

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Respuesta a Tratamientos de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  Durante la Fase de Imbibición en Semillas  
de Pepino (*Cucumis sativus*)

Por:

**BRENDA MARIANA LEÓN AMBROSIO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Respuesta a Tratamientos de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  Durante la Fase de Imbibición en Semillas  
de Pepino (*Cucumis sativus*)

Por:

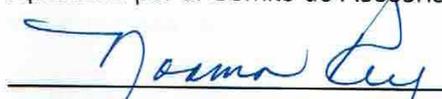
**BRENDA MARIANA LEÓN AMBROSIO**

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

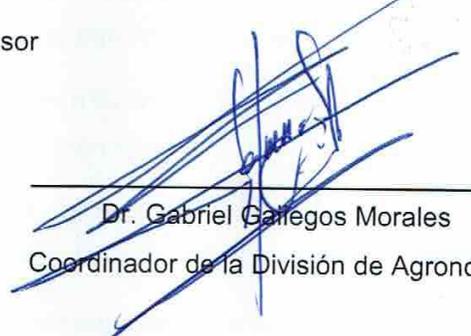
Asesor Principal

  
Dr. Neymar Camposeco Montejo

Coasesor

  
Dr. Arturo Mancera Rico

Coasesor

  
Dr. Gabriel Garregos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2019.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A dios** por haberme dado la vida y por haberme permitido culminar la meta que algún día me propuse, por ser mi guía durante todo mi camino. Gracias

**A mis padres** por haberme apoyado siempre, por todas esas palabras y consejos que me han servido y me seguirán sirviendo toda mi vida, gracias por todo su amor y cariño.

**A mi hermano** por todo el amor que me brinda, el apoyo incondicional a pesar de su discapacidad. Te amo.

**A Francisca Juárez** por todos estos años de apoyo incondicional, esos regaños, por no querer hacer nada, risas, tonterías, sobre todo por el gran cariño.

**A mis abuelos** por todo su apoyo, cariño y consejos que me han permitido lograr esta meta.

**A Doña Elisa** por haber sido una segunda madre para mí y sin embargo por siempre haberme abierto las puertas de su hogar, sobre todo por su gran cariño.

**A mis compas Selene y Gollo** por toda su amistad, risas, carcajadas, tonterías y su gran apoyo.

**A todo el resto de mis amigos: Dana, Jehú, Ernesto, Karla** por haber estado siempre para mí, por toda esa amistad y cariño.

**A mi asesora la Dra. Norma Angélica Ruiz Torres** por todo su apoyo, comprensión, paciencia para lograr culminar satisfactoriamente mi formación.

**Al Ing. Gustavo Alfonso Burciaga Vera** por todos sus consejos, regaños, apoyo incondicional y por su gran cariño.

**A mi ALMA MATER** por haberme abierto el arco y la oportunidad de haberme formado como profesionista.

Mis más sinceros agradecimientos a todos ustedes, Dios los bendiga.

## **DEDICATORIA**

A mis padres **MARIANO LEÓN JIMÉNEZ Y FRANCISCA AMBROSIO RAMOS**

No encuentro palabras para agradecerles por todo su amor y confianza que me han brindado en todo este tiempo, consejos que han valido la pena en todos los días de mi vida, sin duda los llevo en todo momento, gracias por todo su apoyo, fueron tantos sacrificios que han valido la pena con el simple hecho de haberme querido dar estudios que he culminado satisfactoriamente. Gracias por todo.

A mi hermano **BRANDOL YAHIR LEÓN AMBROSIO**

Gracias por todo tu amor y apoyo hermano sé que nunca entenderás cada una de mis palabras y no sabes lo mucho que me duele, pero déjame decirte que no importan las palabras, sé que te he demostrado todos los días de mi vida lo mucho que me importas y que por ti salí adelante en los días más difíciles, eres tú las fuerzas para no rendirme. Te amo hermano.

A MIS ABUELOS **JUAN AMBROSIO PEREZ Y AGUSTINA RAMOS ARENAS**

He logrado lo que ustedes con ansias anhelaban, les agradezco por todas sus sabias palabras, por todo ese amor y apoyo que siempre me han brindado y que gracias a ellas pude llegar a la meta.

A **FRANCISCA JUAREZ LORENZO**

Te agradezco por todas las cosas que has hecho por mí por el gran apoyo incondicional, por esos consejos y risas que nunca hicieron falta durante todos estos años, simplemente no encuentro palabras para decirte lo mucho que te agradezco.

A la Dra. **NORMA ANGÉLICA RUIZ TORRES**

Quien me brindó su apoyo para poder realizar este gran trabajo, además por haberme brindado su valioso tiempo en atender cada una de mis preguntas y dudas, tan solo por haberme asesorado en este trayecto de mi formación, no sabe cuánto admiro su profesionalismo y tanta inteligencia, gracias por haberme brindado su amistad.

Al Ing. **GUSTAVO ALFONSO BURCIAGA VERA**

Por haberme brindado ese cariño como un segundo padre, agradezco por sus sabios consejos, regaños que han valido la pena y por esa gran amistad y confianza que me ha brindado en este trayecto.

**A Doña Elisa**

Por ser una segunda madre para mí, cariño incondicional y por esos regaños y llamadas de atención que nunca faltaron en usted, tan solo por el hecho de aceptarme como una integrante más en su familia.

A mis amigos **SELENE, GOLLO, DANA, JEHU, ERNESTO y KARLA**

Sin duda los mejores amigos no encuentro palabras para decirles lo mucho que los quiero y lo importante que son para mí, gracias por haber estado cuando más necesitaba de alguien de ustedes, mil gracias por toda su amistad incondicional y salud por todas esas tonterías y risas.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
Objetivo .....	4
Hipótesis.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Salinidad.....	5
Salinización .....	6
Efecto de la salinidad en los cultivos .....	7
Efecto de la salinidad en la germinación .....	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
Variables evaluadas .....	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	12
CONCLUSIONES .....	20
BIBLIOGRAFÍA.....	21
ANEXOS.....	30

## LISTA DE CUADROS

**Cuadro 1.** Análisis de varianza para variables evaluadas en el ensayo de germinación de semillas de pepino (*C. sativus*), con diferentes concentraciones de sulfato de sodio..... 13

**Cuadro 2.** Comparación de medias de las variables evaluadas en el ensayo de germinación con semillas de pepino (*Cucumis sativus*), con diferentes concentraciones de sulfato de sodio..... 17

## RESUMEN

El ensayo se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en el Laboratorio de Fisiología de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS).

En este estudio se imbibieron por 22 h semillas de pepino (*Cucumis sativus*) de la variedad SMR 58, para lo cual se prepararon soluciones a diferente concentración molar, estableciendo 7 tratamientos (0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.8 y 1.0 M) con 3 repeticiones cada uno; colocándolas en cajas de Petri con 75 semillas añadiendo 30 mL de cada solución, mientras que el testigo se le agregó 30 mL de agua destilada.

