



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**SELECCIÓN DE TOMATES SILVESTRES CON
TOLERANCIA A SALES**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

MARIELA ANELÍ HERNÁNDEZ COUTINO

Bajo la dirección de:

Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez



Chapingo, México, junio de 2017



**DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

SELECCIÓN DE TOMATES SILVESTRES CON TOLERANCIA A SALES

Tesis realizada por **Mariela Anelí Hernández Coutiño** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

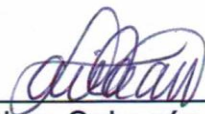
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR



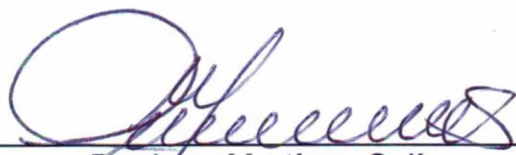
Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez

ASESOR



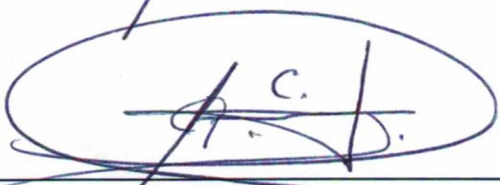
Dr. Jaime Sahagún Castellanos

ASESOR



Dr. Juan Martínez Solís

ASESOR



Dr. Rogelio Castro Brindis

Chapingo, México, junio de 2016.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DATOS BIOGRÁFICOS	iv
RESUMEN GENERAL.....	vi
GENERAL SUMMARY	vii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL	2
3. TOMATES SILVESTRES CON TOLERANCIA A SALES DURANTE GERMINACIÓN Y PLÁNTULA.....	5
3.1. RESUMEN	5
3.2. SUMMARY	6
3.3. INTRODUCCIÓN	7
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
3.4.1. Pruebas de tolerancia a sal durante germinación	8
3.4.2. Pruebas de tolerancia a sal durante plántula	10
3.4.3. Análisis estadísticos	10
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
3.5.1. Tolerancia a sal durante germinación.....	11
3.5.2. Tolerancia a sal durante plántula	15
3.6. CONCLUSIONES	19
3.7. LITERATURA CITADA.....	20
4. TOMATES SILVESTRES CON TOLERANCIA A SALES DURANTE PLANTA ADULTA	23
4.1. RESUMEN	23
4.2. SUMMARY	24
4.3. INTRODUCCIÓN	25
4.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.6. CONCLUSIONES	35
4.7. LITERATURA CITADA.....	36
5. DISCUSIÓN GENERAL	39
6. CONCLUSIONES GENERALES	41
7. LITERATURA CITADA GENERAL	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3 1. Análisis de varianza de caracteres evaluados en 96 colectas de tomate en dos concentraciones salinas.....	14
Cuadro 3 2. Comparación de medias de caracteres clasificadas en seis grupos evaluados de 96 colectas de tomate	15
Cuadro 3 3. Análisis de varianza de índices de tolerancia a sales de 29 colectas representadas en cinco grupos	18
Cuadro 3 4. Comparación de medias de caracteres evaluados de 29 colectas de tomate.....	19
Cuadro 4 1. Análisis de varianza de caracteres evaluados en 13 colectas de tomate silvestre en dos concentraciones salinas.....	30
Cuadro 4 2. Comparación de medias de tres grupos de 13 colectas de tomate nativo	31
Cuadro 4 3. Comparación de medias en 13 colectas de tomate silvestre en dos concentraciones salinas	33
Cuadro 4 4. Comparaciones de media de la interacción grupo x colecta	34

ÍNDICE DE FÍGURAS

Figura 3 1. Escala visual de vigor de planta de tomate	11
Figura 3 2. Dendrograma jerárquico (distancias euclidianas y método de Ward) de 97 colectas de tomate silvestre germinadas bajo estrés salino.....	12
Figura 3 3. Representación de variables discriminantes de 97 colectas de tomate silvestre germinadas bajo estrés salino.....	13
Figura 3 4. Dendrograma jerárquico (distancias euclidianas y método de Ward) de 29 colectas de tomate silvestre bajo estrés salino en estado de plántula.....	16
Figura 3 5. Representación de dos variables discriminantes de 29 colectas de tomate silvestre bajo estrés salino durante el estado de plántula (AP=altura de planta, VP=vigor de planta, PV=número de plantas vivas)...	17
Figura 4 1. Dendrograma jerárquico (distancias euclidianas y método de Ward) de 13 colectas de tomate silvestre germinadas bajo estrés salino	29
Figura 4 2. Representación de variables discriminantes de 13 colectas de tomate silvestre bajo estrés salino	29

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por haberme dado fortaleza en momentos de dificultad.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por el financiamiento otorgado para llevar a cabo mis estudios de posgrado.

A la **Universidad Autónoma Chapingo** y al **Instituto de Horticultura** por las facilidades proporcionadas durante mi permanencia en la institución.

Al **Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez** con especial gratitud por su compromiso con mi formación académica y profesional, por estos seis años de confianza y amistad.

Al **Dr. Jaime Sahagún Castellanos** por su experiencia, calidad profesional y las acertadas observaciones a la presente investigación.

Al **Dr. Rogelio Castro Brindis** por las sugerencias y orientación para el desarrollo del trabajo de investigación.

A los compañeros de posgrado **Micah Royan, Manuel Ríos** y especialmente a **Lucas Hernández Ibañez** por las aportaciones para la culminación de este proyecto.

A los ingenieros **Ismael Hernández** y **Plácido Ángel** y a los señores **Eusebio Moreno** y **Ángel Flores**; por su apoyo técnico y colaboración.

DEDICATORIA

A mis padres **Carmen e Isaías**, a quiénes aprovecho la oportunidad de reiterarles mi cariño que si bien no siempre expreso, los tengo presentes en todo momento.

A mis hermanos: **Gabriel, Eivi, Alejandro y Patricia** porque a pesar de la distancia, sé que puedo contar con su confianza y cariño.

A mis sobrinos: **Mauricio, Ximena, Abril, Sofía y Javier** porque con sus ocurrencias e inocencia nuestras cargas son más ligeras.

A la familia **López Betancourt** por brindarme su cariño y cobijarme como una integrante más, espero tener la posibilidad de devolverles todo lo que por mi han hecho.

A los que han formado parte de mi vida, pero especialmente a ustedes que han persistido en ella: **Meli, Peral, Juanito y Marichuy** gracias por el apoyo brindado, valoro en gran manera su cariño y la forma particular de expresarlo.

Y porque a muy poca gente aprecio con sinceridad, a las amistades forjadas de risas, horas de escuela, salidas o diversiones; otros de un momento clave vivido en coincidencia y aquellas que nacieron sin saber por qué a: **Ibarra, Chuy, Deneb, Meche, Tomasita, Cristhyan y Betsabé**.

Sinceramente

Mariela Anelí Hernández Coutiño

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Mariela Anelí Hernández Coutiño.
Fecha de nacimiento: 02 de agosto de 1991.
Lugar de nacimiento: Venustiano Carranza, Chiapas
CURP: HECM910802MCSRTR01
Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia.
Cédula profesional: 9607673.

Desarrollo académico

Preparatoria: 2006-2009 CECyT 022 “Ricardo Flores Magón”
Venustiano Carranza, Chiapas

Licenciatura: 2010-2014 Ingeniero Agrónomo Especialista en
Fitotecnia. Universidad Autónoma
Chapingo.

Maestría: 2015-2016 Maestro en Ciencias en Horticultura.
Instituto de Horticultura, Universidad
Autónoma Chapingo.

RESUMEN GENERAL

SELECCIÓN DE TOMATES SILVESTRES CON TOLERANCIA A SALES

Altas concentraciones de sales en el suelo son una limitante para el desarrollo del tomate, especialmente en áreas donde el agua de riego es de baja calidad, condición cada vez más frecuente en la agricultura; así, la identificación de resistencias genéticas a esta condición obliga a explorar la variación existente en poblaciones nativas. El objetivo de la presente investigación fue identificar colectas de tomates nativos tolerantes a sales durante su desarrollo. Se realizaron tres experimentos en las etapas de germinación, plántula y planta adulta, bajo condiciones salinas (70, 70 y 80 mM de NaCl, respectivamente). La presencia de NaCl en la solución nutritiva produjo reducciones significativas en el desarrollo de las colectas en las tres pruebas. La prueba de germinación permitió detectar, a partir de 96 colectas, diez tolerantes con velocidad y porcentaje de germinación altos. En la prueba de plántula se utilizaron 29 colectas con mejor comportamiento en la fase anterior; de éstas, diez mostraron reducciones menores en altura de planta, materia seca y número de plantas vivas. En la prueba de planta adulta se evaluaron 13 colectas; donde los caracteres más afectados ante la presencia de sales fueron el rendimiento, la acumulación de materia seca, y la disminución de contenidos K y Ca, que redujeron 77, 63, 26 y 24 %, respectivamente, en relación a la condición normal. La presencia de variación genética de la tolerancia a sales en el germoplasma estudiado, permitió su selección. La identificación de 21 colectas con tolerancia en diferente estado de desarrollo, implica que esta cualidad probablemente se asocia a mecanismos genéticos diferentes; aunque la presencia de seis colectas con tolerancia en las tres etapas vislumbra la posibilidad de conjuntar estos genes a través del mejoramiento genético. Otra estrategia para el uso inmediato de colectas tolerantes es mediante portainjertos, técnica que debe ser evaluada.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., contenido nutrimental, germinación, plántula, planta adulta, calcio.

GENERAL SUMMARY

SELECTION OF WILD TOMATOES WITH SALT TOLERANCE

High salt concentrations in the soil are a limitation for tomato development, especially in areas where irrigation is of poor quality, an increasingly frequent condition in agriculture; for this, the identification of genetic resistance to this condition requires exploring the variation in native populations. The aim of this research was to identify native tomato collections tolerant to salt during their development. Three experiments in the germination, seedling and adult plant stages were carried out under saline conditions (70, 70 and 80 mM NaCl, respectively). In each experiment, significant reductions in the development of the collections were obtained due to the presence of NaCl in the nutrient solution. In the germination experiment with 96 collections, 10 tolerant collections with a high germination rate and percentage were identified. In the seedling stage, 29 collections with better performance in the previous phase were used; of these, 10 showed lower plant height, dry matter and number of live plants. For the adult plant, 13 collections were evaluated, where the most affected characters being the presence of salts were fruit yield, dry matter accumulation, and K and Ca contents, which were reduced by 77, 63, 26 and 24 %, respectively, in comparison to the normal condition. Selection was allowed due to the presence of genetic variation in salt tolerance in the studied germplasm. The identification of 21 collections with tolerance in different development stages implies that this character is probably associated with different genetic mechanisms, although the presence of six collections with tolerance in the three stages raises the possibility of combining these genes through genetic improvement. Another strategy for the immediate use of tolerant collections is through rootstocks, a technique which must be evaluated.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., nutrient content, germination, seedlings, adult plants, calcium.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El tomate es un cultivo con gran influencia y derrame económico sobre otros sectores que subsisten de su producción y comercialización, a través de la generación de empleos, debido a la gran cantidad de mano de obra requerida. En México se siembran alrededor de 51 mil ha con rendimiento promedio de $62 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$; es el primer exportador mundial, lo que representó en 2015 el mayor ingreso de divisas (1,345 millones de dólares) de nuestro país en el rubro de exportaciones agropecuarias (SIAP, 2015).

