinación que de las siguientes. Algunos cultivos son muy sensibles a las sales solubles del suelo durante la etapa de germinación, pero son tolerantes después de esta etapa.

González y Ramírez (1996) mencionan que las plantas sometidas a salinización son afectadas desde la germinación hasta estados más avanzados del desarrollo. En el caso de la semilla se reduce la velocidad de imbibición de agua y por ende se presenta una disminución en la velocidad de la germinación, debido al efecto osmótico. Los procesos de división y alargamiento celular también pueden presentar alteraciones, así como la movilización de las reservas indispensables para que ocurra el proceso germinativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue llevada a cabo en el Laboratorio de Fisiología de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), que se encuentra ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

El material genético utilizado fue semillas de maíz (*Zea mays*) raza Celaya, incrementada en el Mezquite, Galeana, Nuevo León.

En este estudio se utilizó cloruro de sodio (NaCl) con un peso (masa) molecular 58.44 g/mol, se pesaron las cantidades usando una balanza analítica, las soluciones fueron preparadas mediante la mezcla con agua destilada dependiendo de la concentración (0.0, 0.1, 0.2 y 0.3 M), al finalizar la mezcla se tomó la conductividad eléctrica de estas soluciones.

El experimento consistió en 4 tratamientos, con 3 repeticiones cada uno, y 25 semillas de maíz por repetición. Antes de realizar la siembra, la semilla se trató, para lo cual se colocaron a imbibición durante 24 horas en cajas de Petri con 30 ml de solución salina de acuerdo a la concentración, para el testigo se utilizó agua destilada, transcurrido el tiempo se procedió a realizar la siembra utilizando el método de germinación denominado “Entre Papel”.

Durante la siembra, se colocaron 25 semillas sobre el papel “Anchor” y se le aplicó una solución a base de “Tecto 60” (1.0%), fungicida que previene contaminación por hongos, en seguida se colocó otra hoja de papel, siendo enrolladas en forma de “taco”, así se procedió para cada repetición y cada tratamiento.

Una vez realizada la siembra, los tacos fueron acomodados dentro de una bolsa de plástico por tratamiento, las cuales se ubicaron en canastillas de plástico, y posteriormente colocadas en la cámara bioclimática marca “Thermo” Scientific a 25° Celsius.

Variables evaluadas

Vigor de germinación: La primera evaluación se realizó al cuarto día después de la siembra, se evaluaron las plántulas normales (plántulas con raíz y plúmula bien desarrollados), el valor fue expresado en porcentaje.

Germinación: El segundo conteo de plántulas normales se realizó al séptimo día, el dato se usó para determinar el porcentaje de germinación.

Plántulas anormales (PA): Se consideraron aquellas plántulas que se mostraron con deformaciones durante el crecimiento en algunas de sus estructuras (plúmula y radícula), el resultado fue expresado en porcentaje.

Semillas sin germinar (SSG): Se contabilizaron las semillas que no mostraron la capacidad de germinar, el resultado se expresó en porcentaje.

Longitud de plúmula (LP) y longitud de radícula (LR): Se midieron solo en plántulas normales por cada repetición y tratamiento, estos datos fueron expresados en cm, es considerado como un indicador de vigor de plántula.

Peso seco de plántula (PS): Se realizó después de contar las plántulas normales, las cuales se colocaron dentro de bolsas de papel estraza, para ser sometidas a secado en una estufa marca Riossa modelo H-48, con una duración de 24h a 72°C. Transcurridas las 24h fueron sustraídas para posteriormente ser pesadas en una balanza analítica y la biomasa se expresó en mg/plántula.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conforme a los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza del bioensayo de germinación de semillas de maíz (*Zea mays*), en lo que es la fuente de variación tratamientos se obtuvieron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para las variables evaluadas (**VIGOR DE GERMINACIÓN, GERMINACIÓN, PA, LP, LR y PS**), indicando la respuesta diferencial de la semilla a los tratamientos a los que fue sometida durante el proceso de imbibición (Cuadro 1).