Se llevó a cabo la siembra entre papel Anchor, humedeciendo con agua destilada, sembrando las semillas en forma horizontal. Posteriormente se llevaron a la cámara de crecimiento a una temperatura de 25 grados Celsius, con la finalidad de medir el efecto de las diferentes concentraciones de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , en el vigor de germinación y en el desarrollo de plántulas. Evaluando las siguientes variables: vigor de germinación al primer conteo, germinación en el segundo conteo, plántulas anormales, semillas sin germinar, longitud de radícula, longitud de vástago 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).

Los resultados indican que, al incrementar los niveles de salinidad, se redujo el porcentaje de vigor de germinación y de germinación. Se afectó de manera negativa el crecimiento de radícula y de vástago, y se disminuyó el peso seco de plántula. El impacto que el estrés salino tiene sobre el crecimiento y desarrollo vegetal (germinación, emergencia, establecimiento, crecimiento y productividad) se debe a dos efectos: el osmótico, que dificulta la absorción de agua por la planta y el iónico atribuido a la toxicidad de los iones responsables de la salinización.

## INTRODUCCIÓN

La salinidad y sodicidad son condiciones de algunos suelos que limitan la producción agrícola ya que provocan que se vuelvan infértiles e improductivos, causando afectación para la agricultura mundial, principalmente en las regiones áridas y semiáridas (Zahran, 1990; Liang *et al.*, 2005; Corwin *et al.*, 2007). Según Rhoades y Loveday (1990), los daños globales por suelos ensalitrados abarcan más de 20 millones de ha. 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 1 millón de ha (Fernández, 1990; Serrato-Sánchez *et al.*, 2002).

La salinización puede darse de forma natural, cuando se trata de suelos bajos y planos, que son inundados por ríos o arroyos; o en aguas subterráneas poco profundas que ascienden por capilaridad conteniendo sales disueltas; por sales disueltas en las aguas de escorrentía; y en las zonas costeras, por efecto del mar, a partir del nivel freático salino y por la contribución del viento.

Este problema se puede intensificar con otras fuentes adicionales de electrolitos, como el uso de fertilizantes y la calidad del agua de riego. La significación relativa del aporte de cada fuente suministradora de sales, depende de las condiciones del suelo, la efectividad del drenaje, la calidad del agua de riego, la sobreexplotación del manto y las prácticas de manejo agronómico. Entre los estados con mayor afectación por la salinización causada por malas prácticas agrícolas están Sinaloa (3.5 %), Guanajuato (3.3 %) y Tamaulipas (2 %). (SEMARNAT-CP, 2002).

En México, la distribución y extensión de suelos con problemas de sales se está incrementando en áreas de riego de las zonas áridas (Ortiz, 1992). De forma simultánea, la calidad del agua de riego en estas áreas es deteriorada progresivamente debido al exceso de sales (Pulido, 1994); aunado a esto, cuando existe un mal manejo del agua y del suelo, desatendiendo los factores promotores de acumulación de sales, el proceso de salinización de los suelos se acelera y agrava (Rhoades, 1990). Esto trae como consecuencia un deterioro

progresivo de los suelos por salinización, lo cual repercute en una disminución de la productividad de éstos y del rendimiento y de la calidad de las cosechas (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2002; Carter, 2002), así como en un incremento de los impactos negativos sobre el ambiente y el nivel socioeconómico de la población (Sharma *et al.*, 1995).

## **OBJETIVO**

Determinar el efecto y el nivel de tolerancia a estrés salino en el proceso de germinación en semillas de pepino variedad SMR 58, con diferentes concentraciones de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

## **HIPÓTESIS**

Las semillas de pepino variedad SMR 58, toleran la presencia de sales de sulfato de sodio durante el proceso de germinación.

Las semillas de pepino variedad SMR 58, no toleran la presencia de sales de sulfato de sodio durante el proceso de germinación.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### SALINIDAD

La salinidad es un ejemplo de degradación química del suelo que presenta cambios significativos en su comportamiento físico. La distribución de sales en el suelo es heterogénea porque éste es un sistema complejo y variable en el espacio y tiempo a diferentes escalas. El patrón de la variabilidad del contenido de sales cambia en función de la estación del año, aumentando su concentración en la temporada de sequía, lo cual afecta el estado físico de la superficie del suelo (Szabolcs, 1979; Sumner y Naidu, 1998), disminuyendo drásticamente su infiltrabilidad. En estas circunstancias, resulta difícil monitorear la composición química del suelo con la precisión aceptable, así como recopilar la información a diferentes escalas espaciales. Un estudio multitemporal de la salinidad requiere abordar un gran lapso de tiempo para ser representativo de las tendencias y la magnitud de los procesos de degradación, así como para definir los rasgos básicos de la dinámica, extensión y grado de salinización de los suelos (Schmid *et al.*, 2005).

Los problemas por salinidad aparecen también cuando se concentran sales solubles procedentes del regadío en suelos productivos, proceso que se denomina salinización secundaria. Este fenómeno afecta a la humanidad desde el inicio de la agricultura, y existen registros históricos de migraciones provocadas por la salinización del suelo cultivable. La actividad antrópica ha incrementado la extensión de áreas salinizadas al ampliarse las zonas de regadío con el desarrollo de grandes proyectos hidrológicos, que han provocado cambios en el balance de agua y de sales de los sistemas hidrogeológicos. La proporción de suelos afectados por salinidad se cifra en un 10 % del total mundial, y se estima que entre 25 y 50 % de las zonas de regadío están salinizadas (Rhoades *et al.*, 1992).

La salinidad inhibe el crecimiento de las plantas, debido a déficit hídrico, toxicidad iónica, desequilibrios nutricionales o a una combinación de esos factores (Läuchli y Epstein, 1990; Cramer y Bowman, 1994).

Asimismo, el problema de la salinidad crece año con año en las regiones áridas debido, principalmente, a la baja disponibilidad de agua, al mal manejo de ella y a la aplicación excesiva de fertilizantes. La salinidad disminuye la absorción de nutrimentos como  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $NO_3^-$  (Shannon et al., 1994; Yahya, 1998; Al-Karaki, 2000); esto se debe a una restricción en la actividad del transportador del ion, a la competencia entre los transportadores de iones y a los cambios en las propiedades químicas que ocurren en el plasmalema de las células de las raíces que alteran la permeabilidad de ésta.

El incremento de los suelos salinos en todo el mundo limita la producción de cultivos para la alimentación humana y animal, estas áreas se consideran marginales, en un mundo en donde el espacio y la alimentación constituyen grandes limitaciones (Mesa, 2003).