México posee amplia variabilidad genética en poblaciones silvestres de tomate, producto de largos procesos de diversificación y domesticación; muchos de estos materiales son tolerados, promovidos y en algunos casos cultivados (Juárez-López *et al.*, 2012). Debido a la capacidad adaptativa de estas poblaciones, es posible que posean caracteres de importancia para el mejoramiento genético de este cultivo (Cervantes-Moreno *et al.*, 2014) en aspectos como: tipo de raíz, tallo, follaje, factores bióticos y abióticos adversos como resistencia a plagas, enfermedades, sequía y salinidad, entre otros

La salinidad es uno de los principales agentes abióticos que limita fuertemente la actividad agrícola al reducir el número de especies posibles de cultivar y su rendimiento, debido a la reducción del potencial hídrico del medio, lo que dificulta la absorción de agua durante las etapas ontogénicas de las plantas, y por la absorción de iones como sodio y cloruros que generan problemas nutricionales y toxicidad (Yokoi *et al.*, 2002).

En los programas de mejoramiento se han desarrollado técnicas para obtener genotipos tolerantes a sales; sin embargo el empleo directo de especies silvestres como donantes ha demostrado ser ineficiente (Cuartero *et al.*, 2006), por lo que su uso como portainjertos puede ser una alternativa viable.

Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue identificar fuentes genéticas de tolerancia a sales en colectas de tomate silvestre durante la germinación, el desarrollo de plántula y planta adulta.

2. REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL

La superficie destinada a la producción de tomate ha decrecido en los últimos años debido a diversos factores, entre ellos plagas y enfermedades, estas últimas son un factor que disminuyen la cantidad y calidad de la producción (Sory *et al.*, 2010).

Las enfermedades de mayor importancia económica del tomate en México son los tizones temprano y tardío, las pudriciones radicales o ahogamiento (Rodríguez *et al.*, 2011) y el ataque de nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp. y *Nacobbus aberrans*), las cuales causan pérdidas en la producción hasta de 100 % (Cervantes-Moreno *et al.*, 2014).

Sin embargo la salinidad es considerada como el principal factor ambiental causante de la reducción del crecimiento y de la producción vegetal a escala mundial ya que aproximadamente 10 % de la superficie terrestre está constituida por suelos salinos (Frahm *et al.*, 2004). Varias son las causas vinculadas a los procesos de salinización, entre las cuales es posible citar el deficiente y excesivo empleo de fertilizantes, uso de agua de baja calidad con exceso de sales, mal drenaje del suelo y tala de vegetación arbórea (Tanwar, 2003).

La salinidad afecta de diversas maneras a las plantas de tomate. A nivel de germinación disminuye y prolonga el tiempo en el cual se lleva a cabo este proceso; puede reducir el número de flores, incrementar la esterilidad y alterar la duración de la floración y la maduración. Los tallos alcanzan una menor altura, las hojas se reducen en número y tamaño, y presentan desecación en sus bordes; ello provoca una menor producción de fotoasimilados. El número y peso de los frutos también se afectan en forma negativa, de manera que el rendimiento comercial disminuye. Otro proceso afectado, es la asimilación de CO₂, que causa la disminución de la fotosíntesis neta debido al cierre estomático. Sin embargo puede mejorar la calidad de los frutos en términos organolépticos, al incrementar el contenido de compuestos solubles, concentración de ácidos orgánicos y licopeno (Goykovic y Saavedra, 2007; Munns y Tester, 2008).

El estrés salino también altera las relaciones hídricas de las plantas a través de las modificaciones del potencial osmótico e hídrico. La respuesta fisiológica ante estos cambios, es el desarrollo del ajuste osmótico, que permite mantener suficiente turgencia para permitir el crecimiento, transporte, acumulación y compartimentación de los iones inorgánicos y los solutos orgánicos (Morales *et al.*, 2002).

En este sentido las consecuencias negativas que sufre la planta ante la presencia de concentraciones elevadas de sodio pueden resumirse en tres tipos:

- 1) Efectos sobre la osmoregulación. La alteración causada por concentraciones altas de sales produce la deshidratación de las células de la planta, debido a la disminución del potencial osmótico en el agua del suelo, lo cual dificulta la absorción de agua, fenómeno similar al ocurrido ante un estrés hídrico. Como resultado disminuye el crecimiento y puede ocurrir la muerte de la planta (Seelig, 2000).
- 2) Efectos iónicos. La abundancia de iones Na^+ dentro del citoplasma de las células vegetales provoca, de manera general: i) interferencia con los procesos de producción de energía de la membrana, tales como la cadena de transporte de electrones en cloroplasto y mitocondria; ii) reducción en la actividad de los sistemas enzimáticos en la glicólisis y iii) reducción en la absorción de iones esenciales del suelo como NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} (Trejo-Tellez *et al.*, 2012).
- 3) Consecuencias metabólicas. La producción de energía es afectada por altas concentraciones iónicas y como resultado, las tasas respiratorias y fotosintéticas muestran una disminución (Trejo-Tellez *et al.*, 2012).

La intensidad de las respuestas de la planta depende del genotipo, de la duración y severidad del estrés, así como de la etapa fenológica; ya que la tolerancia en la etapa inicial (germinación) no presenta asociación con la tolerancia durante el crecimiento vegetativo, floración y fructificación. Se ha mostrado que durante el estado de plántula es altamente susceptible, y que el crecimiento del fruto es más afectado que el de la parte aérea (Morales *et al.*, 2002). En respuesta, las plantas activan diversos mecanismos de defensa a nivel molecular, morfológico, fisiológico y celular (Peleg *et al.*, 2011).

Las diferentes especies y variedades presentan gran variabilidad, en la tolerancia a diferentes tipos de estrés. El tomate es considerado una especie glicófita (moderadamente tolerante a la salinidad), ya que presenta una tolerancia máxima a la conductividad eléctrica de los extractos de saturación del suelo de 2.5 dS·m (Chinnusamy *et al.*, 2005).

El uso de aguas salinas en la agricultura también es un problema patente en condiciones de invernadero, lo cual se complica cuando la nutrición y el manejo del riego se hacen de manera inapropiada (Estrada-Trejo *et al.*, 2014). Confrontar estos factores requiere más de una estrategia en el manejo de los cultivos que involucran técnicas agronómicas tendientes a reducir los efectos deletéreos del NaCl como: uso de injertos sobre patrones tolerantes, mejoramiento del drenaje, peletización de semillas, acondicionamiento de plántulas, aumento de la humedad relativa, fertilización potásica y cálcica e inoculación del suelo con micorrizas (Cuartero y Fernández-Muñoz, 1998, Goykovic y Saavedra, 2007).

3. TOMATES SILVESTRES CON TOLERANCIA A SALES DURANTE GERMINACIÓN Y PLÁNTULA

3.1. RESUMEN

El tomate es un cultivo altamente susceptible a la salinidad, condición del suelo cada vez más común en áreas productoras de riego. Es por ello cobran gran importancia sus poblaciones silvestres, ya que en estas existe la posibilidad de identificar genes para mejorar la resistencia a este factor. El objetivo de la presente investigación fue seleccionar poblaciones de tomate nativo con tolerancia a sales durante la germinación y durante el desarrollo de plántula. Para ello, en semilla de 96 colectas nativas se realizó una prueba en cámara germinadora (25 °C y 80 % H. R.) en dos concentraciones de NaCl (0 y 70 mM). Se determinó el porcentaje y velocidad de germinación y la producción de materia seca de plúmula y radícula. Posteriormente, las mejores colectas (29) fueron sembradas en charolas de polipropileno con sustrato de turba. Treinta días después de la siembra se evaluó: longitud y acumulación de materia seca de plántula, número de plántulas vivas y escala visual de daño. Mediante análisis multivariados, se identificaron diez colectas con tolerancia a sales. De éstas, cinco tuvieron buen desempeño en ambas evaluaciones al mostrar menor disminución de materia seca y mayor velocidad de germinación y emergencia en la condición salina, situación debida a que probablemente durante sus procesos de adaptación o domesticación fueron expuestas a condiciones de salinidad en suelo, lo que sugiere la posibilidad de seleccionar otros materiales de interés, no sólo con la característica estudiada.

Palabras claves: *Solanum lycopersicum* L., germinación, plántula, salinidad.

SALT TOLERANCE OF WILD TOMATOES DURING GERMINATION AND SEEDLING GROWTH

3.2. SUMMARY

Tomato crops are highly susceptible to salinity, a soil condition increasingly common in production areas where irrigation is used. For this, wild tomato species has gained great importance because of the possibility of identifying in them genes that can improve resistance to drought. The objective of this research was to select native tomato populations with tolerance to salt during germination and seedling development. In order to do this, seeds of 96 native tomato plants were germinated in a chamber (25 ° C and 80% H.R) in two concentrations of NaCl (0 and 70 mM). Germination percentage, germination rate and dry matter production of plumule and radicle were determined. Then, the best plant material (29) was sown in polypropylene trays filled with peat moss. Thirty days after sowing, seed length, dry matter accumulation, the number of healthy seedlings and visual scale of damage were evaluated. By means of multivariate analysis, ten out of the collection showed tolerance to salt. Of these, five obtained good results in both evaluations by showing a little decrease of dry matter and increased germination and emergence rate in salinity condition. Situation possible due to the fact that during the processes of adaptation or domestication the plants were exposed to the salinity conditions in the soil, which suggests the possibility of selecting other materials of interest, not only of the studied characteristic.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L, germination, seedling, salt conditions

3.3. INTRODUCCIÓN

La salinidad es uno de los principales problemas ambientales que afectan el crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas en los suelos agrícolas. El incremento de salinidad representa una seria amenaza en todo el mundo (Alam *et al.*, 2004), principalmente en zonas semiáridas, irrigadas y mal drenadas (De Abreu *et al.*, 2008), cuyos suelos sufren modificaciones fisicoquímicas debido a este factor (Rengasamy, 2010).

El tomate es considerado como una planta moderadamente tolerante a la salinidad, aunque es más sensible en el estado de plántula; además, durante la etapa productiva, el desarrollo del fruto y de la parte aérea son severamente dañados (Lu *et al.*, 2010; Amjad *et al.*, 2014).

La solución del suelo disminuye su potencial osmótico ante la presencia de NaCl y la entrada de los iones Na^+ y Cl^- a la planta genera tensiones osmóticas e iónicas que causa disminuciones de las concentraciones de K^+ , Ca^{2+} y NO_3^- de la planta (Tavakkoli *et al.*, 2011). Así mismo, se genera un déficit hídrico que afecta la conductancia estomática, el crecimiento de las hojas y fotosíntesis, lo que repercute directamente en la disminución del crecimiento. A nivel de raíces, se disminuye la absorción de agua al afectar el crecimiento de estos órganos, mientras que las plantas alcanzan una menor altura (Katerji *et al.*, 2003).