En la comparación de medias para las variables vigor de germinación y germinación (Cuadro 2), los resultados obtenidos muestran que las semillas de maíz (*Zea mays*), tratadas con soluciones de NaCl a diferentes concentraciones, por 24 h durante la imbibición, al ir incrementando la concentración, se redujo el vigor de germinación y la capacidad de germinar.

Se observó en vigor de germinación del testigo un valor alto (83 %) (Cuadro 2), sin embargo, al incrementar la concentración salina a 0.1 M se redujo en 10 % (73 %), y al incrementar a una concentración de 0.2 M se obtuvo 44 %, esto es una reducción del 39 % con respecto al testigo. Sin embargo, el mayor decremento se mostró en la concentración de 0.3 M, donde se obtuvo 0 %, esto es, las semillas de maíz perdieron la capacidad de germinar (Cuadro 2). De acuerdo a diferentes estudios, la salinidad influye significativamente en la respuesta germinativa de la semilla, un exceso de sales solubles provoca una reducción del potencial hídrico del sustrato, induciendo una menor capacidad de absorción de agua por las semillas. Esta reducción del potencial hídrico y de los efectos tóxicos de las sales interfiere inicialmente en el proceso de absorción de agua por las semillas inhibiendo la germinación (Cavalcante y Pérez, 1995).

El porcentaje de germinación presentó un patrón muy parecido al de la variable vigor de germinación, ya que, al aumentar la concentración de NaCl, decreció el número de plántulas normales. Para esta variable, el testigo obtuvo el mayor porcentaje de germinación, con un 92%. Con el tratamiento 0.1 M se redujo únicamente 3% (89 %), lo que indica que la semilla de maíz es capaz de tolerar y germinar a este nivel de salinidad (NaCl). Por otra parte, para el tratamiento con 0.2 M, el porcentaje de germinación fue de 49 %, esto es una reducción del 45.65 % con respecto al testigo.

El resultado más crítico se observó al tratar las semillas con 0.3 M NaCl, ya que no germinaron. Concentraciones altas de sal afectan la etapa y tasa de germinación, longitud del tallo, ramificación y tamaño de las hojas (Gutiérrez-Rodríguez et al., 2005; Gama et al., 2007).

Una reducción en el porcentaje de germinación y un atraso en el inicio del proceso germinativo con el aumento del estrés salino, puede estar relacionado con una sequía fisiológica inducida, pues cuando existe un aumento de la concentración de sales en el medio germinativo, hay una disminución del potencial osmótico y consecuentemente, una reducción del potencial hídrico (Fanti y Perez, 2004).

Por su parte Basnayake et al. (1994), mencionan que la presencia excesiva de sales solubles en el suelo causa una reducción en el potencial osmótico y como consecuencia, una reducción en el gradiente del potencial entre el suelo y la semilla, dificultando el proceso de imbibición y comprometiendo la germinación.

Da Silva et al. (2007) encontraron que la germinación y la tasa de germinación de semillas de cebada disminuyeron a medida que se incrementó el nivel de salinidad, reduciendo la viabilidad y vigor de las semillas, debido a que la salinidad afectó la integridad de las membranas.

Cuadro 1. Análisis de varianza para variables evaluadas en el bioensayo de germinación de semillas de maíz (*Zea mays*), imbibidas en diferentes concentraciones de cloruro de sodio.

F. V	G.L	Vigor de Germinación (%)	Germinación (%)	PA (%)	LP (cm)	LR (cm)	PS (mg/plántula)
Tratamientos	3	4147.55 **	5576.44**	5576.44**	581.39**	525.47**	646.55**
Error	8	326.66	250.66	250.66	2.83	5.15	46.35
C.V (%)		36.14	27.45	37.39	25.72	19.33	12.43

**= Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad CV= Coeficiente de variación, PA=Plántulas Anormales, LP= Longitud de Plúmula, LP= Longitud de Radícula, PS= Peso Seco de Plántula.