### **SALINIZACIÓN**

La salinización es el proceso de acumulación de sales en el perfil del suelo, distinguiéndose dos tipos: primaria y secundaria (Amezketeta, 2006 y Zhou, 2013). La primera es resultado del proceso natural en zonas donde el material parental es rico en sales y la tasa de evapotranspiración es mayor que la tasa de precipitación, además de patrones naturales de drenaje o rasgos topográficos, así como la estructura geológica y la distancia al mar. Por su parte, la acumulación de sales que se produce como consecuencia de las actividades antrópicas no sustentables se denomina salinización secundaria. Esta a su vez se divide en dos tipos: de tierras secas no irrigadas o por irrigación (Rengasamy, (2006); Thomas (1993) y Zhou (2013). La salinización de tierras secas no irrigadas se produce a causa del reemplazo de la vegetación nativa perenne de raíces profundas por cultivos anuales de raíces poco profundas. La reducción de la evapotranspiración altera el balance natural del agua y produce un ascenso del nivel freático. La acumulación de sales provenientes del agua subterránea dependerá de las propiedades hidráulicas del suelo y de las condiciones climáticas. Por otra parte, la salinización por irrigación se produce como consecuencia del riego excesivo y la falta de drenaje adecuado. Este proceso

puede ser acelerado por la baja calidad del agua de irrigación, baja conductividad hidráulica y condiciones de alta evaporación. En las zonas áridas y semiáridas, al irrigar se varía el régimen de humedad edáfica y el agua que no es utilizada por los cultivos escurre sub-superficialmente (Abraham, 2000).

### **EFEECTO DE LA SALINIDAD EN LOS CULTIVOS**

El estrés salino causa reducción en el crecimiento y en el desarrollo de las plantas porque estas pueden sufrir tres tipos de estrés. Asimismo, se plantea que, como consecuencia de la combinación de estos estreses, un cuarto estrés se manifiesta en plantas expuestas a condiciones de salinidad:

1. Inducción de estrés hídrico.
2. Toxicidad ion específica, debido la alta concentración de sodio y cloruro.
3. Desbalance nutricional, debido a los altos niveles de sodio y cloruro que reducen la captación de  $K^+$ ,  $NO^-$ ,  $PO_4^{3-}$ , etc.
4. Incremento de la producción de especies reactivas de oxígeno que dañan las macromoléculas (Abraham, 2014).

Según García y Jauregui (2008), la salinidad es uno de los principales factores abióticos que limitan la productividad agrícola, debido a que la inmensa mayoría de las plantas cultivadas son sensibles a esta condición. El efecto más común sobre las plantas, es la reducción del desarrollo, debido a una disminución del potencial osmótico del medio de crecimiento y, en consecuencia, de su potencial hídrico; la toxicidad iónica normalmente es asociada con la absorción excesiva de  $Na^+$  y de  $Cl^-$  y un desequilibrio nutricional debido a la interferencia de los iones salinos con la absorción de los nutrientes esenciales que requieren la planta.

Leidi y Pardo (2002) mencionan que el efecto evidente ante el estrés salino en la reducción en la capacidad de absorción de agua se puede manifestar en la reducción de expansión foliar y en la pérdida de turgencia, es decir, una célula vegetal expuesta a un medio salino equilibra su potencial hídrico perdiendo agua, lo que produce la disminución del potencial osmótico y de la turgencia.

Esta situación genera señales químicas (aumento del Ca libre intracelular, síntesis de ABA, entre otros) que desencadenan posteriores respuestas adaptativas (Hasegawa *et al.*, 2000). Aparentemente, los cambios anatómicos son respuestas morfogenéticas de la planta para contrarrestar los efectos negativos de las sales, cambios que pueden ser importantes en la eficiencia del uso del agua y la tolerancia de la planta al estrés salino (Pio *et al.*, 2001).

La toxicidad metabólica del Na<sup>+</sup> está asociada con alteraciones en la membrana celular y con la competencia por los sitios de enlace del K<sup>+</sup>, esencial para el metabolismo. Una alta concentración de Na<sup>+</sup> desplaza los iones de Ca<sup>++</sup> de los sitios de enlace de la membrana celular en la raíz y altera su permeabilidad, lo que causa una salida de K<sup>+</sup> de las células y favorece la entrada de Na<sup>+</sup> (Dood *et al.*, 2010).

Las altas concentraciones de Na<sup>+</sup> deterioran la selectividad de la membrana y favorecen la acumulación pasiva de Na<sup>+</sup> en raíces y tallos, ya que las elevadas concentraciones de sales en el suelo inhiben el crecimiento de las plantas de diferentes formas, causando disminución del contenido de agua en la planta, acumulación de iones en cantidades tóxicas y reducción de la disponibilidad de nutrientes (Madueño-Molina *et al.*, 2006).

La problemática que genera el estrés salino apunta a dificultades impuestas por la mayor osmolaridad del suelo y el daño celular infligido por la excesiva acumulación de iones en los tejidos vegetales (Reyes *et al.*, 2008).

### **EFEECTO DE LA SALINIDAD EN LA GERMINACIÓN**

Existen diversos daños que provoca el estrés por salinidad en las diferentes especies cultivadas, se destacan como ejemplos los siguientes (Pares *et al.*, 2008), la salinidad origina reducción del crecimiento de los cultivos al afectar negativamente la germinación y/o 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: fotosíntesis, conductancia estomática, ajuste osmótico, absorción de iones, síntesis de proteínas, síntesis de ácidos nucleicos, actividad enzimática y balance hormonal; además puede afectar el

proceso de transporte de agua e iones, lo que promueve toxicidad iónica y desbalance nutricional. En consecuencia, las variables de crecimiento vegetativo tales como masa seca, altura de la planta y área foliar, entre otras, son severamente afectada por la presencia de sales.

Uno de los primeros efectos fisiológicos que provoca el estrés salino en las plantas es la reducción del crecimiento debido a una disminución en la capacidad de absorción de agua, por lo que este se convierte en un buen indicador para evaluar la capacidad de algunos productos para proteger a las plantas contra este tipo de estrés (Núñez *et al.*, 2007).

Este efecto osmótico consiste en que altas concentraciones de sales incrementan las fuerzas potenciales que retienen al agua en la solución del suelo y hace más difícil la extracción del agua por las raíces de la planta, incrementando la energía necesaria para su absorción (Santamaría-Cesar *et al.*, 2004).

En cuanto a las adaptaciones de las plantas se mencionan las siguientes (Alcaraz Ariza):

Fisiológicas: Retraso de la germinación y/o maduración ante condiciones desfavorables, acortamiento de la etapa de crecimiento, engrosamiento de cutículas para para reducir la transpiración, selectividad a iones específicos para compensar desequilibrios.

Morfológicas: Disminución del tamaño foliar para reducir la transpiración, succulencia en tallos y/u hojas, reducción en el número de estomas, presencia de tricomas y glándulas excretoras de sal.