A medida que aumenta la concentración de sales en el sustrato, disminuye el porcentaje de germinación y se prolonga el periodo en que este proceso se lleva a cabo. Estas respuestas se observan tanto en especies cultivadas como en silvestres (Goykovic y Saavedra, 2007).

Plántulas de tomate de diferentes variedades desarrolladas en solución nutritiva, difieren en la capacidad de asimilar iones de sodio en bajas cantidades, por lo cual esta característica debe considerarse durante la selección de genotipos tolerantes a la salinidad (Reina-Sánchez *et al.*, 2005).

Chetelat *et al.*, (2009) señalan a *S. sitiens*, *S. chilense* y *S. peruvianum* entre las especies silvestres con tolerancia a la salinidad; sin embargo a pesar de ser especies

emparentadas con el tomate cultivado, ha sido difícil transferir los genes con tolerancia a variedades comerciales, debido a la gran cantidad de genes involucrados, la mayoría con efectos aditivos, y a la interacción genotipo ambiente, así como a los altos costos que implica la recuperación de la base genética del cultivar receptor (Cuartero *et al.*, 2006).

Una alternativa rápida para el aprovechamiento de materiales silvestres tolerantes a condiciones adversas es emplearlos como portainjertos, como lo sugieren Cervantes-Moreno *et al.* (2014), al referirse a la tolerancia a nematodos (*Meloidogyne incognita* [Kofoed and White] Chitwood); así mismo, Sory Toure *et al.* (2010) corroboraron en un genotipo criollo usado como portainjerto, mayor plasticidad anatómica en los vasos del xilema, lo que sugiere mayor capacidad de adaptación y la posibilidad de realizar selección para identificar colectas sobresalientes en términos de su compatibilidad con variedades comerciales.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue seleccionar poblaciones de tomate nativo con tolerancia a sales durante la germinación y durante el desarrollo de plántula.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en invernaderos y laboratorios de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México (19°29' LN, 98°53' LO y 2240 msnm), durante 2015 y 2016.

3.4.1. Pruebas de tolerancia a sal durante germinación

Se estudiaron 96 poblaciones de tomate silvestre provenientes de diferentes estados de la república mexicana, colectadas por el Proyecto de Mejoramiento Genético de Tomate de la UACH, y el híbrido comercial El Cid (Harris Moran®). De éstos, 47 colectas fueron evaluados en términos de variabilidad genética por Marín *et al.* (2016) y nueve por Cervantes-Moreno *et al.* (2014) para tolerancia a nematodos.

Se evaluaron dos concentraciones de NaCl (0 y 70 mM), calculadas mediante la fórmula: $X=M(C)/(1/V)$; donde: X es la masa de solutos (g), M es la masa molecular del NaCl ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$), C la concentración (Mol) y V es el volumen (L) de la solución. Para su preparación se utilizó agua destilada y NaCl con 99.3 % de pureza.

La unidad experimental fue una caja Petri de 9 cm de diámetro, con 25 semillas y papel filtro como sustrato, saturado con 2.5 ml de agua destilada o con la solución salina (70 mM). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones.

La prueba de germinación se realizó durante 15 días en cámara (LAB-TECH INC. Modelo D-7140) en oscuridad constante, temperatura de 25 °C y humedad relativa de 80 %.

Se realizaron 15 conteos diarios de las semillas germinadas, una semilla germinada se consideró cuando ocurrió la protrusión de la radícula. Al final de la prueba se evaluó: Porcentaje de germinación (%)

Índice de Velocidad de Germinación (IVG), de acuerdo con la fórmula propuesta por Maguire (1962):

$$IVG = \sum_{i=1}^n (x_i/d_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde: n = número de conteos realizados durante la prueba; X_i = número de semillas germinadas entre el conteo i-1 y el conteo i; d_i = número de días después de la siembra en el conteo i.

A partir de 5 plántulas de la unidad experimental, se registró el promedio de la Longitud de Plúmula (LP) y de la Longitud de Radícula (LR), ambas en centímetros.

Las plúmulas y radículas de toda la unidad experimental fueron secadas a 32 °C durante 5 días y se registraron los pesos secos correspondientes (PSP y PSR respectivamente), expresados en mg.

3.4.2. Pruebas de tolerancia a sal durante plántula

Las 29 colectas con mayor tolerancia en la fase anterior, fueron sembradas en charolas de polipropileno de 200 cavidades con sustrato de turba. Durante los primeros 7 días después de la siembra (dds) se regaron con agua destilada. Entre 8 y 14 dds se utilizó solución nutritiva de Steiner (1961) con concentración de 25 %. A partir de 15 dds se iniciaron los tratamientos con soluciones salinas mediante el riego con la solución nutritiva Steiner al 100 %, adicionada con 4 g de sal calidad reactivo por litro, con lo que se logró una concentración de 70 mM de NaCl. En el caso de testigos, se aplicó solución nutritiva en concentración de 100 %. Estos tratamientos se mantuvieron hasta finalizar la prueba (30 dds).

La unidad experimental consistió de 36 plántulas. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Treinta días después de la siembra se evaluaron los caracteres: Número de Plántula Vivas (PV); Vigor de plántula (VP) de acuerdo con la escala visual de la Figura 3.1; Altura de Plántula (AP, en cm); Materia Seca de Plántula (MSPA en mg), para ello la parte aérea fue secada en estufa a 40 °C hasta peso constante.

3.4.3. Análisis estadísticos

La realización de los análisis estadísticos fue similar en ambas pruebas. Inicialmente, para cada variable registrada, se calcularon índices de tolerancia a sales a partir de los cocientes de los promedios de la variable obtenida en condición salina entre el promedio de la variable correspondiente la condición sin estrés.

Con dichos índices se realizó un análisis multivariado de agrupamiento a partir de la matriz de distancias euclidianas cuadradas. El dendrograma se construyó con el algoritmo de mínima varianza de Ward. La altura de corte con base en el criterio cúbico de agrupamiento (Statistical Analysis System [SAS], 1983) y la pseudo estadística t^2 (Hotelling, 1951).

Para corroborar las agrupaciones generadas, a los promedios de los índices de tolerancia por colecta se les aplicó un análisis discriminante, en donde se consideró como variable clasificatoria los grupos generados en el análisis anterior. Finalmente con los caracteres originales se realizaron análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey para describir grupos de colectas identificados. Se usó el paquete estadístico SAS, versión 9.1.



Figura 3 1. Escala visual de vigor de planta de tomate

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Tolerancia a sal durante germinación

En el dendrograma construido con el algoritmo de mínima varianza de Ward (Figura 3.2), se determinó que el número de grupos óptimos fue seis. Estos grupos fueron definidos a partir del criterio cúbico de agrupamiento, con una altura de corte de 0.04 r^2 semiparcial. Así, las variaciones en tolerancia a sales durante la germinación permitieron agrupar colectas con comportamiento similar dentro de grupos, pero con tolerancia diferente entre grupos.

El análisis discriminante consideró a los seis conjuntos de colectas identificados por el análisis de agrupamiento como variable categórica. Dos variables discriminantes, VD1 y VD2, explicaron 74 % de la variación total de los datos, con 52 y 22 %, respectivamente.

La estructura canónica determinó las asociaciones lineales entre las funciones discriminantes generadas y los 6 caracteres usados en el análisis. La VD1 se asoció en forma positiva con la producción de materia seca de plúmula y germinación ante el estrés salino; en tanto que altos valores de VD2 indicaron mayor longitud de radícula en esta condición. Es decir, valores altos de VD1 y VD2, implicaron mayor tolerancia al estrés salino.

La representación gráfica de ambas variables discriminantes de cada colecta evaluada, se presenta en la Figura 3.3 La interpretación de ésta indica que la mayor producción de materia seca de plúmula y el mayor porcentaje de germinación en sales lo presentó el grupo 6 (altos valores de VD1), conformado por 10 colectas con la mayor tolerancia a sales. El grupo 2 sobresalió por el desarrollo de la radícula (alta VD2). Otro grupo de interés fue el 5, el cual se ubicó en la figura cerca del grupo 6.

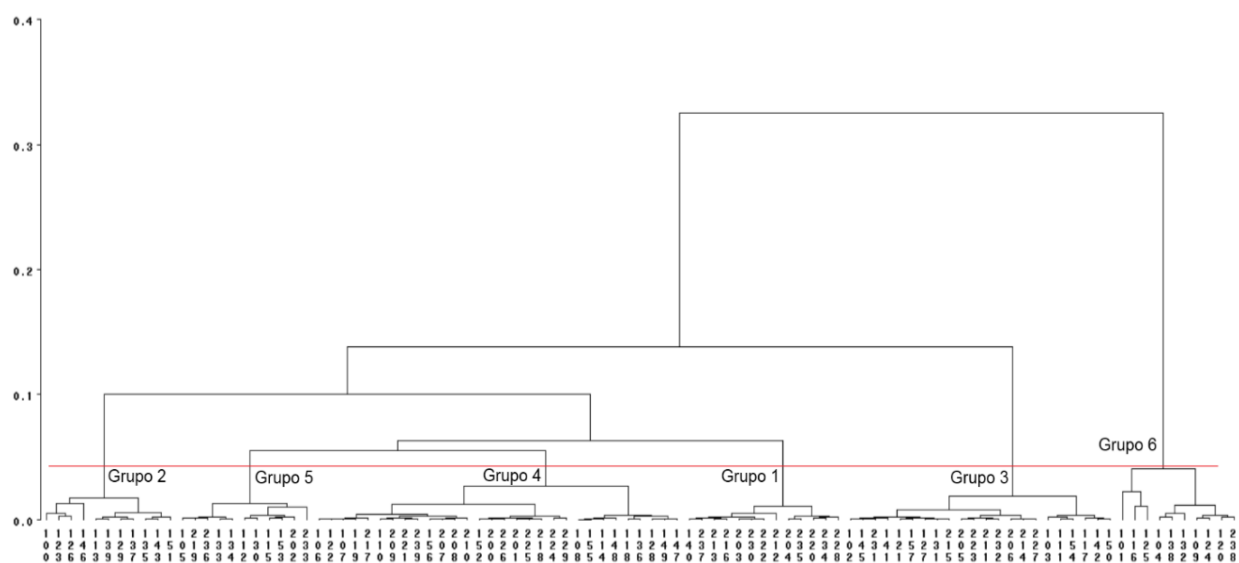


Figura 3 2. Dendrograma jerárquico (distancias euclidianas y método de Ward) de 96 colectas de tomate silvestre germinadas bajo estrés salino.