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.

Los resultados obtenidos en este trabajo, en todos los tratamientos el porcentaje de plántulas anormales se incrementó, con respecto al testigo. En el tratamiento 0.1 M con respecto al testigo se incrementó de 8 a 11, pero en el tratamiento 0.3 M se observó el mayor porcentaje de plántulas anormales con 100% (Cuadro2).

La toxicidad de las sales se refleja en una reducción de la emergencia y se acompaña frecuentemente de anormalidades en el crecimiento y desarrollo de las plántulas (Hayward y Wadleigh, 1949). Estos efectos pueden retardar, bajar o inhibir completamente la germinación, dependiendo del nivel de sal en el medio de crecimiento (Ayers y Hayward, 1948). Así mismo se ha demostrado que la salinidad afecta la tasa de germinación, ramificación y tamaño de hojas, por que induce cambios en la anatomía, morfología y fisiología de las plantas, los cuales a menudo se consideran como adaptaciones que incrementan las oportunidades de éstas para sobrevivir al estrés salino, aunque también son signos del daño y alteración de su estructura y fisiología (Mayer y Poljakoff, 1975).

Cuadro 2. Comparación de medias de las variables evaluadas en el bioensayo de germinación con semillas de maíz (*Zea mays*), imbibidas en diferentes concentraciones de cloruro de sodio.

Tratamientos (M)	Vigor de germinación (%)	Germinación (%)	PA (%)	LP (cm)	LR (cm)	PS mg/plántula
0	83 a	92 a	8 c	9.5 a	14.4 a	70.5 a
0.1	73 a	89 a b	11 b c	5.5 b	11.1 b	52.0 b
0.2	44 a b	49 b	51 b	2.9 c	7.9 c	41.6 b
0.3	0 b	0 c	100 a	0.0 d	0.0 d	0.0 c
Media	50	57.66	42.33	6.54	11.74	54.74
Tukey	47.2	41.3	41.3	0.7	1	17.05

Valores con la misma literal dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, ≤ 0.01), PA= Plántulas Anormales, LP= Longitud de Plúmula, LR= Longitud de Radícula, PS= Peso Seco de Plántula.

Con relación a las variables longitud de plúmula y longitud de radícula (Cuadro 2), cabe señalar que se mostró una respuesta negativa a los tratamientos a semillas durante el proceso de imbibición con soluciones cloruro de sodio (NaCl). Para longitud de plúmula respecto al testigo a una concentración salina de 0.1 M, se observó una reducción de 4 cm, para una concentración de 0.2 M con respecto al testigo se mostró una reducción de 6.6 cm. Con respecto a la diferencia entre el valor medio de los tratamientos, se obtuvo una diferencia de 2.96 para el testigo, de 5.5 para 0.1 M y de 2.9 para 0.2 M (Cuadro 2). Respecto a longitud de radícula, los tratamientos a semillas también afectaron el desarrollo de plántula, ya que, al aumentar la concentración de la solución salina de NaCl, se disminuyó de 14.44 cm en el testigo a 11.1 cm con 0.1 M, y a 7.9 cm con 0.2 M.

Para la variable peso seco de plántula, el testigo mostró el mayor valor con 70.5 mg/plántula, al tratar la semilla con la concentración salina 0.1 M, el valor de peso seco fue en descenso al obtener 18.5 mg menos (52 mg/plántula), y en la concentración 0.2 M fue donde el valor del peso seco de plántula llegó a 41.6 mg/plántula (Cuadro 2). La salinidad origina reducción del crecimiento de los cultivos al afectar negativamente la capacidad de emerger de las plántulas. Igualmente retarda el crecimiento de las plantas a través de su influencia sobre varios procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis, la conductancia estomática, el ajuste osmótico, la absorción de iones, la síntesis de proteínas, la síntesis de ácidos nucleicos, la actividad enzimática y el balance hormonal (Mizrahi *et al.*, 1988; Bethke and Drew, 1992; Hakim and Rhaman, 1992).