Fenológicas: Retraso de la floración

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de fisiología de semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio, en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Semillas de pepino (*Cucumis sativus*) de la variedad SMR 58 se imbibieron en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (peso molecular 142.04 g/mol). Para lo cual se prepararon diferentes soluciones a diferente concentración Molar: 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.8 y 1.0. Las semillas (75) se colocaron en 30 mL de solución de cada tratamiento en cajas de Petri, por 22 h. Para el testigo se utilizó 30 mL de agua destilada.

Transcurrido el tiempo, se llevó a cabo la siembra de semillas entre hojas de papel Anchor, siendo estas humedecidas con agua destilada. Se establecieron tres repeticiones de 25 semillas cada una. Las semillas se sembraron en una línea horizontal con el embrión hacia abajo, posteriormente se procedió a enrollar el papel Anchor en forma de “taco”, luego se marcó cada taco con lápiz tinta y se pusieron en bolsas de plástico. Las bolsas se acomodaron en una charola tipo canasta de plástico. En seguida las canastas se llevaron a la cámara de crecimiento marca Thermo Scientific, a una temperatura de 25 grados Celsius. Los cuidados subsecuentes fueron revisar la humedad de los tacos y aplicar agua, cuidando de no mover las semillas.

### **Variables evaluadas**

Vigor de germinación: es el primer conteo de plántulas normales, se realizó 4 días después de la siembra y se expresó en porcentaje, esta evaluación es un indicador del vigor que posee la semilla para germinar en menor tiempo y establecerse en condiciones de campo. Se entiende por plántulas normales aquellas que presentan el potencial para continuar desarrollándose en plantas completas, esto es, con todas sus estructuras, cuando crecen bajo condiciones favorables de humedad, temperatura y luz. El vigor se expresó en porcentaje.

Germinación: correspondió al segundo conteo al octavo día; al final del bioensayo se realizó un conteo de plántulas normales, considerando aquellas que constan de todas las estructuras bien desarrolladas y se expresó en porcentaje.

Plántulas anormales: Son aquellas que no mostraron potencial de desarrollo y que presentan deformaciones en el tallo o radícula.

Semillas sin germinar: Se consideró semillas sin germinar aquellas aparentemente viables que no lograron el desarrollo de sus estructuras.

Longitud media de vástago (LV) y longitud media de radícula (LR). Se midieron todas las plántulas normales, esto es, que no presentaron rasgo alguno de anomalía y se expresó en cm.

Peso seco de plántula (PS). Se tomaron las plántulas normales de tres repeticiones por cada tratamiento y se colocaron en bolsas de papel de estraza, previamente identificadas, estas se introdujeron en una estufa de secado marca Riossa modelo H-48, a una temperatura de 72 °C por un periodo de 24 horas. Posteriormente se pesaron y se expresó en mg/plántula.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de varianza del ensayo de germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*), para la fuente de variación tratamientos se observaron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para las variables evaluadas, (VGER, GERMINACIÓN, PA, LV, LR y PS) con excepción de la variable por ciento de semilla sin germinar (SSG) (Cuadro 1). Lo anterior indica la respuesta diferencial de la semilla a los tratamientos aplicados durante la imbibición.

En el Cuadro 2 se presenta la comparación de medias para las variables de germinación y vigor. Los resultados indican que el uso de diferentes concentraciones de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , al incrementarlas redujeron el vigor de germinación y la capacidad germinativa. La germinación es el proceso que se lleva a cabo al someter las semillas a humedad, sin embargo, al tener un ambiente con diferentes niveles de salinidad, la respuesta presentó un efecto negativo, esto es, al aumentar el porcentaje de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  se redujo el vigor de germinación y el porcentaje de germinación. Mayor porcentaje de vigor de germinación se obtuvo en el testigo (83 %), pero al incrementar la concentración a 0.1 M se redujo en 15% (68%). No obstante, el mayor decremento se obtuvo al incrementar la concentración a 0.8 M.

En el tratamiento correspondiente a la solución 1.0 M, se observó un ligero incremento con respecto la concentración anterior (0.8 M), posiblemente debido a que las plántulas sometidas a este tratamiento desencadenaron algún mecanismo metabólico e iniciaron un proceso de adaptación al ambiente salino.

Para la variable por ciento de germinación, se observó un patrón de respuesta muy similar, es decir, al incrementar la concentración de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , se redujo el número de plántulas normales. Se consideran plántulas normales aquellas cuyo aspecto pone de manifiesto su capacidad para continuar el desarrollo de manera normal, presentando los órganos esenciales en buen estado para continuar su crecimiento (Peretti, 1994). Presentan un sistema radicular bien desarrollado, un eje embrionario crecido y hojas primarias verdes fotosintéticas.

**Cuadro 1.** Análisis de varianza para variables evaluadas en el ensayo de germinación de semillas de pepino (*C. sativus*), con diferentes concentraciones de sulfato de sodio.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>VGER (%)</b>	<b>GER (%)</b>	<b>PA (%)</b>	<b>SSG (%)</b>	<b>LV (cm)</b>	<b>LR (cm)</b>	<b>PS (mg/plántula)</b>
Tratamiento	6	962.53 **	259.30 **	236.44 **	26.41 NS	153.48 **	200.61 **	9.27 **
Error	6	59.42	50.28	45.71	14.47	10.50	10.37	1.36
C V (%)	6	14.87	8.94	50.70	51.21	37.33	26.61	6.80

\*\*= Altamente significativos ( $P \leq 0.01$ ), NS= No significativos, FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, VGER=Vigor de germinación, GER= Germinación, PA= Plántulas anormales, SSG= Semilla sin germinar, LV= Longitud de vástago, LR= Longitud de radícula, PS= Peso seco de plántula y CV= Coeficiente de variación.

Para esta variable (GER), el testigo presentó el mayor porcentaje de germinación con 92 %, reduciéndose hasta 64 % en la concentración 1.0 M. Con respecto a la media, el testigo lo superó en 13 %.

Ayala Contreras (2015) indicó que los procesos fisiológicos de germinación y vigor, en las semillas de dos genotipos de maíz, un híbrido comercial (P2948W) y un criollo, se vieron limitados por la salinidad. Tanto el híbrido como el criollo presentaron porcentajes de germinación y vigor superior al 80 % hasta potenciales osmóticos de -0.75 M, a partir de este potencial osmótico los valores se reducen por debajo del 50%.

