

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuesta de Plántulas de Hortalizas a Diferentes Fuentes y Niveles de Salinidad

Por:

SAMUEL VILLEGAS MONDRAGÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial para poder obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuesta de Plántulas de Hortalizas a Diferentes Fuentes y Niveles de
Salinidad

Por:

SAMUEL VILLEGAS MONDRAGÓN

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Asesor Principal



Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente

Coasesor



Ing. Arturo de Jesús Gómez Lázaro

Coasesor Externo



Dr. Gabriel Garrigos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2018

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi “Alma Terra Mater” por ser la casa de estudio en mi formación profesional.

Al Dr. Alberto Sandoval Rangel, por su confianza y la asesoría para la realización de este proyecto de investigación.

A mis compañeros de generación, por la retroalimentación del conocimiento y por todos los buenos y malos momentos que viví con ellos. Y a mis amigos (Néstor, Sol, Javier, Francisco, Francely, Elizabeth) que han compartido los momentos de felicidad y angustia conmigo. Finalmente agradezco a mi familia por su apoyo, confianza y comprensión.

DEDICATORIAS

A Dios por darme la oportunidad de vivir cada día. A mis padres por el apoyo y ejemplo que en cada segundo de mi vida me han brindado; por sus cuidados, amor y comprensión; por sus sabios consejos que me orientaron por el camino recto de la vida; principalmente por tener en ustedes a mis mejores amigos.

A mis hermanos: Que me brindaron su apoyo, consejos y en los momentos más difíciles me alentaron a seguir adelante, anhelando que siempre me preparara para enfrentarme a la vida, hoy se ven cumplidos nuestros esfuerzos y mis deseos, iniciándose así una nueva etapa en mi vida en la que siempre estarán en mi corazón.

INDICE GENERAL

DEDICATORIAS.....	iv
INDICE GENERAL	v
INDICE DE TABLAS.....	viii
INDICE DE FIURAS	viii
RESUMEN.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo	1
Hipótesis.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA	1
Salinidad	2
Efecto de la Salinidad en Plantas	2
Efecto del Sodio en Plantas.....	3
Efecto del Cloro en Plantas.....	3
Efecto del Magnesio en Plantas.....	4
Efecto del Calcio en Plantas.....	5
Efecto del Fosforo en Plantas.....	6
Efecto del Amonio en Plantas.....	7

Efecto del Potasio en Plantas.	7
MATERIALES Y MÉTODOS	9
Descripción de	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
CONCLUSIONES	20
LITERATURA CITADA	21

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes de salinidad evaluadas (Fertilizantes comerciales)	9
Tabla 2. Niveles de salinidad evaluados	10
Tabla 3. Media y desviación estándar del efecto de la salinidad sobre las plántulas de tomate, repollo y melón	14
Tabla 4. Media y desviación estándar del efecto de la fuente de salinidad sobre las plántulas	15
Tabla 5. Media y desviación estándar del efecto del nivel de salinidad sobre las plántulas	16
Tabla 6. Análisis de varianza de la variable peso fresco de las parte aérea de la plántula	17
Tabla 7. Análisis de varianza de la variable peso fresco de la raíz	18
Tabla 8. Análisis de varianza de la variable altura de la plántula	18
Tabla 9. Análisis de varianza de la variable longitud de raíz	19

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Gramos de fertilizante para preparar la solución de cada tratamiento a la CE requerida	13
--	----

RESUMEN

La fuente y el nivel de salinidad afecta el desarrollo de las plántulas de hortalizas. El objetivo de este estudio fué, evaluar la respuesta de plántulas de hortalizas a diferentes fuentes de salinidad. El experimento se estableció con un diseño factorial $A \times B \times C$, se evaluaron tres tipos de plántulas, Tomate, melón y repollo, seis fuentes de salinidad; (1). Cloruro de sodio, 2). Nitrato de magnesio 3). Nitrato de calcio 4). Sulfato de amonio 5). Fosfato Monoamónico (MAP), 6). Cloruro de sodio y 25 niveles de salinidad (0.0 a 15.0 ms/cm). Los resultados indican que; dependiendo la fuente de salinidad la respuesta en plantas de hortalizas es diferente. Los fertilizantes que mostraron un efecto más negativo en las plantas fueron. Nitrato de potasio (KNO_3), nitrato de magnesio ($Mg(NO_3)_2$), y los fertilizantes con menor efecto negativo fueron: nitrato de calcio ($Ca(NO_3)_2$) MAP ($NH_4H_2PO_4$) y sulfato de amonio ($(NH_4)_2SO_4$), en todos los casos menores al Cloruro de sodio (NaCl), que se utilizó como testigo.

Palabras clave: Conductividad Eléctrica, Fertilizantes, Estrés Salino.

INTRODUCCION

La salinidad es un factor que limita el desarrollo, la productividad y en algunos casos el establecimiento de algunos cultivos (Goykovic y Saavedra, 2007). En el mundo, se estima que 800 millones de hectáreas están afectadas por sales (Munns, 2005; FAO, 2000). Las causas son varias, entre las principales esta la calidad del agua para riego, la cual, en la mayoría de las regiones, presenta altos contenidos de sales, principalmente cloruro de sodio, que es altamente perjudicial para el desarrollo y producción de las principales especies cultivadas. (Goykovic y Saavedra, 2007), además del uso excesivo de fertilizantes (Tanwar, 2003).