Es así como en el cultivo del 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). Azevedo *et al.* (2004) mencionan que, al evaluar ocho híbridos de maíz, en condiciones salinas (100 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. La salinidad además puede afectar el proceso de transporte de agua e iones, lo que promueve toxicidad iónica y desbalance nutricional (Lerner, 1985; Chartzoulakis & Klapaki, 2000).

En general, los cultivos responden de manera particular a la salinidad, algunos producen rendimientos aceptables a altas concentraciones de salinidad, mientras que otros son sensibles a bajas concentraciones (Serrano, 1996). Tester y Davenport (2003) señalaron que la intensidad con que cada condición de estrés afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas, depende de varios factores, entre los cuales se incluye la especie, el cultivar, estado fenológico, tipos de sales solubles, intensidad y duración del estrés y condiciones edafoclimáticas.

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.

La salinidad puede inhibir el crecimiento de las plántulas debido a varios factores, incluyendo la toxicidad iónica, deficiencia en la nutrición mineral y cambios en las relaciones hídricas, siendo esto último un efecto similar al producido por la sequía. El grado en el que cada uno de estos factores puede afectar el crecimiento depende del genotipo de la planta y de las condiciones ambientales. Los principales iones salinos, Na^+ y Cl^- , pueden suprimir la absorción neta de nutrimentos debido a las interacciones competitivas iónicas o afectar la integridad de la membrana, altos niveles de Na^+ a menudo indican deficiencias de K^+ . La salinidad puede causar dos clases de estrés en los tejidos de las plantas: osmótico e iónico, siendo el primero similar al causado por la sequía, mientras que el último es a menudo asociado con altas relaciones Na^+ / K^+ y $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{+2}$ y la acumulación de Na^+ y Cl^- en los tejidos, lo cual es dañino para el metabolismo general de las células. Bajo estrés salino, el mantenimiento de K^+ citosólico y la homeostasis de la concentración intracelular de iones es más crucial (De Araujo, 2006).

CONCLUSIONES

El trabajo mostró como resultados efectos negativos al tratar semillas de maíz (*Zea mays*) raza Celaya, durante la imbibición con soluciones salinas de NaCl. Al incrementar la concentración de NaCl, se redujo el porcentaje del vigor de la semilla para germinar, así como el porcentaje de germinación. Lo anterior debido principalmente a que la salinidad afecta sistemas fisiológicos, generados por la interacción de dos procesos, el efecto osmótico debido a la disminución del potencial hídrico del medio y, por otro lado, el efecto iónico por la entrada y/o acumulación de iones en la semilla.

La salinidad redujo también el crecimiento de la radícula y de la plúmula, las semillas que fueron imbibidas en soluciones salinas mostraron disminución en el desarrollo de plántula, notándose así un menor peso seco (menor acumulación de biomasa). El maíz es tan sensible al estrés, que disminuye el crecimiento y la acumulación de biomasa, debido a una reducción en la división celular.

La respuesta que se obtuvo al no usar la solución salina (NaCl) durante la imbibición (Testigo), presentó un efecto positivo para todas las variables evaluadas, las semillas germinaron correctamente con una buena emergencia de radícula y de plúmula, con un buen crecimiento de plántulas y un desarrollo fisiológico normal, presentando un 92 % de germinación.

BIBLIOGRAFÍA

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.

Aceves, N. E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego (Identificación, Control, Combate y Adaptación). Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. Pp 113-116.

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.

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.

Ayers, A. D. y H.E. Hayward. 1948. A method for measuring the effects of soil salinity on seed germination with observations on several crop plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 13:224-226.

Azcón-Bieto, J. y M. Talon. 1993. *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Interamericana McGraw-Hill, Madrid, pp. 537-539.

Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2008. *Fundamentos de Fisiología vegetal*. Mc. Graw-Hill.