De acuerdo con Villa *et al.* (2006), el sodio ( $\text{Na}^+$ ) es uno de los iones dominantes en los ambientes salinos y durante todo el ciclo fenológico de las plantas (especialmente de las glicofitas), induce mal funcionamiento de sus procesos fisiológicos, ya que puede considerarse equivalente a un estrés por sequía, haciendo no disponible el 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  $\text{Na}^+$  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 salinidad origina reducción del crecimiento de los cultivos al afectar negativamente la germinación y/o 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: fotosíntesis, conductancia estomática, ajuste osmótico, absorción de iones, síntesis de proteínas, síntesis de ácidos nucleicos, actividad enzimática y balance hormonal (Mizrahi *et al.*, 1988; Bethke

& Drew 1992; Hakim & Rhaman, 1992), 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 consecuencia, las variables de crecimiento vegetativo tales como masa seca, altura de la planta y área foliar, entre otras, son severamente afectadas por la presencia de sales (Rush & Epstein, 1981; Alarcón *et al.*, 1993).

En el presente trabajo, en todos los tratamientos se incrementó el porcentaje de plántulas anormales y semillas sin germinar, con respecto al testigo. El mayor incremento se observó en el porcentaje de plántulas anormales, ya que se incrementó de 3 a 29 con el tratamiento 1.0 M. Las plántulas anormales presentan características como raíz primaria ausente, deforme, raíces seminales ausentes, tallos atrofiados, cotiledones deformes, rotos, necróticos y hojas primarias ausentes o reducidas de tamaño y/o deformes (Peretti, 1992).

Según la ISTA (1996), las plantas anormales provienen de semillas de calidad media y baja, habitualmente presentan altos porcentajes de plántulas con defectos graves en alguna de sus estructuras o bien ausencia de alguna estructura y sus defectos de gran magnitud afectan notablemente su normal desarrollo aun cuando las condiciones ambientales sean favorables. En el campo, las plántulas anormales no prosperan, ya que no cuentan con los medios para desarrollarse con la misma velocidad que las plántulas normales y finalmente mueren.

Las plántulas anormales pueden presentar distintos tipos de daños severos e irreparables o bien presentar un desarrollo débil y/o estructuras esenciales deformadas o desproporcionadas. Este tipo de plántulas (anormal) pueden ser deformadas, fracturadas, ahiladas, vítreas, blanca/amarilla, desbalanceadas o puede liberar los cotiledones del tegumento antes que la raíz primaria. Los síntomas de fitotoxicidad sobre las plántulas son considerados como anormalidades, así como también la infección causada por patógenos portados por la propia semilla (infección primaria). Por otra parte, aquellas plántulas

conformadas por la fusión de dos plántulas en alguna de sus estructuras son clasificadas también como anormales (Gallo *et al.*, 2018).

En cuanto a las variables longitud de vástago y longitud de radícula, también respondieron de manera negativa a los tratamientos a semillas durante la imbibición con soluciones salinas. Para longitud de vástago, se observó una reducción de 4.46 cm entre el testigo y el tratamiento con la solución 0.1 M. Una respuesta similar se encontró con 0.2 M, ya que la longitud de vástago presentó únicamente 6.92 cm, siendo estadísticamente igual al tratamiento 0.1 M. Con respecto a la diferencia entre el testigo y el valor medio de los tratamientos, se obtuvo una diferencia de 2.07 cm.

Con respecto a la variable longitud de radícula, igualmente los tratamientos a semilla modificaron o redujeron el crecimiento al incrementar la concentración de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , se observó un valor promedio de 15.25 cm en las plántulas testigo, mientras que en el tratamiento 1.0 M se obtuvo únicamente 10.71 cm, esto representa una reducción de 4.54 cm.

La variable peso seco de plántula, extrañamente presentó mayor valor al tratar la semilla con la solución 0.5 M superando al testigo en 2.92 cm. El peso seco representa la acumulación de materia seca durante la germinación y desarrollo de plántula, siendo un valor indicativo del vigor de la misma.

El estrés por salinidad, disminuye la división celular epidérmica de la raíz y la tasa de alargamiento, reduciendo el crecimiento de raíces primarias e inhibiendo la iniciación lateral (Jung y McCouch, 2013). Las raíces presentan halotropismo negativo, es decir crecen lejos de la sal. Esta respuesta de crecimiento asimétrica se inicia por un gradiente positivo de auxinas, el cual se redistribuye activamente al lado de la raíz frente a la sal (Galvan-Ampudia *et al.*, 2013; Rogers y Benfey, 2015). Por lo tanto, los sistemas radiculares son clave para mejorar la tolerancia a las sales, ya que incrementan la absorción del agua y nutrientes, y limitan la adquisición de sales (Jung y McCouch, 2013).

**Cuadro 2.** Comparación de medias de las variables evaluadas en el ensayo de germinación con semillas de pepino (*Cucumis sativus*), con diferentes concentraciones de sulfato de sodio.

<b>Tratamientos (M)</b>	<b>VGer (%)</b>	<b>GER (%)</b>	<b>PA (%)</b>	<b>SSG (%)</b>	<b>LV (cm)</b>	<b>LR (cm)</b>	<b>PS (mg/plántula)</b>
0.0	83 a	92 a	3 b	5 a	10.75 a	15.25 a	17.32 abc
0.1	68 ab	84 ab	9 b	7 a	6.29 d	10.68 cd	18.15 ab
0.2	55 bc	81 abc	16 ab	3 a	6.92 d	10.11 d	15.80 bc
0.3	35 c	79 abc	11 ab	11 a	9.70 ab	13.25 b	17.29 abc
0.5	37 c	71 bc	19 ab	11 a	8.91 bc	11.96 bc	20.24 a
0.8	39 c	84 ab	7 b	9 a	9.26 abc	11.55 bcd	14.84 c
1.0	47 bc	64 c	29 a	7 a	7.95 cd	10.71 cd	16.25 bc
Media	52	79	13	7.42	8.68	12.10	17.13
Tukey	21.49	19.77	18.85	10.60	1.75	59.79	3.25

Valores con la misma literal dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $\leq 0.01$ ), VGer= Vigor de germinación, GER= Germinación, PA= Plántulas anormales, SSG= Semilla sin germinar, LP= Longitud de Vástago, LR= Longitud de radícula y PS= Peso seco de plántula.

Es importante mencionar que el crecimiento de plántulas (radícula y vástago) se toma como un dato de velocidad de crecimiento y es un atributo importante del vigor de las semillas, por lo tanto la evaluación de estas variables permite determinar la velocidad de crecimiento o la inhibición del crecimiento con respecto al testigo, en un periodo determinado (Peretti, 1992).

Un efecto reconocible del estrés por la salinidad es la reducción en el crecimiento de los brotes, que, a su vez, puede cambiar la asignación de la biomasa entre éstos y las raíces (Almeida *et al.*, 2014), y afectar la expansión celular de hojas jóvenes, lo que causa una disminución en la altura y en el área foliar (Munns y Tester, 2008); y finalmente repercute negativamente en la producción.