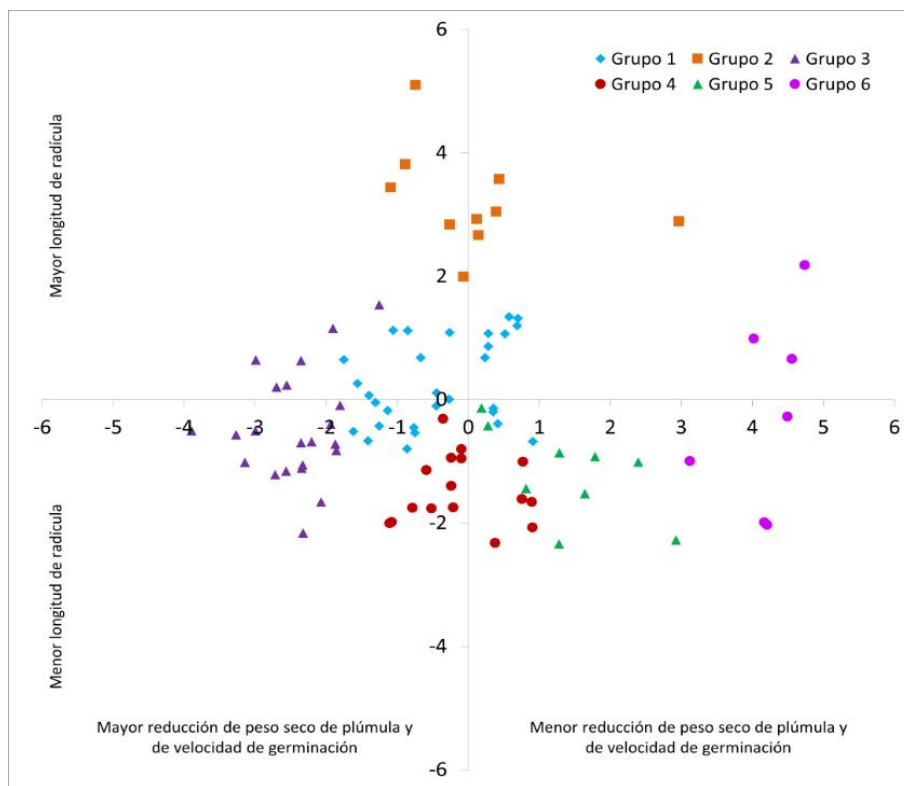


Figura 3 3. Representación de variables discriminantes de 96 colectas de tomate silvestre germinadas bajo estrés salino.

El grupo con mayor susceptibilidad fue el 3, caracterizado por el menor desarrollo de materia seca y germinación. Los grupos 1 y 4 tuvieron comportamiento promedio con respecto a la tolerancia a sales. Estrada-Trejo *et al.* (2014) indican que tanto la acumulación de materia seca, como la velocidad de germinación, son caracteres fuertemente afectados por el estrés salino; con base en ello la discriminación de colectas tolerantes fue posible mediante el método empleado.

Los análisis de varianza de los caracteres originales (Cuadro 3.1) indicaron que los grupos formados difirieron estadísticamente en las seis variables evaluadas; en contraste, Casierra-Posada *et al.* (2013) no detectaron diferencias significativas en la interacción híbrido x nivel de salinidad. En el presente estudio las colectas tuvieron diferente grado de tolerancia a sales, y al ser de origen diverso indican la existencia de diferentes estrategias para tolerar este factor adverso; que pueden involucrar adaptaciones tanto morfológicas, como fisiológicas (Cuartero *et al.*, 2006). A excepción

de PG y PSR, se encontraron diferencias entre colectas dentro de grupos, lo que implica que existe aún variación interna en el comportamiento ante sales.

Los coeficientes de variación, fueron altos (31-74 %) situación debida al estrés generado por las concentraciones de sales empleadas, así como por la variabilidad generada por la heterogeneidad genotípica de las colectas.

Cuadro 3 1. Análisis de varianza de caracteres evaluados en 96 colectas de tomate en dos concentraciones salinas

FV	GL	PG	IVG	LP	LR	PSP	PSR
GRUPO	5	15049.27 **	42.67 **	55.00 **	23.98 **	28.03 **	3.66 **
COL(GRUPO)	91	816.57	3.94 **	5.43 **	3.87 **	28.24 **	1.01
BLOQUE	3	3150.35	3.23	7.45	14.93 **	32.42	2.69
ERROR	278	542.88	1.00	1.44	1.47	9.95	0.60
TOTAL	377						
CV (%)		31.33	36.92	42.07	45.18	41.50	74.31
MEDIAS		74.37	2.70	2.85	2.68	0.02	0.003

FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; PG= Porcentaje de germinación; IVG= Índice de velocidad de germinación; LP= Longitud de plúmula; LR= Longitud de radícula; PSP= Peso seco de plúmula; PSR= Peso seco de radícula; COL= Colecta; GRU= Grupo; CV= Coeficiente de variación. ** Significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Las comparaciones de medias indicaron que las colectas pueden poseer diversas estrategias para soportar la salinidad, ya que los conjuntos formados en el análisis de agrupamiento, fueron contrastantes (Cuadro 3.2). El grupo con mayor tolerancia fue el 6, el cual sólo mostró disminución en LR; en tanto que el grupo 3 redujo la expresión de todos los caracteres.

La mayoría de las poblaciones fueron afectadas en diferente grado, probablemente debido a los límites máximos de tolerancia a la salinidad en la germinación del germoplasma estudiado, situación prevista por Cuartero y Fernández-Muñoz (1998) en variedades comerciales de tomate.

Cuadro 3 2. Comparación de medias de caracteres clasificadas en seis grupos evaluados de 96 colectas de tomate

GRUPO	PG (%)	IVG	LP (cm)	LR (cm)	PSP (mg)	PSR (mg)
1	84.4 A	2.97 B	2.78 C	3.13 A	0.029 AB	0.004 A
2	83.8 A	3.23 B	3.83 B	2.98 A	0.032 A	0.003 AB
3	50.3 C	1.42 C	2.00 D	1.99 B	0.014 D	0.002 B
4	85.7 A	2.88 B	2.11 D	3.38 A	0.021 C	0.004 A
5	69.1 B	2.82 B	2.93 C	2.05 B	0.024 BC	0.004 A
6	78.0 AB	3.78 A	4.76 A	2.26 B	0.027 AB	0.004 A
DMSH	12.76	0.55	0.66	0.67	0.006	0.001

PG= Porcentaje de germinación; IVG= Índice de velocidad de germinación; LP= Longitud de plúmula; LR= Longitud de radícula; PSP= Peso seco de plúmula; PSR= Peso seco de radícula; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$).

Por otra parte los efectos negativos de la salinidad durante la germinación, dependen principalmente del control del potencial osmótico del embrión; lo que a su vez repercute en la velocidad de imbibición (Dahal *et al.*, 1990); así, las colectas susceptibles debilitaron la estructura del endospermo y de la cubierta de la testa, por lo que se redujo o se inhibió la germinación.

3.5.2. Tolerancia a sal durante plántula

La evaluación de la tolerancia de las plántulas se hizo en las colectas con mejor desempeño durante la fase anterior; es decir, todas las del grupo 6 y algunas de los grupos: 1, 2, 4 y 5, con el propósito de contrastar comportamientos.

El dendrograma, construido con una altura de corte de 0.03 r^2 semiparcial, determinó que el número de grupos óptimos fue cinco (Figura 3.4). Las variables discriminantes (VD1 y VD2) explicaron 97 % de la variación total; la primera con 76 % que se asoció en forma positiva con la menor pérdida de altura, número de plantas vivas y vigor ante el estrés salino y la segunda con 21 % que expresó altos valores de materia seca. Cuartero *et al.* (2006) mencionan que este carácter en tomate, es un indicador del

crecimiento y de la productividad; que posee baja heredabilidad en comparación con las de los mecanismos involucrados en la regulación del contenido de iones en los tejidos y en el control de las relaciones hídricas.

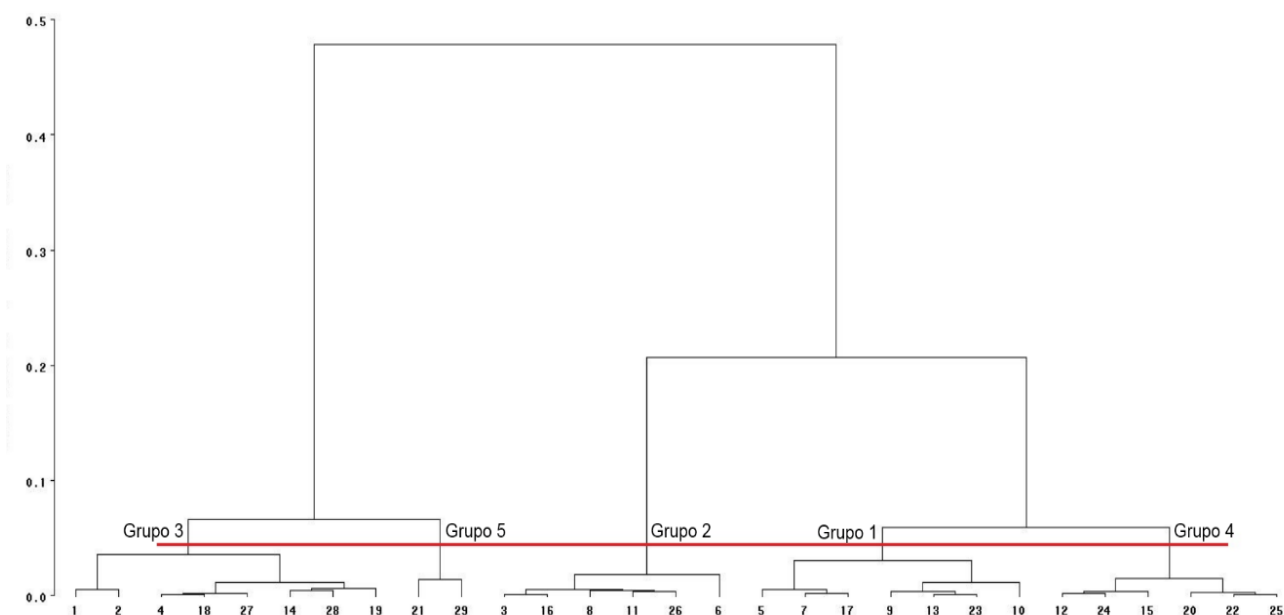


Figura 3 4. Dendrograma jerárquico (distancias euclidianas y método de Ward) de 29 colectas de tomate silvestre bajo estrés salino durante el estado de plántula.

Las colectas que presentaron mayores valores de AP, DS, PV y MSPA en sales, están en el grupo 5, conformado por 2 accesiones, debido posiblemente a que presentan mayor concentración de prolina, aminoácido que aumenta en presencia de estrés salino y que contribuye a reducir el potencial de solutos en presencia de sequía (Mohamed *et al.*, 2007), situación que debe ser corroborada. El grupo 3 presentó tendencia similar al grupo anterior, en tanto que el peor grupo fue el 2 (Figura 3.5).