La salinidad afecta el crecimiento de las plantas y la productividad agrícola de las siguientes formas; inducción de déficit hídrico (Shannon y Grieve, 1999, Cepeda et al, 2014), toxicidad por exceso de iones (Yokoi *et al.*, 2002) y desbalance nutrimental (Goykovic y Saavedra, 2007).

Las principales sales que afectan a los cultivos corresponden a cloruros y sulfatos de calcio, sodio, magnesio y potasio (Munns *et al.*, 2005), siendo para las plantas los principales iones citotóxicos sodio, cloro y sulfatos (Chinnusamy *et al.*, 2005).

Por otro lado, los fertilizantes más comunes usados en fertiirrigación, son sales formadas por iones K, Ca, Mg unidas a SO_4 , Cl, CO_3 , HCO_3 , NO_3 , y se ha observado que los cultivos tienen una respuesta diferente de acuerdo a la fuente de salinización, aparte del nivel. Sin embargo, existe poca información que explique estas respuestas y por lo tanto que permita hacer un manejo más eficiente de los fertilizantes en función de su índice salino. Por lo anterior se elaboró este trabajo con el siguiente:

Objetivo: Evaluar diferentes fuentes y niveles de salinidad y su respuesta en Plántulas de Hortalizas

Hipótesis. La respuesta de las plantas será diferente de acuerdo a la fuente y nivel de salinidad.

REVISION DE LITERATURA

Salinidad

El término salinidad se refiere a la presencia 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+} (Jenks y Hasegawa, 2005).

El origen de la salinidad puede ser explicado por dos vías: La primera es natural, por la cercanía y la altura sobre el nivel del mar, la intemperización, la existencia de sales también son causas primarias de salinidad y las propiedades físico-químicas del perfil del suelo, como son: la textura, la estructura, la porosidad, la permeabilidad, la capacidad de retención de humedad y de intercambio catiónico juegan un papel importante. (Lamz y González, 2013).

La segunda causa, es el resultado de las incorrectas prácticas agrícolas del suelo y el mal manejo del agua para el riego, lo cual permite la movilidad de las sales dentro del suelo y el transporte de las mismas a nuevos sitios (Lamz y González, 2013).

Efecto de la Salinidad en Plantas

La salinidad puede inhibir el crecimiento de las plantas y reducir la productividad a causa de factores como: el déficit hídrico, la toxicidad por iones y un desbalance nutrimental (Munns, 2002).

La inducción de estrés osmótico por los efectos causados por el estrés salino, así como por los efectos del estrés hídrico influye directamente en el metabolismo de las plantas y por consiguiente en su crecimiento y desarrollo lo que tiene un costo desde el punto de vista del rendimiento agrícola (Lamz y González, 2013).

La toxicidad ocurre como resultado de la captación y acumulación en las plantas de ciertos iones tóxicos disueltos en el agua de riego. Estos iones tóxicos en el caso

específico de la salinidad incluyen principalmente el sodio (Na^+), el cloruro (Cl^-) y el sulfato (SO_4^{2-}) (Lamz y González, 2013).

El desbalance iónico en condiciones de alta salinidad del suelo, produce una acumulación excesiva de iones Na^+ y Cl^- que reduce la captación de otros nutrientes minerales tales como K^+ , Ca^{2+} , y Mg^{2+} (Karimi *et al.*, 2009).

Efecto del Sodio en Plantas. Las altas concentraciones de sodio en los suelos no sólo perjudican las plantas directamente, sino también degradan la estructura del suelo, disminuyendo la porosidad y la permeabilidad del agua (Jenks y Hasegawa, 2005). En cuanto a los efectos nutricionales, altas concentraciones de Na^+ en la solución externa causan una disminución en las concentraciones de K^+ y Ca^{2+} en los tejidos de las plantas. Estas reducciones se pueden deber al antagonismo del Na^+ y K^+ por los sitios de absorción en las raíces, el efecto del Na^+ en el transporte al xilema o a la inhibición de los procesos de absorción (Hu y Schimdhalter, 2005). Otros investigadores consideran que una alta concentración de Na^+ no sólo inhibe la absorción de nutrientes directamente por interferencia con transportadores en la membrana plasmática de la raíz, tales como los canales selectivos de K^+ , sino también por la inhibición del crecimiento de la raíz a causa del efecto osmótico del Na^+ y a los efectos adversos del Na^+ en la estructura del suelo (Tester y Davenport, 2003).

Efecto del Cloro en Plantas. Para la mayoría de las plantas tolerar la salinidad, la captación de Cl^- debe restringirse mientras se mantiene la captación de macronutrientes como K^+ , NO_3^- y Ca^{2+} (Apse y Blumwald, 2007). Sin embargo, el Cl^- es considerado un micronutriente esencial que regula actividad enzimática en el citoplasma, es un cofactor esencial en la fotosíntesis y se involucra en la regulación de la turgencia y regulación del pH (White y Broadley 2001).

El Cl^- es tóxico para las plantas a altas concentraciones, pero algunas plantas pueden controlar el transporte del Cl^- (Munns y Tester, 2008). Las plantas en condiciones salinas toman el Cl^- a través de canales de aniones. Aunque se plantea que la entrada de aniones a través de la membrana plasmática,

normalmente requiere un proceso activo de co-transporte con H^+ , cuando la concentración externa de Cl^- es alta, existen evidencias del ingreso pasivo de Cl^- a las células e incluso al xilema (Tyerman y Skerrett, 1999).