La salinidad induce variaciones en el índice y densidad estomática del tejido foliar en especies como *Capsicum annuum* L. y *Lycopersicon esculentum* Mill (Bethke & Drew 1992; Salas *et al.* 2001; Pares, Arizaleta, Sanabria y García 2001). Según Martín *et al.* (1994), ésta también se relaciona con cambios fisiológicos y anatómicos a nivel foliar, lo que puede ocasionar modificaciones en la frecuencia estomática de las hojas, en el espesor de la cutícula y alteraciones en la resistencia estomática al intercambio gaseoso, entre otros (Kebede *et al.* 1994). Aparentemente, los cambios anatómicos son respuestas morfogenéticas de la planta para contrarrestar los efectos negativos de las sales, cambios que pueden ser importantes en la eficiencia del uso del agua y la tolerancia de la planta al estrés salino (Shannon 1985; Pio *et al.* 2001).

Castellanos *et al.* (2000) indicaron que, aunque puede ocurrir la toxicidad por altas concentraciones de sodio, cloro u otros iones, las sales solubles comúnmente afectan el crecimiento de los cultivos debido al efecto osmótico. Este efecto consiste en que altas concentraciones de sales incrementan las fuerzas potenciales que retienen al agua en la solución del suelo y hace más difícil la extracción del agua por las raíces de la planta. Por lo anterior, no es posible evaluar el riesgo ocasionado por el alto contenido de sales solubles en los suelos y agua de riego sin considerar la susceptibilidad de los cultivos a las

sales. Por otra parte, Ayers y Westcot (1987) definen que hay problema de salinidad cuando las sales se acumulan en la zona radical a una concentración que ocasiona pérdidas en la producción debido a la disminución del crecimiento, su efecto varía con los estados fenológicos de los cultivos, siendo más notable en las primeras etapas del crecimiento.

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 & 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. Se ha reportado que la salinidad reduce la tasa de crecimiento y, consecuentemente, la producción de los cultivos a través de la disminución de la eficiencia fotosintética, ya sea por disminución de la asimilación de fotosintetizados, o posiblemente por la reducción del conjunto de nucleótidos y el gasto adicional de energía, también por declinación de la conductancia estomática o por altos niveles de los iones sodio y cloro en el tejido foliar (Bethke & Drew, 1992; Nieman *et al.*, 1998; Chartzoulakis & Klapaki, 2000). Por lo tanto, el efecto osmótico no sólo causa un simple efecto físico sobre la reducción de la presión de turgor de las células de la planta, sino que involucra alteraciones bioquímicas o fisiológicas que envuelven la expresión de los genes (Termaat *et al.*, 1985).

## CONCLUSIONES

Los resultados encontrados en este trabajo evidencian que la salinidad afecta mecanismos fisiológicos, ya que, al aumentar la concentración del  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , se redujo el porcentaje de germinación y el de vigor de las semillas de pepino de la variedad SMR 58.

El efecto de la salinidad también se observó en la reducción de la longitud de vástago y de radícula.

Las semillas sometidas a salinidad presentaron una disminución en el desarrollo de plántula, reflejándose en un menor peso seco.

En general, se observó que al aumentar la concentración de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , se afectó el metabolismo de la germinación, resultando en una reducción en el porcentaje de germinación y de vigor, reflejándose en menor desarrollo y peso seco de plántula.

Al no hacer uso de aplicaciones de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  se genera un efecto positivo en todas las variables, favoreciendo correctamente el desarrollo fisiológico de las semillas y buen crecimiento de plántulas, de acuerdo al comportamiento del testigo que presentó 92 % de germinación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, E.M. 2000. Recursos y problemas ambientales de la provincia de Mendoza. Universidad de Granada, Argentina. Vol. 1. pp. 15-24.
- Abraham, E.M., D. Soria, C. Rubío, M.C Rubío y J. Virgillito. 2014. Modelo territorial actual, Mendoza. Argentina. Subsistema físico-biológico o natural de la provincia de Mendoza. Proyecto ordenamiento territorial para un desarrollo sustentable, PID- 2009-00008 Disponible en: [www.mendoza-conicet.gob.ar/otm](http://www.mendoza-conicet.gob.ar/otm).
- Alarcón, J.M., M. Sánchez-Blanco, M. Bolarin, and A. Torrecillas. 1993. Water relations and osmotic adjustments in *Lycopersicum esculentum* and *L. pennelli* during short-term salt exposure and recovery. *Pl. Physiol* 89: 441-447.
- Alcaraz Ariza, F.J. Salinidad y Vegetacion. Geobotánica 18. Universidad de Murcia, España.
- Al-Karaki, G.N. 2000. Growth, sodium, and potassium uptake and translocation in salt stressed tomato. *J. Plant. Nutr.* 23: 369-379.
- Amezqueta, E. 2006. An integrated methodology for assessing soil salinization, a pre-condition for land desertification. *J. Arid Environ* 67(4): 594-606.
- Ayala-Contreras, C.L. 2015. Respuesta Fisiológica a Salinidad en dos Genotipos de Maíz. Tesis de Maestría en Tecnología de Granos y Semillas Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenvista, Saltillo, Coahuila. México.
- Ayers, R.S., and D.W. Westcot. 1987. Water Quality for Agriculture. FAO. Irrigation and Drainage. Paper 29. Rev. 1. Rome, Italy.
- Bayuelo-Jiménez, J.S., R. Craig, and J.P. Lynch. 2002. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seeding growth. *Crop Sci* 42: 1584-1594.

- 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. *Pl. Physiol* 99: 219-226.
- Carter, M.R. 2002. Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94: 38-47.
- Castellanos, J.Z., J.X. Uvalle-Bueno, y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª ed. Colección INCAP. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola, México.
- Corwin, D.L., J.D. Rhoades, and, J. Simunek. 2007. Leaching requirement for soil salinity control: Steady-state versus transient models. *Agric. Water Manage* 90: 165-180.
- Cramer, G.R., and D.C. Bowman. 1994. Cell elongation control under stress conditions. *Handbook of plant and crop stress*. Marcel Dekker. New York. USA 303-320 p.
- Cuero, R. 2012. Toward a complementary system of cleaner production on. *Revista del Doctorado Interinstitucional en Ciencias Ambientales* 2: 59-68.
- 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.
- Dodd, K., C. Guppy, P. Lockwood, and I. Rochester. 2010. The effect of sodicity on cotton: plant response to solutions containing high sodium concentrations. *Plant. Soil* 330: 239-249.
- Fernández, G.R. 1990. Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperacion de suelos con problemas de sales en México. *Terra* 8: 226-240.
- Galvan-Ampudia, C.S., M.M. Julkowska, E. Darwish, J. Gandullo, R.A. Korver, G. Brunoud, M.A. Haring, T. Munnik, T. Vernoux, and C. Testerink. 2013. Halotropism is a response of plant roots to avoid a saline enviroment. *Current Biology* 23: 2044-2050.