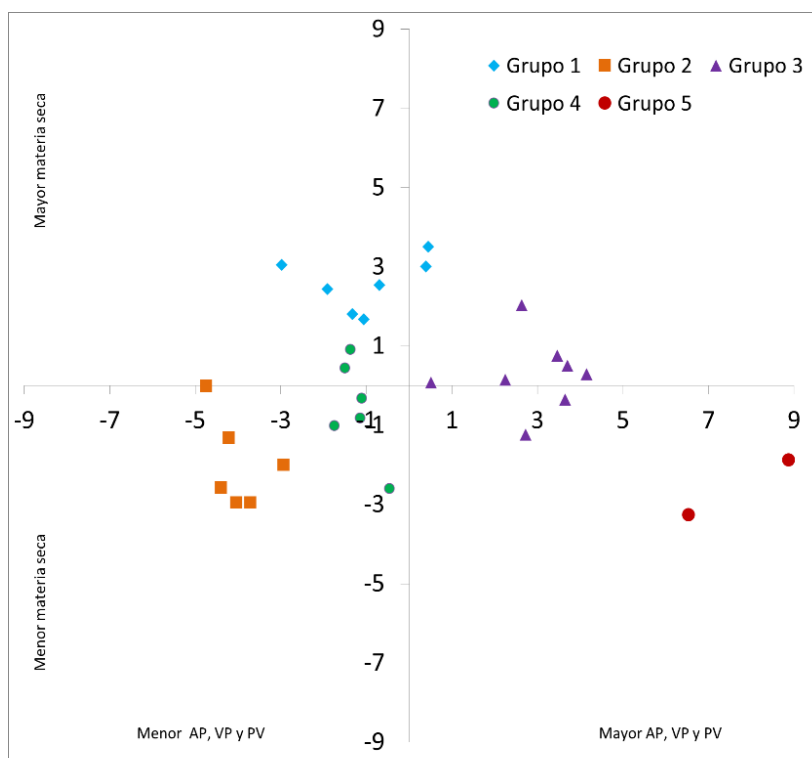


Figura 3 5. Representación de dos variables discriminantes de 29 colectas de tomate silvestre bajo estrés salino durante el estado de plántula (AP= altura de plántula, VP=vigor de plántula, PV=número de plántulas vivas).

El análisis de varianza detectó significancias estadísticas que evidencian las diferencias entre grupos en los índices de tolerancia. Los coeficientes de variación oscilaron entre 35 y 57 %, los que se consideran altos, debido al estrés aplicado durante el desarrollo de las plántulas (Cuadro 3.3). Llama la atención que las colectas dentro de cada grupo no tuvieron diferencias estadísticas, lo que indica que se trata de conjuntos homogéneos.

Las comparaciones de medias del Cuadro 3.4 indicaron que los caracteres ante la alta concentración de sales disminuyeron su expresión ($P \leq 0.05$), aunque en proporción diferente de acuerdo con los grupos generados por el análisis multivariado, lo que permite afirmar que existe variación genética en las especies silvestres; resultados que coinciden con los de Goykovic *et al.* (2014). Así el grupo 5 tuvo mejor comportamiento en esta condición; el grupo 3 solo difirió ($P \leq 0.05$) con respecto al anterior al disminuir el número de plantas vivas. Las 6 colectas del grupo 2 fueron las de mayor susceptibilidad, al disminuir en mayor proporción el desarrollo de sus estructuras y la acumulación de materia seca.

Cuadro 3 3. Análisis de varianza de índices de tolerancia a sales de 29 colectas representadas en cinco grupos

FV	GL	PV	VP	AP	MSPA
GRUPO	4	665.58 **	12.87 **	13.27 **	0.0026 **
COL(GRUPO)	24	28.96	0.69	1.28	0.0003
BLOQUE	3	49.13	0.64	0.21	0.0001
ERROR	84	14.55	0.55	1.07	0.0003
TOTAL	115				
CV		57.02	37.4	35.57	50.27
MEDIAS		6.69	1.99	2.91	0.04

FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; PV= Plántulas vivas; VP= Vigor de plántula; AP= Altura de plántula; MSPA= Materia seca de plántula; COL= Colecta; CV= Coeficiente de variación. ** Significativo con $\alpha \leq 0.01$.

La mayor habilidad que mostraron las poblaciones es términos de germinación y que no se manifestó en el estado de plántula coincide con los resultados obtenidos por Goykovic *et al.* (2014). Esta habilidad probablemente está relacionada con la presión osmótica de las células, ya que los iones Na^+ y Cl^- pueden atravesar las membranas celulares y contribuir a disminuir el potencial de solutos y por tanto establecer un mayor flujo de agua (Bajji *et al.*, 2002), al mantener altos potenciales hídricos (Goykovic y Saavedra *et al.*, 2007); sin embargo, este proceso requiere gran consumo de energía, lo que reduce el crecimiento en forma irreversible al disminuirse la división celular y causar el engrosamiento prematuro de paredes celulares (Domínguez *et al.*, 2012).

Durante germinación solo 10 % de las colectas estudiadas (2, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 16, 19 y 22) tuvieron tolerancia a la salinidad. En la etapa de plántula, donde se evaluaron 29 materiales, 10 de ellos (34 %) fueron tolerantes. Únicamente 3 colectas (2, 19 y 28) fueron tolerantes en ambas etapas. Esto puede indicar que los mecanismos genéticos que controlan la tolerancia a esta condición adversa en diferentes etapas fenológicas son diferentes; sin embargo, podría ser posible conjuntarlos en un solo genotipo situación prevista por Foolad (1999).

Cuadro 3 4. Comparación de medias de caracteres evaluados de 29 colectas de tomate

GRUPOS	PV	VP	AP (cm)	MSPA (mg)
1	4.82 C	2.20 BC	3.22 A	0.04 A
2	2.17 C	0.94 D	1.63 B	0.02 B
3	9.41 B	2.59 AB	3.37 A	0.04 A
4	4.83 C	1.65 C	2.97 A	0.03 AB
5	21.5 A	3.06 A	3.61 A	0.04 A
DMSH	3.53	0.69	0.96	0.02

PV= Plantas vivas; PV= Plántulas vivas; VP= Vigor de plántula; AP= Altura de plántula; MSPA= Materia seca de plántula; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Se identificaron cinco colectas: 2, 19, 28, 21 y 29; las tres primeras con comportamiento adecuado en plántula y germinación, y las dos últimas sólo en estado de plántula. Éstas pueden considerarse para su uso dentro del mejoramiento genético o bien como portainjertos, situación que ha sido sugerida por Sory Toure *et al.* (2010). Estos materiales deberán ser evaluados en otras etapas fenológicas para corroborar su tolerancia.

El hecho de que las colectas sobresalientes posean mecanismos de tolerancia ya sea en una o en ambas etapas fenológicas estudiadas, puede atribuirse a que en algún momento del proceso de domesticación o adaptación, pudieron haber estado expuestas a condiciones salinas.

3.6. CONCLUSIONES

La variación de la tolerancia a sales observada en las colectas silvestres, abre la posibilidad de búsqueda de complejos genéticos útiles para la adaptación de la especie, ya sea mediante el mejoramiento genético, o bien mediante el empleo directo de las colectas como posibles portainjertos.

No se encontró evidencia de una asociación entre la tolerancia a sales en las etapas de germinación y de plántula; esto sugiere la acción de procesos fisiológicos diferentes

determinados por distintos complejos genéticos. Sin embargo, fue posible identificar colectas silvestres tolerantes a la salinidad en ambos estados ontogénicos.

3.7. LITERATURA CITADA

- Alam, M. Z., Stuchbury, T., Naylor, R. E. L., & Rashid, M. A. (2004). Effect of salinity on growth of some modern rice cultivars. *Journal of Agronomy*, 3, 1-10. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ2012052538>
- Amjad, M., Akhtar, J., Anwar-ul-Haq, M., Yang, A., Akhtar, S. S., & Jacobsen, S. E. (2014). Integrating role of ethylene and ABA in tomato plants adaptation to salt stress. *Scientia Horticulturae*, 172, 109-116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.03.024>
- Bajji, M., Kinet, J. M., & Lutts, S. (2002). Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). *Canadian Journal of Botany*, 80(3), 297-304. doi: 10.1139/B02-008
- Casierra-Posada, F., Arias-Aguirre, J. A., & Pachón, C. A. (2013). Effect of salinity caused by NaCl on hybrid tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Miller). *Orinoquia*, 17(1), 23-29. <http://orinoquia.unillanos.edu.co/index.php/orinoquia/article/view/38>
- Cervantes-Moreno, R., Rodríguez-Pérez, J. E., Carrillo Fonseca, C., Sahagún-Castellanos, J., & Rodríguez-Guzmán, E. (2014). Tolerancia de 26 colectas de tomates nativos de México al nematodo *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(1), 5-18. doi: 10.5154/r.rchsh.2012.12.071
- Cuartero, J., Bolarin, M. C., Asins, M. J., & Moreno, V. (2006). Increasing salt tolerance in the tomato. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1045-1058. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erj102>
- Cuartero, J. & Fernández-Múñoz R. (1998). Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae*, 78, 83-125. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erj102>
- Chetelat, R. T., Pertuzé, R. A., Faúndez, L., Graham, E. B., & Jones, C. M. (2009). Distribution, ecology and reproductive biology of wild tomatoes and related nightshades from the Atacama Desert region of northern Chile. *Euphytica*, 167(1), 77-93. doi: 10.1007/s10681-008-9863-6
- Dahal, P., Bradford, K. J. & Jones, R. A. (1990). Effects of priming and endosperm integrity on seed tomato genotypes: I. Germination at suboptimal temperature. *Journal Experimental Botany* 41, 1431-1440, doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/41.11.1431>

- De Abreu, C. E., Prisco, J. T., Nogueira, A. R., Bezerra, M. A., Lacerda, C. F. D., & Gomes-Filho, E. (2008). Physiological and biochemical changes occurring in dwarf-cashew seedlings subjected to salt stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20(2), 105-118. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202008000200003>
- Domínguez, A., Mita, N., Alemán, S., Pérez, Y., Sosa, M., & Fuente, L. (2012). Algunos indicadores morfológicos y bioquímicos de cinco variedades de *Phaseolus vulgaris* L., bajo condiciones de sequía. *Revista Avanzada Científica*, 15(2), 1-18.
- Estrada-Trejo, V., Lobato-Ortíz, R., García- De los Santos, G., Carrillo-Castañeda, G., Castillo-González, F., Contreras-Magaña, E., Ayala-Garay, O. J., De la O, O. M. & Artola M. A. (2014). Diversidad de poblaciones nativas de jitomate para germinación en condiciones salinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 1067-1079. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342014000600013
- Foolad, M. R. (1999). Comparison of salt tolerance during seed germination and vegetative growth in tomato by QTL mapping. *Genome*, 42(4), 727-734. doi: 10.1139/g98-163
- Goykovic, C. V., Nina, A. P. & Calle L. M. (2014). Efecto de la salinidad sobre la germinación y crecimiento vegetativo de plantas de tomate silvestres y cultivadas. *Interciencia*, 39(7), 511-517.
- Goykovic, C. V. & Saavedra del Real G. (2007). Algunos de los efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia Chile*, 25(3), 47-58. http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292007000300006&script=sci_arttext
- Hotelling, H. (1951). A generalized t test and measure of multivariate dispersion. *Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. Berkeley, California: University of California Press, https://projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.bsmsp/1200500217
- Katerji, N., Van Hoorn, J. W., Hamdy, A., & Mastrorilli, M. (2003). Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural water management*, 62(1), 37-66. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00005-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00005-2)
- Lu, S., Li, T., & Jiang, J. (2010). Effects of salinity on sucrose metabolism during tomato fruit development. *African Journal of Biotechnology*, 9(6), 842-849. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/78088>
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination, aid in selection and evaluation of seedling emergence vigor. *Crop Science*, 2, 176-177. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/2/2/CS0020020176>
- Marín-Montes, I. M., Rodríguez-Pérez, J. E., Sahagún-Castellanos, J., Hernández-Ibáñez, L., & Velasco-García, Á. M. (2016). Morphological and molecular variation

- in 55 native tomato collections from Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(2), 117-131. doi: 10.5154/r.rchsh.2016.03.008
- Mohamed, A. N., Rahman, M. H., Alsadon, A. A., & Islam, R. (2007). Accumulation of proline in NaCl-treated callus of six tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *Plant Tissue Culture Biotechnology*, 17(2), 217-220. doi: 10.3329/ptcb.v17i2.3242
- Rengasamy, P. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37(7), 613-620. <http://dx.doi.org/10.1071/FP09249>
- Reina-Sanchez, A., Romero-Aranda, R., & Cuartero, J. (2005). Plant water uptake and water use efficiency of greenhouse tomato cultivars irrigated with saline water. *Agricultural water management*, 78(1), 54-66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.021>
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (1983). SAS technical report A108. Cubic clustering criterion. Cary, N.C. USA, https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/v82/techreport_a108.pdf
- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*, 15(2), 134-154. doi: 10.1007/BF01347224
- Tavakkoli, E., Fatehi, F., Coventry, S., Rengasamy, P., & McDonald, G. K. (2011). Additive effects of Na⁺ and Cl⁻ ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 62(6), 2189-2203. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq422>
- Sory Toure, A., Nieto-Ángel, R., Rodríguez-Pérez, J. E., Barrientos-Priego, A. F., Ibáñez-Castillo, L. A., Romanchik, K., & Núñez-Colín, C. A. (2010). Variación anatómica del xilema en tallo de cultivares de tomate injertados en un tipo criollo. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(1), 67-76.