El Cl^- una vez entra a la raíz por una vía simplástica para llegar al xilema, aumenta su concentración en las hojas más viejas. La concentración crítica de Cl^- en tejidos de las hojas para la toxicidad es aproximadamente de 4 -7 y 15-50 $mg \cdot g^{-1}$ del peso seco para plantas sensible y tolerantes respectivamente (White y Broadley 2001). Aunque concentraciones que sobrepasan 80 mM en tejido húmedo alteran la morfología de la planta. (Lamz y González, 2013).

Se puede resumir que el Cl^- , es un componente tóxico para las plantas, este generalmente es tomado vía simplástica manejado por gradientes y flujo de respiración. (Lamz y González, 2013).

Efecto del Magnesio en Plantas. Los suelos salinos que presentan altas saturaciones de magnesio causan deterioro en la estructura y otras propiedades físicas dando origen a suelos masivos impermeables, con conductividades hidráulicas reducidas ya que el ion Mg^{+2} producen dispersión de arcillas (Torres y García, 1991).

El Mg puede encontrarse en plantas como elemento estructural o como cofactor enzimático (Beneyto, 2012). El magnesio tiene importantes funciones fisiológicas y moleculares en las plantas tales como; un componente de la molécula de clorofila, como cofactor enzimático está asociado con la fosforilacion, desfosforilacion y la hidrolisis de diversos compuestos y como un estabilizador estructural para varios nucleótidos (Marschner, 1995).

La función más importante del magnesio en la planta es su papel como el átomo central de la molécula de clorofila. El magnesio participa en la reacción de carboxylasa de la fotosíntesis, como una enzima en la fijación de CO_2 . También está involucrado en el balance catión-anión, es responsable de la regulación del pH y del ajuste de turgencia de las células de las plantas. Como el magnesio está ligado al pectato sirve como elemento estructural de la pared celular. Debido a sus funciones en la transferencia de energía durante la síntesis de almidones, esta se ve impedida

en condiciones de suministro insuficiente de magnesio. Por otro lado, la deficiencia de magnesio también inhibe, en las hojas más viejas, la degradación de almidones, que son la fuente principal de energía para tejidos en crecimiento y órganos de almacenamiento. Lo que conduce al aumento de almidones y contenido de materia seca en hojas viejas, acompañado por deficiencias de suministro de carbohidratos a frutas, granos y particularmente a las raíces (Ross 2004).

Efecto del Calcio en Plantas. El calcio es un elemento estructural en la planta ya que constituye la lámina media, las paredes y membranas de la célula y, además, participa en la división y extensión celulares, influye en la compartimentalización de la célula, modula la acción de hormonas y señales, estabiliza la pared y membrana, y contribuye al equilibrio iónico de la célula (Marschner, 1986).

La mayor proporción de calcio total está en la lámina media, seguido por las membranas, los organelos y por último el citosol. En el apoplasto las concentraciones son más altas que en cualquier otro organelo, lo cual es lógico al saber que es la vía en donde este elemento se mueve mejor a través de toda la planta (White, 1998).

Las concentraciones bajas de calcio en el citosol se dan porque las membranas tienen una baja permeabilidad al elemento (Marschner, 1986), lo cual es importante porque actúa como mensajero secundario dado por estímulos externos, inducen respuestas fisiológicas y permite el flujo del Ca^{2+} hacia todas las células de la planta (Sanders et al., 2002; White, 2001).

Otra de las funciones del calcio es generar estabilización de la pared y las membranas celulares mediante su interacción con el ácido péptico que está entre la pared celular y la lámina media. Su función en la membrana es regular el flujo de solutos e inhibir el escape de los mismos del citoplasma al apoplasto u organelos así como proteger bajo condiciones de estrés (Marschner, 1986; White, 2000).

Este elemento influye en el crecimiento radical por su participación en la división y extensión de las células que componen este sistema. El equilibrio iónico y la osmorregulación también son controlados por el calcio. En las vacuolas es donde

se almacena la mayor proporción de Ca^{2+} , lo cual contribuye al balance entre cationes y aniones orgánicos e inorgánicos de la célula (Kordyum, 2003).

Cuando los iones de Ca^{2+} se ubican sobre la membrana plasmática se inicia la señalización y se activan canales de calcio que permiten la entrada o salida de dicho catión además del potasio y cloro; este tipo de canales también se presentan en las vacuolas, retículo endoplasmático, cloroplasto y núcleo (White, 2000; Sanders et al., 2002).

Los activadores de la hiperpolarización permiten la entrada de Ca^{2+} en células de la raíz, lo que genera la división y elongación de las células de este sistema (White, 2000).

Efecto del Fosforo en Plantas. El P está envuelto en varias funciones claves dentro de la planta que incluyen transferencia de energía, fotosíntesis, transformación de azúcares y almidones, transporte de nutrientes a través de la planta. Ningún otro elemento puede sustituir sus funciones en la planta. El fósforo interviene en muchas de las reacciones que utilizan energía dentro de la célula ya que forma parte integral de las moléculas que acumulan energía como el adenosin trifosfato (ATP). Estas moléculas se forman como resultado de la fotosíntesis y son utilizadas en la respiración de la planta. Por lo anterior, el P es muy importante para la generación de células nuevas (Múnera, 2014).