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.

Basnayake, J., M. Cooper, M. Ludlow and R. Henkell. 1994. Combining ability variation for osmotic adjustment among a selected range of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Moench. *Field Crops Res.* 38:147-155.

Bethke, P. and M. Drew. 1992. Stomatal and nonstomatal components to inhibition and photosynthesis in leaves of (*Capsicum annuum* L.) during progressive exposure to NaCl salinity. *Plant Physiol* 99: 219-226.

Cavalcante, A. y S. Perez. 1995. Efeitos desestresses hídrico e salino sobre a germinação de sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Witt. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 30(2):281-289.

Chachar, Q.I, A.G. Solangi, A. Verhoef. 2008. Influence of sodium chloride on seed germination and seedling root growth of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) *Pakistan J Bot.*;40(1):183-197.

Chartzoulakis, K. and G. Klapaki. 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hort* 86(3): 247-260.

Da Silva, R., N. Fernandes Lopes, D. Munt de Moraes, A. De Almeida Pereira, and G. Loureiro Duarte. 2007. Physiological quality of barley seeds submitted to saline stress. *Rev. Bras. Sem.* 29 (1): 40-44.

De Araujo, S.A. M., J. Silveira A.G, T. Almeida D., I. A. Rocha, D.L. Morais, R. A. Viegas. 2006. Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L. grown under increasing NaCl levels. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.* 10(4), 848-854

Dodd, G., and Donovan L. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *Am J Bot.* 1999;86(8):1146-1153.

European Communities. 2009. "Salinization and sodification". Sustainable Agricultural and Soil Conservation. Soil degradation processes. (<http://www.eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/SOCO/FactSheets/ENFactSheet-04.pdf>).

Epstein, E., J.D. Norlyn, D.W. Rush, R.W. Kinsbury, D.B. Kelly, G.A. Gunningham and A.F. Wrona, 1980. Saline culture of crops: A genetic approach. *Sci.* 210: 399-404.

FAO. 2000. Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt Affected Soils. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/topic2.htm#irn>. Fecha de consulta: 19 de septiembre, 2019.

Fanti, S. y S. Perez. 2004. Processo germinativo de sementes de paineira sob estress es hídrico e salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39(9): 903-909.

Fernández G., R. 1990. Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperación de suelos con problemas de sales en México. *Terra* 8: 226-240.

Flowers, T.J y A.R. Yeo, 1995. Breeding for salinity Rattan, L.A., 1998. Seed technology. LTD. Oxford, New resistance in crop plants. *Aust. J. Plant Physiol.*, 22: 875- 884.

Gama, P., B. S. Inanaga, K. Tanaka, and R. Nakazawa. 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. *Afr. J. Biotechnol.* 6:79-88.

González, J.A., 1999. Ecofisiología y morfología del estrés debido a factores adversos. Fisiología de la resistencia a sequía en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). I Curso Internacional. Proyecto Quinoa. Ed. Jacobsen y Mujica. Lima. Perú, pp. 3-20.

González, J.A. and F. Prado. 1992. Germination in relation to salinity and temperature in *Chenopodium quinoa* (Willd.). *Agrochimica*, Vol. XXXVI N° 1-2: 101-108.

González, L. y Ramírez R. 1996. Respuesta de *Terannus labilis* diferentes niveles de salinidad durante la germinación y crecimiento. *Cultivos Tropicales* 17(3):1719.

Gutiérrez, R. M., J. A. Escalante E., and M. T. Rodríguez G. 2005. Canopy reflectance, stomatal conductance, and yield of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus coccinues* L. under saline field conditions. *Inter. J. Agric. Biol.* 7:491-494.

Guerra, H. M. 1993. Tolerancia a la salinidad en el mejoramiento y la producción agrícola. Seminarios de postgrado. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. pp. 64-67.

Hadas, A. 1976. Water uptake and germination of leguminous seeds under changing external water potential in osmotic solutions. *J Exp Bot.*27(1):480-489.