4. TOMATES SILVESTRES CON TOLERANCIA A SALES DURANTE PLANTA ADULTA

4.1. RESUMEN

La tolerancia a sales de variedades comerciales de tomate es baja, razón por la que el estudio de materiales silvestres en busca de resistencias es de gran importancia para el mejoramiento del cultivo. La presente investigación tuvo como propósito identificar colectas de tomate nativas de México con tolerancia a sales durante el desarrollo de planta adulta. Para ello, siete colectas con tolerancia a salinidad durante la germinación y seis con tolerancia en plántula, fueron cultivadas bajo dos concentraciones salinas (0 y 80 mM) aplicadas 20 días después del trasplante en condiciones de invernadero en un sistema hidropónico abierto. Se usó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En los tres racimos iniciales se realizó la evaluación de: sólidos solubles totales, intensidad de color verde de hojas, altura de planta, rendimiento y número de frutos, adicionalmente se cuantificaron las concentraciones de N, Ca, Mg y K. Los análisis multivariados, identificaron seis colectas con tolerancia a sales, donde cuatro tuvieron buen desempeño en dos etapas fenológicas anteriormente evaluadas al mostrar mayor producción de materia seca y contenido de N, K, Mg y Ca en la condición salina. Situación debida a que probablemente durante sus procesos de adaptación o domesticación fueron expuestas a condiciones de salinidad en suelo.

Palabras claves: *Solanum lycopersicum* L., contenido nutrimental, tolerancia, salinidad.

SALT TOLERANCE OF WILD TOMATOES DURING GERMINATION AND SEEDLING GROWTH

4.2. SUMMARY

Salt tolerance in certified seed varieties of tomatoes is low, then, it is important the study of wild accessions in order to search for salt resistance genotypes for plant breeding programs. The aim of this research was to identify native tomato collections of Mexico tolerant to salt during the adult plant stage of development. For this, seven salt tolerant accessions obtained during germination and six selected during seedling development, were cultivated under two saline concentrations (0 and 80 mM) applied 20 days after transplant at greenhouse conditions in an open hydroponic system. A randomized complete block experimental design with four replicates was used. In the three initial clusters, total soluble solids, green leaf color intensity, plant height, yield and number of fruits were evaluated, additionally N, Ca, Mg and K concentrations were quantified. In the multivariate analysis, six salt tolerant accessions were identified where four showed good performance in two phenological stages previously evaluated, presenting higher dry matter production and N, K, Mg and Ca content in the saline condition. Situation due to the fact that probably during their adaptation processes or domestication they were exposed to saline conditions in the soil.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., nutrient content, tolerance, salinity.

4.3. INTRODUCCIÓN

La salinidad es un factor abiótico que causa reducciones del crecimiento y de la producción vegetal (Yamaguchi y Blumwald, 2005); en tomate, como en otros cultivos, provoca modificaciones fisiológicas, morfológicas y bioquímicas, en procesos como: fotosíntesis, crecimiento, acumulación de materia seca, concentración de clorofila, absorción de agua y nutrientes, balance de concentraciones de nutrimentos, entre otros (Singh y Chatrath, 2001). Puede afectar en forma positiva atributos inherentes a la calidad de los frutos y de interés para la agroindustria como: contenido de sólidos solubles, sólidos totales, acidez titulable, carotenoides y licopeno, etc. (Goykovic y Saavedra, 2007).

Los efectos perjudiciales de las sales en plantas adultas se manifiestan en la disminución de la productividad y si la exposición es prolongada puede causar su muerte (Munns y Tester, 2008). En ésta condición, la fertilización necesariamente ha de considerar el aporte de potasio y calcio, puesto que el sodio, interfiere en la absorción del potasio; estos iones compiten por entrar a las células de las raíces, lo cual causa efectos negativos en el crecimiento de las plantas (Goykovic y Saavedra, 2007). Hu y Schimdhalt (2005) consideran que la salinidad causa una deficiencia de nutrientes en las plantas debido a la competencia tanto del Na^+ como del Cl^- con nutrientes como K^+ , Ca^{2+} y NO_3^- .

Por lo anterior, la comprensión de los mecanismos de tolerancia a concentraciones altas de NaCl es esencial para enfrentar esta condición, los cuales han sido ampliamente estudiados y categorizados en: tolerancia al estrés osmótico, exclusión de Na^+ y tolerancia tisular (Garthwaite *et al.*, 2005).

Son pocas las variedades certificadas de tomate tolerantes a salinidad debido a la restringida variabilidad genética que presenta este cultivo. Esto obliga a recurrir a colectas silvestres, utilizadas recurrentemente en programas de mejoramiento genético, que ante condiciones adversas adaptan su sistema biológico de diversas formas al mantener una baja acumulación de sodio en las hojas, una alta concentración de boro, un aumento de potasio, que mantiene la tasa de fotosíntesis,

así como un buen estado hídrico mediante la acumulación de azúcares solubles y prolina (Díaz *et al.*, 2011).

Sin embargo los progresos logrados en este campo son escasos debido a la complejidad de los caracteres vinculados a la respuesta a dicho estrés, a los mecanismos fisiológicos, la presencia de numerosos genes, la gran influencia ambiental y la respuesta diferencial durante las fases del desarrollo de la planta (Peleg *et al.*, 2011). Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue identificar colectas de tomate nativas de México con tolerancia a sales durante el desarrollo de planta adulta.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron doce colectas nativas de tomate y un testigo comercial El Cid (Harris Moran®), siete de ellas seleccionadas previamente por su tolerancia a sales durante la germinación y cinco en estado de plántula. Estas colectas se establecieron en charolas de polipropileno con sustrato de turba. Durante el almácigo se regó con solución nutritiva de Steiner (1961). Veinte días después se trasplantaron en bolsas de polietileno de capacidad de 12 L con espuma volcánica como sustrato en condiciones de invernadero y sistema hidropónico abierto. El manejo del cultivo fue el convencional, conducido a un sólo tallo y densidad de plantación de 3.7 plantas·m⁻². Se utilizaron dos concentraciones salinas (0 y 80 mM) en la solución nutritiva.

La unidad experimental consistió de dos bolsas de polipropileno con una planta cada una. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

En los primeros tres racimos se realizaron los siguientes registros:

Intensidad de color verde (IC, en Unidades SPAD), mediante colorímetro marca Minolta modelo 502

Altura de planta (AP, en cm) al tercer racimo

Número total de frutos (NF)

Sólidos solubles totales (SST, en °Brix). Con refractómetro marca ATAGO. Modelo PAL-15S.

Rendimiento de fruto (RTO en g)

Adicionalmente al final de la evaluación se determinaron los contenidos de los nutrientes N, K, Ca y Mg. Para ello, la parte aérea de la planta fue desecada en tallo, hoja y fruto; las estructuras fueron secadas en estufa con circulación de aire a 70 °C durante 72 h; posteriormente, fueron molidas y se prepararon muestras de materia seca compuestas con proporciones de las estructuras de la planta.

El análisis de N total se realizó empleando el método Semimicro-Kjeldahl descrito por Bremner (1965). Para la determinación de las concentraciones de K, Ca y Mg, las muestras compuestas se sometieron a una digestión húmeda con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999); posteriormente extractos obtenidos se analizaron en un equipo de espectrometría de emisión e inducción por plasma (ICP-AGILENT 725-OES). Las concentraciones de N, K, Ca y Mg se reportan en ppm y se obtuvieron las relaciones K/Ca y K/Mg.

En todas las variables evaluadas se calcularon índices de tolerancia, los cuales consistieron en dividir la respuesta obtenida en la condición salina entre la respuesta registrada en condiciones sin sales.

Se realizaron análisis de covarianzas sucesivas para la selección de variables informativas (Johnson, 1998). Se aplicó un análisis multivariados de agrupamiento con distancias euclidianas cuadradas; el dendrograma se generó con el algoritmo de mínima varianza de Ward; la altura de corte se definió mediante el criterio cúbico de agrupamiento (Statistical Analysis System [SAS], 1983) y la pseudoestadística t^2 (Hotelling, 1951). Posteriormente se aplicó un análisis discriminante para determinar las variables responsables en la definición de los grupos anteriores. Por último, hicieron análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey en caracteres originales de acuerdo con las agrupaciones detectadas.

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de covarianzas sucesivas realizados en los 13 caracteres evaluados, indicaron que ocho de ellos (SST, IV, AP, MS, N, K, Ca y Mg) fueron capaces de discriminar colectas significativamente y además, no fueron detectadas en ellas asociaciones lineales de importancia. Con estas variables se realizó un análisis de agrupamiento y se generó el dendrograma de la Figura 4.1, donde se determinó que el número de grupos óptimo fue tres (altura de corte de 0.107 r^2 semiparcial), definidos a partir del criterio cúbico de agrupamiento y la pseudo t^2 . Dichos grupos contuvieron 9, 3 y 1 colectas. El análisis discriminante realizado, al basarse en esta clasificación, generó dos variables discriminantes, VD1 y VD2, que explicaron 74 y 26 %, respectivamente, de la variación de los datos.

Las asociaciones lineales (vectores propios) entre las funciones discriminantes y los ocho caracteres originales indicaron que valores altos de VD1 identificaron a colectas con susceptibilidad a sales al contar con mayores concentraciones de sólidos solubles y K, y menores de Ca, elementos afectados en mayor medida por el antagonismo provocado por los iones Na^+ y Cl^- (Yokoi *et al.*, 2012); en contraste, bajos valores de VD1 indican mayor tolerancia a esta condición. Con respecto a la VD2, valores altos indicaron mayor producción de materia seca, mayor contenido de N y menor concentración de Mg; es decir, comportamiento correspondiente a colectas tolerantes a sales; y viceversa.