El P es un componente vital de las sustancias que forman los genes y cromosomas. De esta forma, este elemento es parte esencial de los procesos que transfieren el código genético de una generación a la siguiente, proveyendo el mapa genético para todos los aspectos de crecimiento y reproducción de la planta (Múnera, 2014).

Forma parte de los ácidos nucleicos y fosfolípidos, participa en el almacenamiento y la transformación de la energía. También es componente integral de miles de compuestos metabólicos, incluidos el ácido oxidorribonucleico (ADN) y otros materiales genéticos y de los fosfolípidos de las membranas celulares. Además, promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces. El P mejora la calidad de

la fruta, hortalizas y granos y es además vital para la formación de la semilla (Martínez, et al., 2012)

Efecto del Amonio en Plantas. El amonio es una de las principales fuentes de nitrógeno inorgánico es incorporado a través de proteínas de transmembrana denominadas transportadores de amonio (AMT) y posteriormente asimilado para su transporte en el interior de la planta (Castro, *et al.*, 2014).

El N es un componente esencial de aminoácidos, ácidos nucleicos, fitohormonas y clorofilas, entre otras biomoléculas, y por lo tanto un elemento clave para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Una vez que el N es incorporado se asimila mayoritariamente mediante el ciclo de la glutamina sintetasa, glutamato sintasa en el citosol o en los plastidios, y la glutamina puede ser incorporada para la producción de otros compuestos nitrogenados o transportada como aminoácido libre a otras células de la planta (Rodríguez, 2014).

El nitrógeno generalmente representa entre un 1 y un 4 % del peso de los tejidos vegetales. Las moléculas que contienen nitrógeno están actuando en todas las funciones reconocidas para los elementos minerales en la fisiología de las plantas. Las proteínas son especialmente importantes por desempeñar funciones estructurales, catalíticas, de transporte y de reserva. Los ácidos nucleicos y algunas hormonas actúan como transportadores de información. Los iones nitrato y amonio junto con aminoácidos como la prolina cumple funciones osmóticas en las vacuolas. El rol especial de las proteínas y los ácidos nucleicos en el transporte de información, en la regulación metabólica y en los procesos de desarrollo confieren al nitrógeno una participación central en la vida vegetal (Loomis, 1981).

Efecto del Potasio en Plantas. El K juega un papel muy importante como catalizador del metabolismo y generalmente se encuentra donde existe transferencia de energía dentro de la planta. Este nutriente participa en la formación y neutralización de ácidos orgánicos. Además, juega un papel muy importante en el balance entre la formación, acumulación y consumo de azúcares por la planta durante el desarrollo vegetativo. Es requerido en la formación de la estructura celular, asimilación de carbono, fotosíntesis, síntesis de proteína, formación de

almidones, translocación de azúcares y proteínas, uso eficiente del agua y desarrollo normal de la raíz. (Lazcano, 1999).

También desempeña un papel importante en el metabolismo de carbohidratos y proteínas, regula la transpiración y el contenido de agua de las células, es cofactor enzimático e interviene en la fotosíntesis (Roldán et al., 2004).

En muchos de los procesos metabólicos de la planta, el potasio juega un rol clave: activa más de 60 sistemas enzimáticos, promueve la síntesis, translocación y el almacenamiento de carbohidratos y optimiza la regulación hídrica en los tejidos vegetales (Imas, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Lugar del Estudio

El estudio se realizó en el departamento horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Durante el periodo enero a marzo del 2017.

Descripción de los Tratamientos

Se evaluaron plántulas con cepellón de tomate, melón y repollo (Factor A), cinco fuentes de salinidad (Factor B, Tabla 1) y 25 niveles de salinidad (Factor B, Tabla 2). En un diseño factorial AxBxC, cada tratamiento con tres repeticiones y cada repetición fue una plántula, en un arreglo completamente al azar.

Tabla 1. Fuentes de salinidad evaluadas (Fertilizantes comerciales)

No = Número

No	Fuentes
1	Nitrato de Magnesio
2	Cloruro de Sodio
3	Nitrato de Calcio
4	Sulfato de amonio
5	MAP
6	Nitrato de Potasio

Tabla 2. Niveles de salinidad evaluados

No	CE		No	CE		No	CE
1	0.0 mS/cm		11	5.0 mS/cm		21	10.0 mS/cm
2	0.5 mS/cm		12	5.5 mS/cm		22	12.0 mS/cm
3	1.0 mS/cm		13	6.0 mS/cm		23	13.0 mS/cm
4	1.5 mS/cm		14	6.5 mS/cm		24	14.0 mS/cm
5	2.0 mS/cm		15	7.0 mS/cm		25	15.0 mS/cm
6	2.5 mS/cm		16	7.5 mS/cm			
7	3.0 mS/cm		17	8.0 mS/cm			
8	3.5 mS/cm		18	8.5 mS/cm			
9	4.0 mS/cm		19	9.0 mS/cm			
10	4.5 mS/cm		20	9.5 mS/cm			

No= Numero

Actividades para el Establecimiento del Experimento

Producción de Plántula

La plántula se produjo en charolas de poliestireno de 200 cavidades y sustrato Peatmoos. El tiempo en días transcurrido de siembra a obtención de plántulas fue: Tomate 35, Melón 28 y repollo 30.