- Gallo, C., M. Arango, R. Craviotto. 2018. Actualización de criterios en la evaluación de plantulas de soja . INTA EEA OLIVEROS. 29-39.
- García, M., y D. Jáuregui. 2008. Efecto de la salinización con NaCl o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sobre la anatomía foliar en dos genotipos de caña de azúcar (*Saccharum spp*) con tolerancia salina diferencial. *Ernestia* 18(1): 89-105.
- Giron-Rios, Y., K. Oleschko-Lutkova, J.F.Parrot, J.M. Hernandez- Alcantara,E. C. García, y J.J Velazquez-Garcia. 2009. Análisis fractal de la reflectancia de los suelos salinos. *Agrociencia* 43(4): 403-416.
- Gonzáles-Romero, S.L., A.R. Quero-Carrillo, O. Franco-Mora, C. Ramírez Ayala, y H.M. Ortega-Escobar, C. Trejo-López. 2010. Efecto de la salinidad y la temperatura sobre el crecimiento del pasto Banderita (*Bouteloua curtipendula*) Michx.Torr. *Ciencias Naturales y Agrícolas* 18(1): 59-69.
- Guida-Johnson, B., E.M. Abraham, y M.A. Cony. 2017. Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 49(1): 205-215.
- Hakim, M., and L. Rhaman. 1992. Tolerance of some tomato cultivars to salinity. *Acta Hort* 323: 183-189.
- Hasegawa, P.M., R.A. Bressan, J.K. Zhu, H.J. Bohnert. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 51: 463-499.
- INECC. 2016. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Información disponible en línea: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/199514/CGACC\\_2016\\_Insumos\\_para\\_el\\_ANVCC\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_sensibilidad\\_al\\_cambio\\_climatico\\_sobre\\_los\\_suelo\\_y\\_el\\_potencial\\_agricola.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/199514/CGACC_2016_Insumos_para_el_ANVCC_Evaluacion_de_la_sensibilidad_al_cambio_climatico_sobre_los_suelo_y_el_potencial_agricola.pdf)
- INTA. (2018). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Disponible en línea: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta.actualizacion-criterios-evaluacion-plantulas-soja.pdf>

- ISSTA. 1996. Rules Proceedings of the International Seed Testing Association. Memorias de la Asociacion Internacional de Ensayos de Semillas Vol. 24.
- Jung, J.K.H., S. McCouch. 2013. Getting to the roots of it: genetic and hormonal control of root architecture. *Frontiers in plant Science* 4(186).
- Kebede, H., B. Matín, J. Nienhuis, and, G. Jung. 1994. Leaf anatomy of two *Lycopersicon* species with contrasting gas exchange properties. *Crop Sci.* 34: 108-113.
- Lauchli, A., and E. Epstein. 1990. Plant responses to saline and sodic conditions. *Agricultural salinity assessment and management. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice* 71 New York. USA . 113-137 p.
- Layne, G., J.A. N.J.R. Méndez, y F.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.
- Lamz-Piedra, A., y M.C. González-Cepero. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos tropicales* 34(4): 31-42.
- Lastiri-Hernández, M.A., D. Álvarez-Bernal, L.H, Soria-Martínez, S. Ochoa-Estrada, y G. Cruz-Cárdenas. 2017. Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de siete especies forrajeras. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(6): 1245-1257.
- Leidi, E.O., y J.M. Pardo. 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino: qué hay de nuevo. *Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias. Sevilla, España* 2: 70-91.
- Lerner, H. 1985. Adaptation to salinity at the plant cell level. *Plant and Soil* 89: 3-14.

- Liang, Y., S. Jin, M. Nikolic, Y. Peng, W. Chen, and Y. Jiang. 2005. Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. 37: 1185-1195.
- Madueño-Molina, A., D. García- Paredes, J. Martínez-Hernández, y C. Rubio-Torres. 2006. Germinación y desarrollo de plántulas de frijolillo *Rhynchosia minima* L. DC en condiciones de salinidad. Ídem 24(1): 47-54.
- Manzano-Banda, J.I., P. Rivera- Ortiz, F. Briones-Encinia, y C. Zamora-Tovar. 2014. Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el distrito de Riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. Terra Latinoamericana 32(3): 211-219.
- Mesa, D. 2003. Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 37(3): 217-226.
- 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. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol 59: 651-681.
- Nieman, R., R. Clark, D. Pap, G. Ogata, and E. Mass. 1998. Effects of salt stress on adenin and uridini nucleotide poll. J. Exp. Bot 39: 301-309.
- Orosco-Alcalá, B.E., H.G. Núñez-Paleniús, L. Pérez-Moreno, M. Valencia-Posadas, L.I. Trejo-Téllez, F.R. Díaz Serrano, J.E. Ruiz-Nieto, M.R. Abraham-Juárez. 2018. Tolerancia a salinidad en plantas cultivadas: una visión agronómica. Agroproductividad 11(7): 51-57
- Ortiz, O.M. 1992. Distribución y extensión de los suelos afectados por sales en México y el mundo. Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. De México.
- Parés, G., M. Arizaleta, M.E. Sanabria, y G. García. 2008. Efecto de los niveles de salinidad sobre la densidad estomática, índice estomático y el grosor

- foliar en plantas de *Carica Papaya L.*. Acta Botánica Venezolana 31(1): 27-34.
- Peretti, A. 1994. Manual para Análisis de Semillas. Hemisferio Sur. Argentina.
- Pio, A., C. Horts, H. Martínez, C. Martínez, P. Mosquim. 2001. Características fisiológicas de porta-enxertos de Videira em solucao salina. Sci. Agriculture 58(1): 139-143.
- Pulido, M.L. 1994. Estudio general de salinidad analizada. Anexo Técnico. Coordinacion de Tecnología de Riego y Drenaje. Subcoordinacion de Uso Efciente del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. México.
- Rengasamy, P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. J. Exp. Bot., 57(5): 1017-1023.
- Reyes, P., J.J., A.B. Murillo, G.A. Nieto, D.E. Troyo, E.I.M. Reynaldo, P.E.O. Rueda. 2013. Germinación y características de plántulas de variedades de Albahaca (*Ocimum basilicum L.*) sometidas a estrés salino. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4(6): 869-880.
- Reyes, Y., L.M. Mazorra, M. Núñez. 2008. Aspectos fisiológicos y bioquímicos de la tolerancia del arroz al estrés salino y su relación con los brasinoesteroides. Cultivos Tropicales 29(4): 67-75.
- Rhoades, J.D. and J. Loveday. 1990. Salinity in irrigated agriculture. pp.1089-1142. In: B.A. Stewart and D.R. Nielsen (eds.). Irrigation of agricultural crops. Agronomy Monograph No. 30. SSSA Madison, WI, USA.
- Rhoades, J.D., A. Kandiah, and A.M. Mashali. 1992. The use of saline waters for crop producction. FAO Irrigation and Drainage 48 p.
- Ruiz, M., y O. Terenti. 2012. Germinación de cuatro pastos bajo condiciones de estrés salino. Phytion 81(2): 169-176.