La representación gráfica de las variables discriminantes (Figura 4.2), indicó que el grupo más tolerante fue el 3, debido a la mayor producción de materia seca, contenido de N y Ca en sales; el grupo uno se aproximó al grupo anterior, pues presentó tolerancia intermedia en el contenido de K, SST, N y MS, aunque con mayor acumulación de Ca. Por otra parte el grupo 2 fue ser el más susceptible por el bajo contenido de Ca. Reina-Sánchez *et al.* (2005) mencionan que las plantas de tomate al tomar una pequeña cantidad del sodio presente en la solución nutritiva, le confiere la capacidad para seleccionar los iones inorgánicos, característica que da una idea que un esquema correcto de selección a la tolerancia a este factor en esta etapa fenológica.

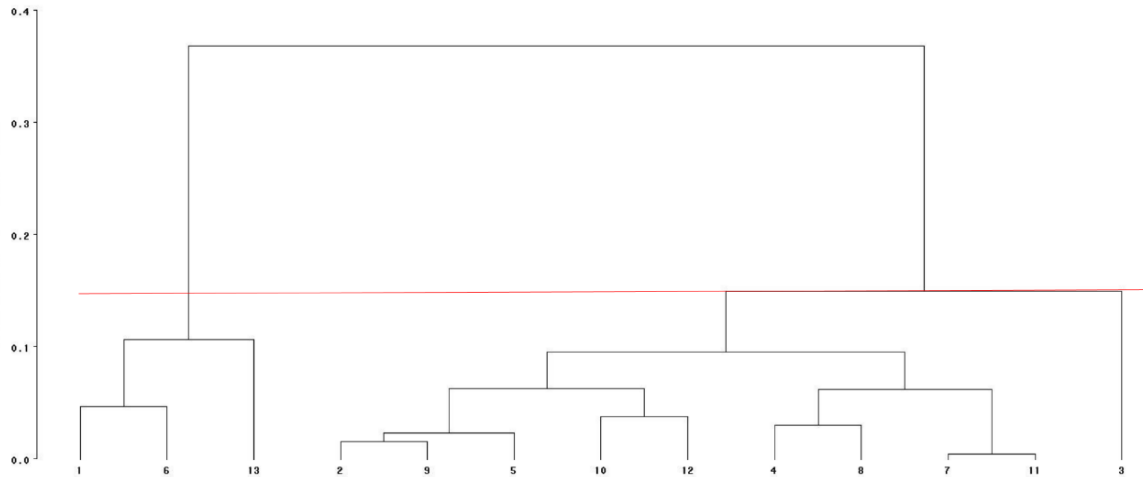


Figura 4 1. Dendrograma jerárquico (distancias euclidianas y método de Ward) de 13 colectas de tomate silvestre germinadas bajo estrés salino

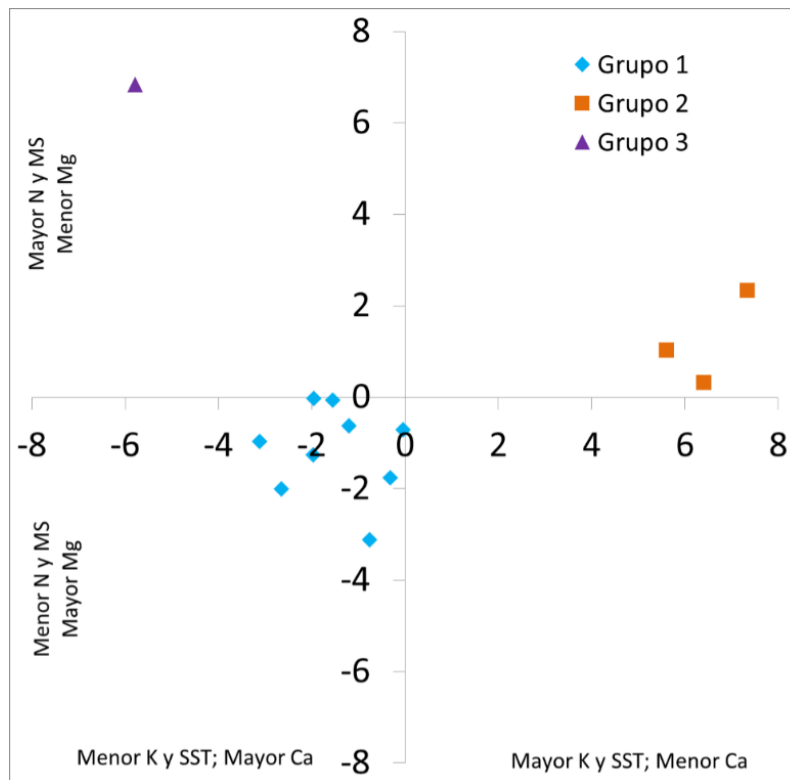


Figura 4 2. Representación de variables discriminantes de 13 colectas de tomate silvestre bajo estrés salino

4.5.1. Análisis de varianza

Los análisis de varianza de los caracteres originales al considerar los tres grupos formados, las colectas dentro de éstos, y la presencia y ausencia de sales, así como sus interacciones, se presentan en el Cuadro 4.1. En el caso de grupos no se detectaron significancia estadística en: IV, N, K/Mg y MS. La interacción grupo x concentración tampoco modificó el comportamiento de: SST, AP, NF y K/Mg.

Por otra parte, la interacción de concentraciones x colectas dentro de agrupaciones mostraron diferencias sólo en MS, K/Ca NF, IV y K. En general los coeficientes de variación fueron aceptables, entre 5 y 18 %, lo que hace notar la confiabilidad de los datos.

Cuadro 4 1. Análisis de varianza de caracteres evaluados en 13 colectas de tomate silvestre en dos concentraciones salinas

FV	GL	SST	IV	AP	MS	RTO	NF
GRUPO	2	6.73 **	29.87	2230.19 **	99.36	2954159 **	273.99 **
COL:GR	10	6.25 **	104.21 **	1812.90 **	735.94 **	702623 **	322.97 **
CON	1	235.36 **	4063.83 **	47076.90 **	18012.35 **	4621777 **	4.35
GRU*CON	2	4.00	134.46 **	264.52	596.71 **	2105577 **	5.52
CON*COL(GR)	10	0.82	108.65 **	103.59	740.32 **	446949 **	492.60 **
BLO	3	0.33	6.90	76.93	299.20	1028	0.24
ERROR	73	0.61	7.30	165.49	49.49	1497	2.98
TOTAL	101						
CV		9.20	5.86	9.85	14.63	12.69	6.12
MEDIAS		8.47	46.10	130.63	48.09	304.90	28.22

FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; SST= Sólidos solubles totales; IV= Intensidad de verdor; AP= Altura de planta; MS= Materia seca; RTO= Rendimiento; NF= Número de frutos; COL= Colecta; GRU= Grupo; CV= Coeficiente de variación. ** Significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Los resultados de las comparaciones de medias permitieron diferenciar a los grupos formados, destacando al grupo tres, que solo presentó disminución en la producción de materia seca, en tanto que el grupo 1, 2 se vieron afectados en la mayoría de los caracteres (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.1. Continuación

FV	GL	N	K	Ca	Mg	K/Ca	K/Mg
GRUPO	2	700926	2046675 **	21200020 **	2472984 **	0.38 **	0.01
COL:GR	10	75816565 **	553342 **	3997933 **	2024700 **	0.03 **	0.13 **
CON	1	200763999 **	4825364 **	39437241 **	12840309 **	0.13 **	0.00
GRU*CON	2	54679637 **	1195733 **	15031604 **	3284486 **	0.59 **	0.12
CON*COL(GR)	10	9713028	381865 **	454420	313592	0.03 **	0.03
BLO	3	2886667	5648	33206	44005	0.00	0.00
ERROR	73	3798833	51772	97053	75160	0.00	0.01
TOTAL	101						
CV		7.6	12.4	5.5	8.6	17.81	18.55
MEDIAS		25617	1838	5636	3195	0.36	0.59

FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; N= Nitrógeno; K= Potasio; Ca= Calcio; Mg= Magnesio; COL= Colecta; GRU= Grupo; CV= Coeficiente de variación. ** Significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 4 2. Comparación de medias de tres grupos de 13 colectas de tomate nativo

GRUPO	SST (°Brix)	IV (SPAD)	AP (cm)	MS (g)	RTO (g)	NF
1	8.3 B	46.3 AB	128.4 B	48.9 A	126.8 C	27.8 B
2	8.5 B	44.9 B	129.7 B	47.4 AB	691.3 A	31.3 A
3	10.0 A	47.9 A	153.0 A	41.7 B	638.9 B	20.7 C
DMSH	0.7	2.2	10.7	6.7	36.4	1.6

SST= Sólidos solubles totales; IV= Índice de verdor; AP= Altura de planta; MS= Materia seca; RTO= Rendimiento; NF= Número de frutos; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 4.2. Continuación

GRUPO	N (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	K/Ca	K/Mg
1	25532 A	1782 B	5994 B	3106 B	0.30 C	0.59 A
2	25853 A	1744 B	4305 C	3174 B	0.53 A	0.59 A
3	25667 A	2630 A	6407 A	4062 A	0.41 B	0.66 A
DMSH	1886	220	302	265	0.06	0.11

N= Nitrógeno; K= Potasio; Ca= Calcio; Mg= Magnesio; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$).

Con respecto a la comparación de media de concentraciones (Cuadro 4.3) se observó que en ausencia de sales se potencializó la expresión de los caracteres evaluados, resultados que coinciden con Cruz *et al.* (1990) quienes expresan que en general las concentraciones de K^+ y Ca^{2+} se ven disminuidos ante la presencia de sales, sin embargo genotipos como *S. penelli* pueden ser la excepción, pues sus raíces tienen la capacidad de modular la capacidad electrostática de la membrana y de esta manera contrarrestar su efecto. Por otra parte la absorción de nitrógeno por las plantas de tomate no se ve afectada a concentraciones salinas relativamente bajas (80 mM), pero a 140 y 200 mM de NaCl su absorción se reduce hasta en un tercio (Pessarakli y Tucker, 1988), estos cambios en las concentraciones se dan como resultado de la reducción de acumulación y concentración de agua. El contenido de sólidos solubles se vio favorecido, pues en esta condición en general, los atributos organolépticos mejoran considerablemente (Del Amor *et al.*, 2001).

Cuadro 4 3. Comparación de medias en 13 colectas de tomate silvestre en dos concentraciones salinas

CON	SST (°Brix)	IV (SPAD)	AP (cm)	MS (g)	RTO (g)	NFT
0	6.5 B	53.3 A	155.8 A	66.3 A	466.8 A	27.5 B
80	10.4 A	38.8 B	105.0 B	24.3 B	105.7 B	29.1 A
DMSH	0.3	1.1	5.1	3.0	16.7	0.74

CON= Concentración; SST= Sólidos solubles totales; IV= Índice de verdor; AP= Altura de planta; MS= Materia seca; RTO= Rendimiento; NF= Número de frutos; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 4.3. Continuación

CON	N (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	K/Ca	K/Mg
0	28391 A	2118 A	6424 A	3502 A	0.33 B	0.63 A
80	22842 B	1559 B	4848 B	2888 B	0.39 A	0.56 B
DMSH	887	104	142	125	0.03	0.05

CON= Concentración; N= Nitrógeno; K= Potasio; Ca= Calcio; Mg= Magnesio; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$).