Hasegawa, P.M., R.A Bressan, JK, Zhu. y H.J. Bohnert. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity *Annual Review of plant physiology and plant Molecular Biology*, 51: 463-499.

Hakim, M., and L. Rhaman. 1992. Tolerance of some tomato cultivars to salinity. *Acta Hort* 323: 183-189.

Hayward, H.E. and C. R. Wadleigh.1949. Plant growth on saline and alkaline soils. *Adv. Agro.* 1:1-38

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.

Im-Erb, R. y P. Pongwichian. 2003. Salt-affected Soils in Thailand. Workshop on the Management of Salt-affected Soil. Department of Agriculture. Bangkok Thailand. 13.

Jacobsen, S.E. and A.B. Bach, 1998. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Seed Science & Technology*. Vol. 26, N ° 2, pp. 515-523.

Jiménez, H.Y. Carvajal, A. Calero y G. Romero. 2010. Salt-affected soils and climate change in the Valle del Cauca, Colombia. *En Proceedings of the Global Forum on Salinization and Climate Change*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Valencia, España. pp. 34-40.

Khodarahmpour, Z. 2012. Evaluation of salinity effects on germination and early growth 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.

Khan, M. y I, Ungar. 1997. The Effect of salinity and temperature on the germination of polymorphic seeds and growth of *Atriplex triangularis* Willd. *American Journal of Botany* 71(4):481-489.

Kefu, Z., F. Hai, and I.A. Ungar, 2002. Survey of halophyte species in China. *Plant Sci.*, 163(3), 491–498

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.

Lerner, H. 1985. Adaptation to salinity at the plant cell level. *Plant and Soil* 89: 3-14.

Lamz, A y M. González. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Revista "Cultivos Tropicales" (cultrop)*. La Habana, Cuba. 34 (4): 31-42.

Mayer, A. M. and A. Poljakoff. 1975. *The germination of seed*. Second Edition. Pergamon Press. Oxford. pp 153-178.

Mizrahi, Y.E., V. Taleisnik, Y. Kagan-Zur, Y. Zohar, R. Offenbach, E. Matan and R. Golan. 1988. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113: 202-205.

Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25, 239–250.

Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167(3): 645-660.

Munns, R. and M, Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.

Osorio, J. E. 1995. Determinación de la tolerancia de la (*Kochia scoparia* L.) a tres tipos de sales y cinco presiones osmóticas en su etapa de germinación. Tesis de licenciatura. Ingeniero Agrónomo Zootecnista UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. 85 p.

Porta C., R López-Acevedo. y L. De., Roquero. 1999. Edafología. Mundi-Prensa, Madrid, p454; 657-705.

Pitman M. y A. Läuchli. 2002. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. En *Salinity: environment-plant-molecules*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands: 3-20.

Redondo, G. S, N. S Mateos, C Wharmby, C.J., Luque, JM Castillo, T., Luque. 2007. Bracteoles affect germination and seedling establishment in a Mediterranean population of *Atriplex portulacoides*. *Aquat Bot*;86(1):93-96.

Romero Aranda, R. Soria, T. Cuartero, J. 2001. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science* 160: 265-272.

Ruiz, M. y O. Terenti. 2012. Germinación de cuatro pastos bajo condiciones de estrés salino. *Phyton*. 81(2):169-176

Rhoades, J.D., and J. Loveday. 1990. Salinity in irrigated agriculture. pp.1089–1142, In: *Irrigation of agricultural crops*. Eds. B.A. Stewart, D.R. Nielsen, Monograph, ASA, Madison, WI.

Serrano, B. 1996. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento y desarrollo de algunos cultivares y portainjertos de vid. Tesis de Maestría. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Cabudare. Venezuela.