Preparación de Soluciones

Para preparar las soluciones se utilizó agua des ionizada y se prepararon 250 ml de cada solución.

La solución se colocó en contenedores de polietileno transparente de 0.5 L y se pusieron 0.25 L de la solución, después se colocaron 1 planta de cada especie en cada contenedor.

Variables Evaluadas

Índice Salino del Fertilizante. Se obtuvo pesando la cantidad de fertilizante utilizado para lograr la conductividad eléctrica de la solución de cada tratamiento.

Peso y Altura de la Parte Aérea y Peso de Raíz Inicial.

Se midió el peso y altura de las plantas al inicio del trabajo

Apariencia de las plantas durante el experimento

Se observó diariamente la apariencia de las plantas durante el experimento, para detectar cambios drásticos en su apariencia.

Peso y altura de la parte aérea y peso de raíz (Final)

Se midió la altura y peso de las plantas a los 15 días después de iniciado el experimento.

pH y CE de la solución al final del trabajo

Se midió el pH y CE de la solución al finalizar el trabajo

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Los datos obtenidos se analizaron en diseño factorial $A \times B \times C$ (Zar, 1996). Y a las variables significancia estadística se compararon con la prueba de medias de Tukey al 95%. Para el análisis de los datos se utilizó el programa estadístico Statistica® versión 7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y la discusión se presentan de la siguiente forma; al inicio se presentan los datos del índice salino de los fertilizantes, posteriormente el efecto de la salinidad respecto al tipo de cultivo, después el efecto de la fuente, continua con el nivel de salinidad y finalmente los análisis de varianza, donde se muestran las interacciones más significativas.

Índice Salino del Fertilizante

El índice salino de los fertilizantes, medido como la cantidad de fertilizante utilizado para lograr la Conductividad Eléctrica (CE) de cada solución utilizada. En la figura 1, se observa que los fertilizantes con mayor índice salino en orden descendente son: Sulfato de Amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), Nitrato de Potasio (KNO_3), Nitrato de Calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), Fosfato Monoamónico MAP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), Nitrato de magnesio ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), en todos los casos menor al Cloruro de sodio (NaCl) utilizado como testigo. Es importante resaltar la alta conductividad del nitrato de potasio, tomando en cuenta que, en la práctica, este fertilizante representa aproximadamente mitad de los fertilizantes requeridos para fertilizar los cultivos.

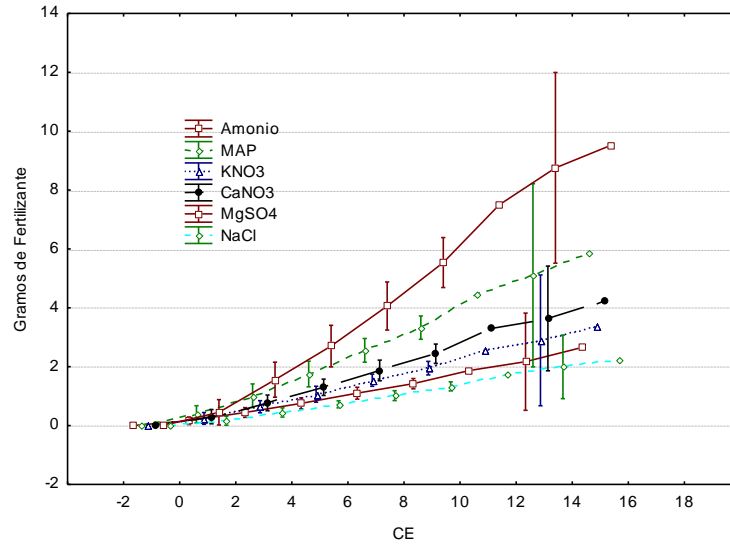


FIGURA 1. Gramos de fertilizante para preparar la solución de cada tratamiento a la CE requerida

Efecto de la Salinidad Sobre el Desarrollo de las Plantas en Función del Tipo de Cultivo

La salinidad afecta de forma diferente de acuerdo al tipo de cultivo, debido a la adaptación que desarrollan las plantas a los diferentes ambientes (Browyn *et al*, 2007). Lo relevante es que, en el caso de melón, las plantas murieron al tercer día, aún y cuando se consideran ligeramente tolerantes a la salinidad, dado que la literatura reporta que este cultivo proviene de aéreas desérticas, donde los niveles de salinidad altos son comunes. En el caso de repollo, las plantas sobrevivieron y en algunos niveles hasta tuvieron incremento en el crecimiento, también la literatura reporta a esta especie como tolerante a salinidad. Respecto al tomate, aun y cuando se considera como una planta sensible mostró cierta tolerancia al igual que el repollo.