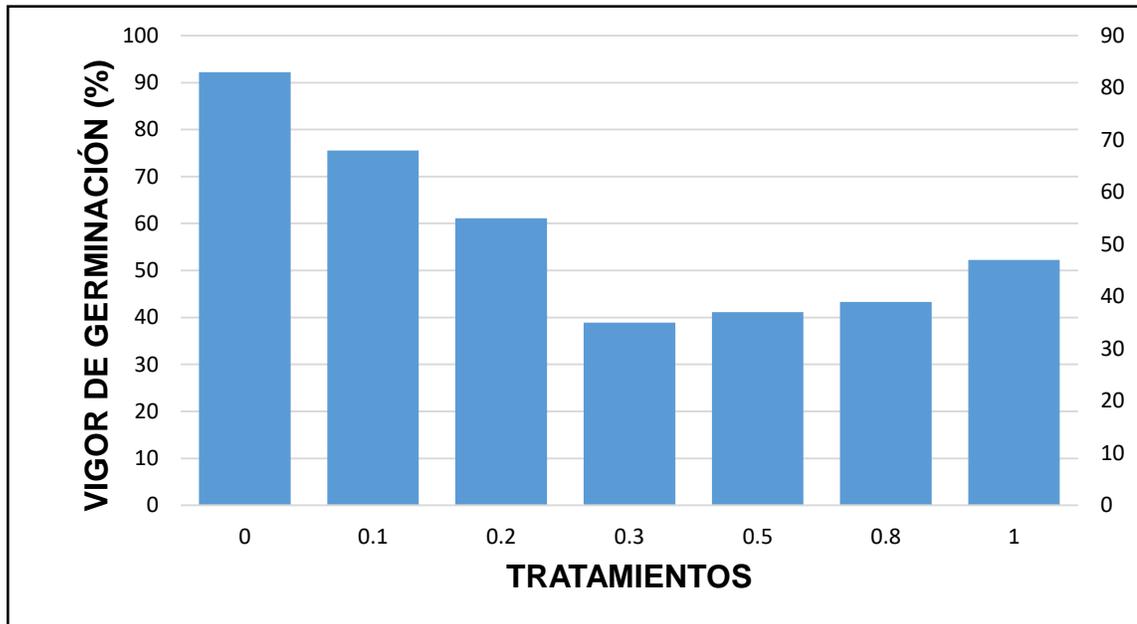
- Rush, W., and E. Epstein. 1981. Comparative studies on the sodium, potassium and chloride relations of a wild halophytic and a domestic salt-sensitive tomato species. *Pl. Physiol* 68: 1308-1303.
- Rogers, E.D., and P.N. Benfey. 2015. Regulation of plant root system architecture: implications for crop advancement. *Current Opinion in Biotechnology* 32: 93-98.
- Salas, J., M.E. Sanabria, R. Pire. 2001. Variación en el índice y la densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), sometidos a tratamientos salinos. *Bioagro* 13(3): 99-104.
- Santamaría-César, J., U. Figueroa-Viramontes, M.C. Medina-Morales. 2004. Productividad de la alfalfa en condiciones de salinidad en el Distrito de Riego 017, Comarca Lagunera. *Ídem* 22(3): 343-349.
- Schmid, T., M. Koch, and J. Gumuzzio. 2005. Multisensor approach to determine changes of wetland characteristics in semiarid environments, Central Spain. *IEEE, Trans. on Geosci. and Remote Sensing.* 43:2516-2525.
- SEMARNAT-CP. 2002. Evaluación de la Degradación de Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000.
- 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.
- Serrato-Sánchez, R.A., J. Ortiz-Arellano, S. Dimas-López, S. Berúmen. 2002. Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en la Comarca Lagunera, México. *Terra* 20: 329-336.
- Shannon, M. 1985. Principles and strategies in breeding for higher salt tolerance. *Plant and Soil* 89: 227-241.

- Shannon, M.C., C.M. Grieve, and L.E. Francois. 1994. Whole plant response to salinity. *Plant environment interactions* Ed. R.E. Wilkinson. Marcel, Dekker. New York. USA 198-244 p.
- Sharma, R.C., R.K. Saxena, K.S. Verma. 1995. Limitations and productivity potential of alkali soils of North-West Indian Plains. *Agropedology* 5: 79-82.
- Summer, M.E., and R. Naidu. 1998. *Sodic Soils. Distribution, Properties, Management, and Environmental Consequences*. University of Oxford. New York. 207 p.
- Szabolcs, I. 1979. *Review of Research on Salt-Affected Soils*. United Nations Educational Scientific and Culture Organization (UNESCO). Paris, 137 p.
- Tester, M. and R. Davenport. 2003. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Ann. Bot* 91(5): 503-527.
- Termaat, A., J. Passioura, and R. Munns. 1985. Shoot turgor does not limit shoot growth of NaCl- affected wheat and barley. *Pl. Physiol* 77: 869-872.
- Thomas D., S.G., and N.J Middleton. 1993. Salinization: new perspectives on a major desertification issue. *J. Arid Environ.* 24(1): 95-105.
- Villa-Castorena, M., E.A. Catalán-Valencia, M.A. Inzunza-Ibarra, y A.L. Urely. 2006. Absorción y translocación de sodio y cloro en plantas de Chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas con estrés salino. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(1): 79-88.
- Villa- Castorena, M., E.A. Catalán-Valencia, M.A. Inzunza-Ibarra, e I. Sánchez-Cohen. 2006. La fertilización nitrogenada y la salinidad del suelo afectan la transpiración y absorción de nutrientes en plantas de Chile. *Terra Latinoamericana* 24 (3): 391-399.
- Villavicencio, N.M., C.V. López, M.B. Sotelo, y R.P. Leal. 2011. Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia* 5(3):156-161.

- Yahya, A. 1998. Salinity effects on growth and on uptake and distribution of sodium and some essential mineral nutrients in sesame. *J. Plant Nutr.* 21: 1439-1451.
- Zahran, H.H. 1990. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in arid climate. *Revista Microbiol. Mol. Biol* 63: 968-989.
- Zamudio-González, B., L. López-Pérez, G. Alcántar-González, D.R. González-Eguiarte, J.A. Ruiz-Corral, J.Z. Castellanos. 2004. Delimitación de áreas salinas en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. *Terra Latinoamericana* 22(1): 91-97.
- Zhou, D., Z. Lin, L. Liu, and D. Zimmermann. 2013. Assessing secondary soil salinization risk based on the PSR sustainability framework. *J. Environ. Manage* 128(15): 642-654.

## ANEXOS

**Figura 1.** Vigor de germinación de semilla tratada con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a diferentes concentraciones.



**Figura 2.** Germinación de semilla tratada con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a diferentes concentraciones.