SEMARNAT y SAGARPA. 2010. Salinidad del suelo. (<http://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/indice/publicacionesnayarit/FOLLETOS%20Y%20MANUALES/FOLLETOS%20IMTA%202009/folleto%20%20salinidaddelsuelo.pdf>)

Singh, K. N., R. Chatrath. 2001. Salinity Tolerance, Chapter 8. pp: 101-111. In: Application of Physiology in Wheat Breeding. M.P., J.I. Ortiz-Monasterio, and A. McNab (eds.). México, D.F.: CIMMYT.

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.

Tanwar, B. S. 2003. Saline water management for irrigation. International Commission on irrigation and drainage. New Delhi, India. 140 p.

Tester, M. and R. Davenport. 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. Ann. Bot. 91(5):503-527.

Tanji, K. 2002. Salinity in the soil environment. In: Salinity: environment-plants molecules. *En* Salinity. Environment-plant-molecules. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 21-51.

Tobe, K., X. Li. Y K. Omasa. 2000. Seed germination and radicle growth of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae). Annals of Botany 85:391-396.

Ungar I. 1987. Population ecology of halophyte seeds. *Bot Review.*;53(1):301-334.

Villa, C. M., V. E. A. Catalán, I. M. A. Inzunza. Y A. L, Ulery. 2006. Absorción y translocación de sodio y cloro en plantas de chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas con estrés salino. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(1):79-88.

Wallace A, EM Rommery, RT Moeller. 1982. Sodium relations in desert plants: Effect of sodium chloride on *Atriplex polycarpa* and *A. canescens*. *Soil Sci.*;134(1):65-68.

Zhu J. K. 2001. Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci.* 2001;6(1):66-71.

ANEXOS

Figura 1. Vigor de germinación, germinación y plántulas anormales, obtenidas de semillas tratadas con NaCl a diferentes concentraciones.