Tabla 3. Media y desviación estándar del efecto de la salinidad sobre las plántulas de tomate y repollo

Cultivo	Peso de Tallo	Peso de Raíz	Altura de Planta	Longitud de Raíz
Tomate	0.257 ± 0.102	0.242 ± 0.095	5.254 ± 0.088	6.455 ± 1.288
Repollo	0.282 ± 0.158	0.221 ± 0.070	3.640 ± 0.515	1.103 ± 0.052
Melón	0.00	0.00	0.00	0.00

Efecto de la Salinidad Sobre el Desarrollo de las Plántulas en Función de la Fuente

La fuente de salinidad, proporcionada por el tipo de fertilizante, afecto de forma diferente el desarrollo de las plántulas. Se observó que las plantas no aumentaron su peso fresco aéreo cuando se colocaron en las soluciones de cloruro de sodio, nitrato de potasio y magnesio, mientras que las plántulas colocadas en soluciones de sulfato de amonio, MAP y nitrato de calcio, aumentaron el peso fresco y la altura de la parte aérea. Cabe destacar que visualmente las plantas colocadas en solución de nitrato de calcio presentaron mejor apariencia y crecimiento. De hecho, en la literatura se reporta que el calcio Ca^{+2} , es utilizado para contrarrestar los efectos adversos de la salinidad a través de la manutención de las concentraciones de Ca^{+2} , K^{+} y Mg^{+2} en los tejidos, la inhibición de la absorción de Na^{+} y el ajuste osmótico mediante la síntesis de solutos osmocompatibles. (Meloni, 2012.). Esta información es relevante, dado que por un lado en la práctica los fertilizantes potásicos y en particular el nitrato de potasio es el fertilizante que más se utiliza y en algunos casos representa hasta el 50% del fertilizante utilizado. En el caso del nitrato de calcio, es otro de los fertilizantes que se aplica en grandes cantidades cuando el agua de riego contiene un bajo aporte de este nutrimento y esta generalmente relacionado a conductividades eléctricas bajas.

Tabla 4. Media y desviación estándar del efecto de la fuente de salinidad sobre el peso de las plantas

Fuente	Peso Fresco Plántula	Peso Fresco Raíz	Altura Plántula	Longitud de Raíz
Mg(NO ₃) ₂	0.058± 0.004	0.232± 0.063	4.232± 0.952	6.260± 1.091
NaCl	0.054± 0.004	0.211± 0.065	4.050± 0.764	6.273± 0.945
Ca(NO ₃) ₂	0.188± 0.015	0.207± 0.088	4.725± 1.145	5.942± 1.321
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.115± 0.009	0.245± 0.089	4.646± 1.135	6.068± 1.272
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.171± 0.014	0.237± 0.091	4.484± 1.136	5.998± 1.268
KNO ₃	0.078±0.006	0.255± 0.092	4.545± 1.179	6.643± 1.296

Efecto de la Salinidad Sobre el Desarrollo de las Plántulas en Función del Nivel o Grado de Salinidad

El nivel de salinidad, medido como CE, afecto el desarrollo de las plántulas, se esperaba que el nivel de salinidad tuviera un comportamiento sigmoide, es decir que aumentara en un inicio y después disminuyera conforme la CE, superaba los 8.0 dS/cm., Sin embargo, este comportamiento no se observó, dado que la concentración de la solución se incrementó por la evaporación y tal vez por la transpiración, por lo cual al final del trabajo la salinidad se incrementó hasta niveles de superiores a 15.0 dS/cm.

Tabla 5. Media y desviación estándar del efecto del nivel de salinidad sobre el peso de las plantas

Conductividad ms/cm	Peso de Tallo	Peso de Raíz	Altura de Planta	Longitud de Raíz
0.0	0.142 ± 0.048	0.187 ± 0.068	3.811 ± 0.874	5.352 ± 0.975
0.5	0.148 ± 0.053	0.221 ± 0.064	4.194 ± 0.915	5.861 ± 1.009
1.0	0.148 ± 0.054	0.242 ± 0.065	4.166 ± 1.054	6.258 ± 1.091
1.5	0.181 ± 0.051	0.246 ± 0.050	4.219 ± 0.879	6.100 ± 0.812
2.0	0.184 ± 0.057	0.238 ± 0.067	4.205 ± 1.089	5.819 ± 0.881
2.5	0.202 ± 0.077	0.238 ± 0.088	4.405 ± 1.036	5.811 ± 1.377
3.0	0.218 ± 0.070	0.231 ± 0.038	4.419 ± 1.088	5.966 ± 0.856
3.5	0.290 ± 0.109	0.250 ± 0.086	4.505 ± 0.987	6.075 ± 1.417
4.0	0.303 ± 0.142	0.221 ± 0.066	4.650 ± 0.746	6.219 ± 1.288
4.5	0.248 ± 0.078	0.228 ± 0.063	4.458 ± 1.122	6.419 ± 0.989
5.0	0.348 ± 0.163	0.274 ± 0.100	4.686 ± 1.023	6.463 ± 1.043
5.5	0.301 ± 0.121	0.213 ± 0.057	4.569 ± 1.001	6.261 ± 1.212
6.0	0.328 ± 0.179	0.237 ± 0.083	4.597 ± 1.163	6.472 ± 1.206
6.5	0.301 ± 0.151	0.231 ± 0.087	4.675 ± 1.177	6.330 ± 1.265
7.0	0.301 ± 0.131	0.258 ± 0.094	4.505 ± 1.032	6.355 ± 1.077
7.5	0.305 ± 0.169	0.208 ± 0.074	4.436 ± 1.268	5.773 ± 1.476
8.0	0.334 ± 0.122	0.219 ± 0.083	4.472 ± 1.288	6.044 ± 1.346
8.5	0.350 ± 0.173	0.215 ± 0.067	4.538 ± 0.900	6.647 ± 1.001
9.0	0.350 ± 0.143	0.272 ± 0.115	4.744 ± 1.279	6.175 ± 1.178
9.5	0.298 ± 0.114	0.233 ± 0.107	4.363 ± 1.203	6.127 ± 1.182
10.0	0.266 ± 0.125	0.206 ± 0.091	4.130 ± 1.092	6.308 ± 1.356
12.0	0.296 ± 0.107	0.249 ± 0.124	4.594 ± 1.126	6.519 ± 1.637
13.0	0.311 ± 0.124	0.211 ± 0.091	4.452 ± 1.111	6.319 ± 1.219
14.0	0.321 ± 0.132	0.217 ± 0.075	4.755 ± 1.177	6.680 ± 1.079
15.0	0.261 ± 0.071	0.236 ± 0.102	4.619 ± 1.094	6.580 ± 1.608

Interacciones entre Cultivo, Fuente y nivel de Salinidad sobre;

Peso Fresco Aéreo

La salinidad afecta de forma diferente el desarrollo de las plántulas en este caso medido como peso fresco de la parte aérea de las plántulas y dicho efecto es diferente de acuerdo a la especie, la concentración y la fuente de fertilizante (Tabla 6). También se observa que el tipo de fertilizante tuvo un efecto más significativo, que el valor mismo de la CE, de igual manera la interacción cultivo fertilizante fue la más significativa.

Tabla 6. Análisis de varianza de la variable peso fresco de la parte aérea de la plántula.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tablas
Interacción	1	65.56141	65.56141	14769.78	0.00
Cultivo	1	0.13469	0.13469	30.34	0.00
CE	24	3.85412	0.16059	36.18	0.00
Fertilizante	5	2.54553	0.50911	114.69	0.00
Cultivo X CE	24	0.86467	0.03603	8.12	0.00
Cultivo X Fertilizante	5	1.06249	0.21250	47.87	0.00
CE X Fuente	120	3.33076	0.02776	6.25	0.00
Cultivo X CE X Fertilizante	120	1.66229	0.01385	3.12	0.00
Error	600	2.66333	0.00444		
Total	899	16.11789			

Peso Fresco de la Raíz

El peso fresco de la raíz de las plántulas, fue en primera instancia diferente de acuerdo al cultivo, después al tipo de fertilizante y finalmente al valor de la CE, Pero al igual que el peso fresco de la parte aérea de la planta, la interacción cultivo fertilizante fue la que más significancia mostró (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de varianza de la variable peso fresco de la raíz

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tablas
Interacción	1	48.31177	48.31177	10908.60	0.00
Cultivo	1	0.09818	0.09818	22.17	0.003
CE	24	0.36319	0.01513	3.42	0.00
Fertilizante	5	0.26755	0.05351	12.08	0.00
Cultivo X CE	24	0.21117	0.00880	1.99	0.0036
Cultivo X Fertilizante	5	0.59929	0.11986	27.06	0.00
CE X Fuente	120	0.96892	0.00807	1.82	0.0003
Cultivo X CE X Fuente	120	1.23966	0.01033	2.33	0.0000
Error	600	2.65727	0.00443		
Total	899	6.40523			

Altura de la Plántula

La altura de la planta mostro un efecto similar a la variable de peso fresco de la parte aérea, donde el tipo de fertilizante y la interacción cultivo fertilizante son los más significativos (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de varianza de la variable altura de plántula.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tablas
Interacción	1	17799.12	17799.12	56596.97	0.0000
Cultivo	1	586.29	586.29	1864.25	0.0000
CE	24	43.40	1.81	5.75	0.0000
Fertilizante	5	49.79	9.96	31.66	0.0000
Cultivo X CE	24	16.04	0.67	2.13	0.0014
Cultivo X Fuente	5	16.49	3.30	10.49	0.0000
CE X Fuente	120	99.02	0.83	2.62	0.0000
Cultivo X CE X Fuente	120	59.59	0.50	1.58	0.0031
Error	600	188.69	0.31		
Total	899	1059.32			

Longitud de Raíz

La longitud de raíz, también mostro un comportamiento similar a la altura y al peso fresco de la parte aérea, donde el tipo de fertilizante y la interacción cultivo fertilizante son los más significativos, aunque en menor valor, es decir la longitud de raíz mostró un menor desarrollo (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis de varianza de la variable longitud de raíz

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tablas
Interacción	1	34570.34	34570.34	29351.04	0.0000
Cultivo	1	59.77	59.77	50.74	0.0000
CE	24	85.15	3.55	3.01	0.0003
Fertilizante	5	49.51	9.90	8.41	0.0000
Cultivo X CE	24	59.15	2.46	2.09	0.0018
Cultivo X Fuente	5	8.29	1.66	1.41	0.2196
CE X Fuente	120	192.63	1.61	1.36	0.0108
Cultivo X CE X Fuente	120	190.97	1.59	1.35	0.0129
Error	600	706.69	1.18		
Total	899	1352.16			

CONCLUSIONES

La fuente de salinidad, en este caso proporcionada por el tipo de fertilizante, afecta de forma diferente el desarrollo de las plántulas de melón, tomate y repollo. Los fertilizantes que mostraron un efecto más negativo en las plantas fueron: Nitrato de potasio (KNO_3) nitrato de magnesio ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), y los fertilizantes con menor efecto negativo fueron: nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), MAP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) y sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), en todos los casos menores al Cloruro de sodio (NaCl), que se utilizó como testigo.