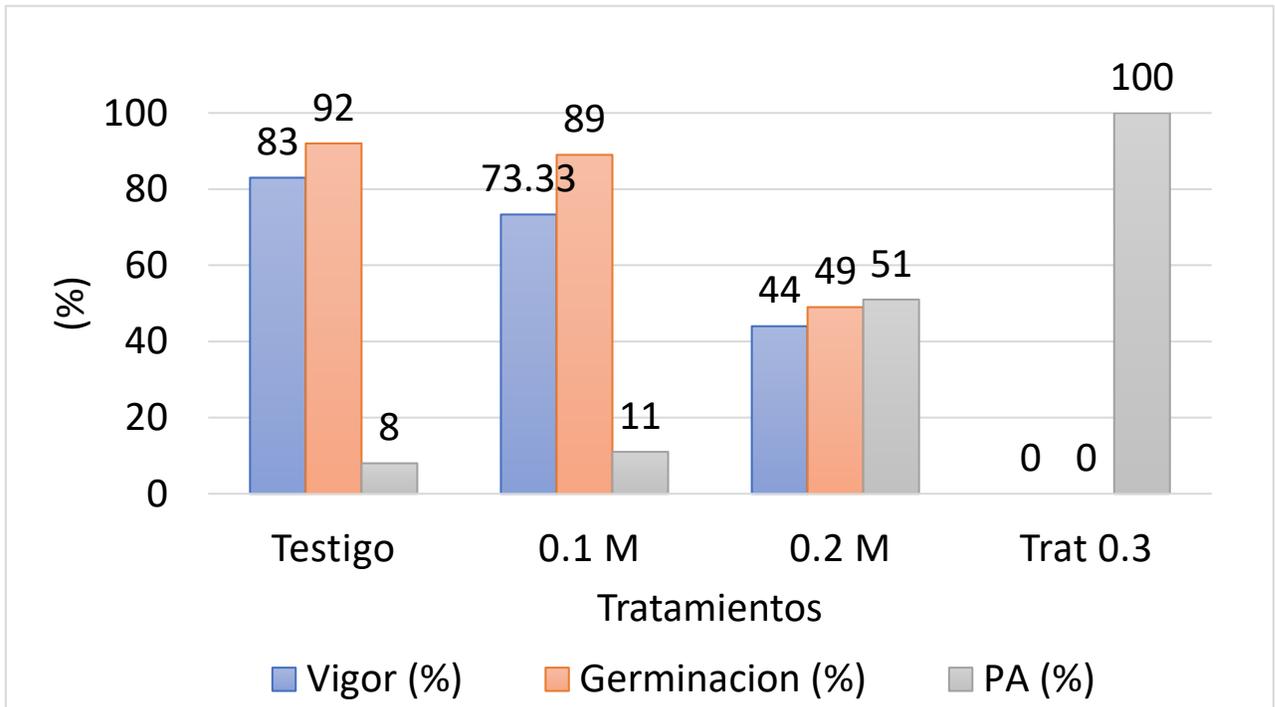


Figura 2. Peso seco de plántula, obtenidas de semillas tratadas con NaCl a diferentes concentraciones.

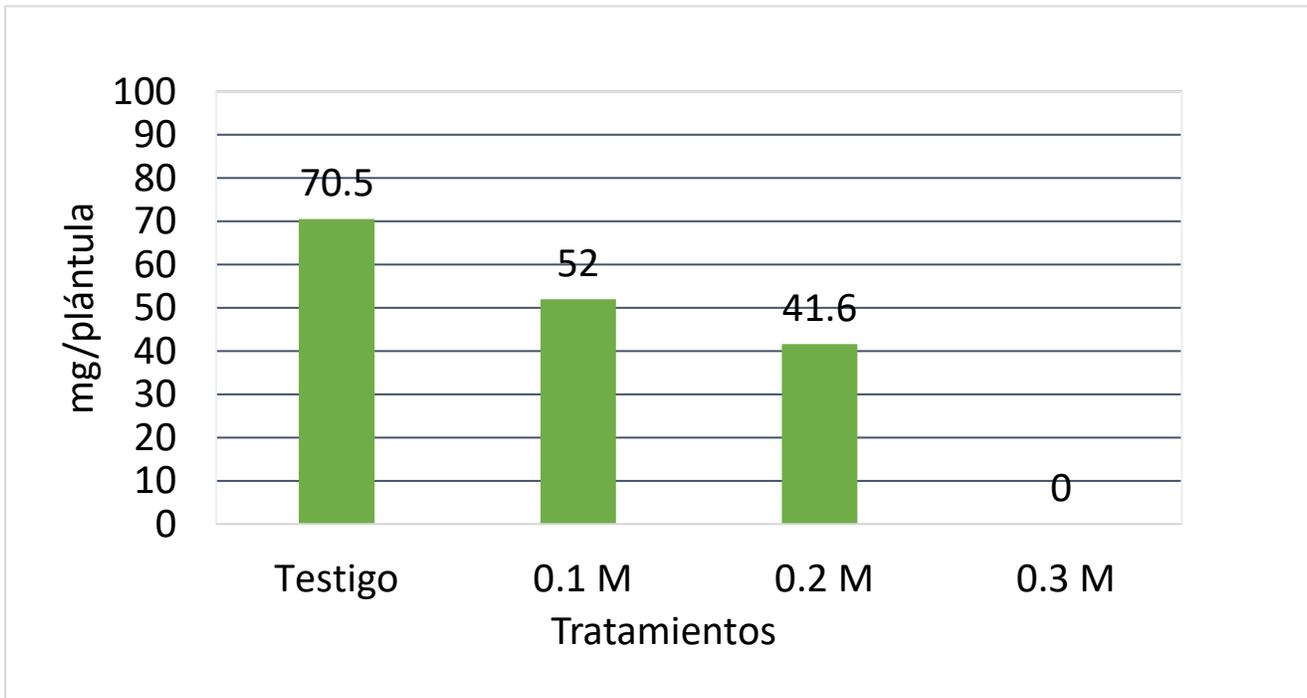


Figura 3. Efecto de NaCl sobre el desarrollo de longitud de plúmula y radícula.