LITERATURA CITADA

Apse, M. P. y Blumwald, E. Na⁺ transport in plants. FEBS Letters, 2007, vol. 581, no. 12, p. 2247-2254.

Beneyto Egea, Z. (2012). Efecto de los cationes calcio y magnesio sobre el crecimiento de dos especies de *Juncus* en condiciones de estrés salino.

Bronwyn J. Barkla, Vera Estrella R., Balderas E., Pantoja O. 2007. Mecanismos de Tolerancia a la Salinidad en Plantas. Biotecnología 14:272. CS3.Indd.

Castro-Rodríguez, V., Assaf-Casals, I., Perez-Tienda, J., Ávila, C., & Cánovas, F. M. (2014). La familia de transportadores de amonio (AMT) y su papel funcional en el transporte de nitrógeno en la conífera modelo de *pinus pinaster*.

Cepeda-Guzmán, Alejandro; Valdez-Aguilar, Luis A.; Castillo-González, Ana M.; Ruiz-Torres, Norma A.; Robledo-Torres, Valentín; Mendoza-Villarreal, Rosalinda; (2014). Respuestas de lechuga a la conductividad eléctrica con riego superficial y subirrigación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, septiembre-noviembre, 1233-1245.

FAO. 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutrition Management.

Goykovic Cortés, V., & Saavedra del Real, G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia (Arica)*, 25(3), 47-58.

Hu, Yuncai; Schimdhalter, U. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 541-549.

Imas, P. (2015). El potasio: Nutriente esencial para aumentar el rendimiento y la calidad de las cosechas. *Disponible en: [www. iclfertilizers. com/fertilizers](http://www.iclfertilizers.com/fertilizers)* Consultado el, 2(06), 2015.

Jenks, M. A. y Hasegawa, P. M. *Plant Abiotic Stress*. India. Blackwell Publishing Ltd, 2005, p. 270.

Karimi, S.; Rahemi, M.; Maftoun, M. E. y Tavallali, V. Effects of Long-term Salinity on Growth and Performance of Two Pistachio (*Pistacia L.*) Rootstocks. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2009, vol. 3, no. 3, p. 1630-1639.

Lamz Piedra, Alexis, & González Cepero, María C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31-42. Recuperado en 02 de mayo de 2017,

Lazcano-Ferrat, I. (1999). El potasio esencial para un buen rendimiento en la caña de azúcar. *Informaciones Agronómicas*, 35, 1-4.

Loomis, R. S. (1981). Modelo dinámico del metabolismo del nitrógeno en plantas su PER| ORES. I. DESCRIPC| ON DEL MODE. *AGRICULTURA TECNICA*, 41(1).

Marschner H., 1995. Mineral nutrition of higher plants, 2nded. Academic, San Diego, California.

Martínez, G. C., Píccoli, A. B., Ortiz, M. L., & Schroeder, M. A. (2012). Comparación de procedimientos de oxidación de materia orgánica para la determinación de fósforo en material vegetal.

Meloni, Diego Ariel. (2012). Physiological responses to calcium supplementation of NaCl-stressed vinal (*Prosopis ruscifolia G.*) seedlings. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 44(2), 79-88. Recuperado en 23 de noviembre de 2018, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652012000200006&lng=es&tlng=en. Múnera Vélez, G. A. (2014). El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal.

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

Munns, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.*, 2002, vol. 20, p. 239-250.

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

Munns, R.; Goyal, Sham S.; Passioura, JOHN. 2005. Salinity stress and its mitigation. University of California, Davis. 19 p.

Rodríguez, V. V. C. (2014). Genómica funcional del transporte y asimilación del nitrógeno en plantas de interés forestal (Doctoral dissertation, Universidad de Málaga).

Roldán, M. F., Venialgo, C. A., & Gutierrez, N. C. (2004). Potasio disponible, de reserva y energía de reemplazamiento en suelos y el nivel foliar en Rye-grass. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. p, 1(4).

Ross, Marcus. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite Vol. 25, No. especial, tomo II (2004).

Ruiz Espinoza, Francisco Higinio; Villalpando Gutiérrez, Rocío Lizzet; Murillo Amador, Bernardo; Beltrán Morales, Félix Alfredo; Hernández Montiel, Luis Guillermo; (2014). Respuesta diferencial a la salinidad de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) En primeras etapas fenológicas. *Terra Latinoamericana*, .311-323.

Shannon, M. C.; Grieve, C. M. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity *Scientia Horticulture*. 78: 5-38.

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

Tester, Mark; Davenport, Romola. 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*. 91: 503-527.

Tyerman, S. D. y Skerrett, I. M. Root ion channels and salinity. *Scientia Horticulturae*, 1999, vol. 78, p. 175-235.

White, P. J. y Broadley, M. R. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. *Annals of Botany*, 2001, vol. 88, no. 967-988.

Yokoi, Shuji; Bressan Ray, A.; Mike Hasegawa, P. 2002. Salt stress tolerance of plants. JIRCAS Working Report 25-33.