La mayoría de los caracteres se vieron afectados de manera negativa por el efecto de las sales (Cuadro 4.4) a excepción del contenido de sólidos solubles, donde en relación al grupo 1 (colectas 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11 y 12), se evidenció un incremento del 60 y 70 % del grupo dos (formado por las colectas 1, 6 y 13); en cuanto a la intensidad de verdor, el grupo tres mostró reducción del 20 % en tanto que los grupos 1 y 2 en 35 y 40 % respectivamente. La materia seca acumulada fue uno de los caracteres más afectados por la salinidad al reducir en los grupos 1, 2 y 3, porcentajes de 65, 55 y 40 %. La altura de planta y el número de frutos en general presentó un comportamiento similar que en ausencia de sales en los tres grupos formados, en tanto que en rendimiento el grupo con menor reducción fue el uno.

La concentración de N se redujo en 20 y 25 % en los grupos 1 y 2; mientras que el grupo tres no se vio afectado negativamente, tal y como sucedió en la concentración de calcio y en la relación K/Mg; no obstante esto no fue así en la acumulación de potasio y magnesio debido a la reducción en un 40 y 50 % respectivamente. Partiendo del supuesto que elementos químicamente similares a menudo pueden reemplazarse en ciertas funciones metabólicas, y ante la alta cantidad de sodio presente en condiciones de salinidad se sugiere que este elemento puede reemplazar al potasio en muchas funciones, pues de manera general se asume que ambos cationes compiten por sitios de absorción en común en la raíz (Trejo-Tellez *et al.*, 2012); al mismo tiempo ante un exceso de potasio es posible observar deficiencia de magnesio, por estar presente este último en la solución del suelo en forma de catión.

Seis colectas destacaron por su tolerancia a la salinidad en esta etapa: 3, 6, 7, 9, 11 y 13. El hecho de que estas colectas sobresalieran en esta condición puede deberse a diversos mecanismos fisiológicos como la capacidad de regular y distribuir la concentración de Na⁺ en hojas jóvenes y maduras (Shannon *et al.*, 1987) modificaciones que se llevaron a cabo durante el proceso de domesticación o adaptación al encontrarse expuestas en condiciones salinas.

Cuadro 4 4. Comparaciones de media de la interacción grupo x colecta

GR	CON	SST (°Brix)	IV (SPAD)	AP (cm)	MS (g)	RTO (g)	NFT
1	0	6.5 E	52.6 C	152.4 C	69.2 A	171.2 CD	27.3 D
1	70	10.2 C	39.8 D	103.8 E	22.8 F	66.5 F	28.6 C
2	0	6.1 F	55.1 A	159.2 B	61.4 B	1308.5 A	31.1 AB
2	70	10.9 B	34.8 E	100.2 F	26.5 E	177.1 C	31.5 A
3	0	8.5 D	54.0 B	176.8 A	51.1 C	874.5 B	20.5 F
3	70	11.2 A	41.7 D	129.3 D	32.3 D	167.7 CDE	21.0 E
DMSH		0.2	0.7	3.2	2.0	10.8	0.5

GR= Grupo; CON= Concentración; SST= Sólidos solubles totales; IV= Índice de verdor; AP= Altura de planta; MS= Materia seca; RTO= Rendimiento; NF= Número de frutos; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 4.4. Continuación

GR	CON	N (ppm)		K (ppm)		Ca (ppm)		Mg (ppm)		K/Ca		K/Mg	
1	0	29013	A	2102	B	6506	A	3298	C	0.33	C	0.67	AB
1	70	22052	F	1461	F	5483	E	2915	D	0.27	E	0.51	D
2	0	27589	B	1761	D	6196	D	3498	B	0.28	DE	0.54	D
2	70	24117	E	1727	DE	2414	F	2849	DE	0.78	A	0.63	B
3	0	25200	D	3330	A	6375	BC	5356	A	0.52	B	0.62	C
3	70	26133	C	1930	C	6439	AB	2768	E	0.3	D	0.70	A
DMSH		628		73		100		88		0.02		0.04	

GR= Grupo; CON= Concentración; N= Nitrógeno; K= Potasio; Ca= Calcio; Mg= Magnesio; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$).

4.6. CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que el estrés causado por las concentraciones de NaCl afectaron negativamente a los caracteres evaluados, dichos efectos variaron según la tolerancia expresada en cada colecta evaluada, demostrando la variabilidad genética de las colectas silvestres.

Los factores genéticos que determinan el crecimiento vegetativo y la absorción de nutrientes, así como muchos otros aspectos fisiológicos y otros componentes relacionados con la tolerancia a la salinidad, tienen que ser estudiados con el fin de avanzar en la producción de genotipos tolerantes a la salinidad, esto puede llevarse a cabo mediante el uso de las colectas identificadas como portainjertos.

4.7. LITERATURA CITADA

- Alcántar G., G.; Sandoval, V. M. (1999).. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación Especial No. 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C., Chapingo, México.
- Bernstein L. (1961). Osmotic adjustment of plants to saline media I. Steady state. *American Journal of Botany*, 48, 909-918.
- Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen. *In*: Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. Black, C. A. (ed.). American Society of Agronomy. Madison, WI, USA. pp. 1149-1178.
- Casierra-Posada F. y Rodríguez S. (2006). Tolerancia de plantas de feijoa (*Acca sellowiana* [Berg] Burret) a la salinidad por NaCl. *Agronomía Colombiana*, 24(2), 258-265.
- Chen, S., Zhang, Z., Wang, Z., Guo, X., Liu, M., Hamoud, Y. A., & Qiu, R. (2016). Effects of uneven vertical distribution of soil salinity under a buried straw layer on the growth, fruit yield, and fruit quality of tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 203, 131-142.
- Cruz V., Cuartero, J., Bolarín, M.C. & Romero, M. (1990). Evaluation of characters for ascertaining salt stress responses in *Lycopersicon* species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115, 1000-1003.
- Díaz, M., Bastías, E., Pacheco, P., Tapia, L., Martínez-Ballesta, M. C., & Carvajal, M. (2011). Characterization of the physiological response of the highly-tolerant tomato cv. 'Poncho Negro' to salinity and excess boron. *Journal of plant nutrition*, 34(9), 1254-1267. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2011.580813>
- Del Amor, F. M., Martínez, V., & Cerda, A. (2001). Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. *HortScience*, 36(7), 1260-1263.
- Garthwaite, A. J., von Bothmer, R., & Colmer, T. D. (2005). Salt tolerance in wild *Hordeum* species is associated with restricted entry of Na⁺ and Cl⁻ into the shoots. *Journal of Experimental Botany*, 56(419), 2365-2378. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri229>
- Goykovic C. V. y Saavedra del Real G. (2007) Algunos de los efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia Chile*, 25(3), 47-58. http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292007000300006&script=sci_arttext

- Hotelling H. (1951) A generalized t test and measure of multivariate dispersion. Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. Berkeley, California: University of California Press, https://projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.bsmsp/1200500217
- Hu Y., Schimdhalter, U. (2005). Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168, 541-549.
- Johnson, E. D. (1998). Applied Multivariate, Methods for data Analysts. USA: Cole Publishing Company.
- Munns R and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review Plant Biology*, 59, 651-681. Doi: 10.1002/jpln.200420516
- Mohamed, A. N., Rahman, M. H., Alsadon, A. A., & Islam, R. (2007). Accumulation of proline in NaCl treated callus of six tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 17(2), 217-220. Doi: 10.3329/ptcb.v17i2.3242
- Peleg, Z., Apse, M. P., & Blumwald, E. (2011). Engineering salinity and water-stress tolerance in crop plants. *Advances Botanical Research*, 57, 405-443.
- Pessarakli, M., & Tucker, T. C. (1988). Dry matter yield and nitrogen 15 uptake by tomatoes under sodium chloride stress. *Soil Science Society of America Journal*, 52(3), 698-700.
- Reina-Sánchez, A., Romero-Aranda, R., & Cuartero, J. (2005). Plant water uptake and water use efficiency of greenhouse tomato cultivars irrigated with saline water. *Agricultural water management*, 78(1), 54-66. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.021>
- Shannon, M. C., Gronwald, J. W., & Tal, M. (1987). Effects of salinity on growth and accumulation of organic and inorganic ions in cultivated and wild tomato species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112, 416-423.
- Singh K. N. and R. Chatrath (2001) Salinity tolerance. Application of physiology in wheat breeding. 101-110.
- Statistical Analysis System [SAS Institute] (1983). SAS technical report A108. Cubic clustering criterion. Cary, N.C. USA, https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/v82/techreport_a108.pdf
- Steiner, A. A. (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15, 134-154, doi: 10.1007/BF01347224

- Trejo-Tellez L. I., Gómez-Merino, F. C. y Alcantar, G. (2012). Elementos benéficos. *In: Nutrición de cultivos*. G. Alcantar y L. I. Trejo-Tellez (eds). BBA, México. pp: 50-91.
- Yamaguchi T., & Blumwald E. (2005). Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in plant science*, 10(12), 615-620.
- Yokoi S, Bressan, R. A. & Mike H. P. (2002). Salt stress tolerance of plants. JIRCAS Working Report. pp. 25-33.

5. DISCUSIÓN GENERAL

La presencia de NaCl produjo reducciones significativas en el desarrollo de las colectas en las tres pruebas. La germinación de las semillas y desarrollo de plántula fueron afectadas negativamente a concentraciones relativamente bajas de NaCl en comparación al ensayo en plantas adultas, en la que se incrementó la concentración a 80 mM, resultados que coinciden con los reportados por Cuartero y Fernández (1999) quienes reportaron disminución en el porcentaje de germinación de semillas a esta concentración, sin embargo con 190 mM, no solo se reduce el porcentaje de germinación, sino que se afecta la producción del cultivo, de tal forma que son pocos los genotipos capaces de llevar a cabo su desarrollo normal bajo esta condición.

Durante las pruebas de germinación y plántula se identificaron diez colectas tolerantes en cada una de ellas, en la primera fase las colectas mostraron velocidad y porcentaje de germinación altos, mientras que en la prueba de plántula hubo reducciones menores en altura de planta (63 %), materia seca (62 %) y número de plantas vivas (76 %). Los caracteres más afectados en el desarrollo de planta adulta fueron rendimiento, acumulación de materia seca, y la disminución de contenidos K y Ca, que redujeron 77, 63, 26 y 24 %, respectivamente, en relación a la condición normal.

La capacidad de adaptación a la salinidad se mostró en función de la etapa fenológica del cultivo y la concentración de NaCl, ya que en etapa de plántula resultó ser más susceptible que en las fases de germinación y planta adulta, comportamiento similar al observado por Cuartero y Fernández (1999), lo que puede explicarse a que en condiciones de estrés por salinidad, se origina un déficit hídrico en la planta y obliga a reducir la acumulación de biomasa (Casierra-Posada y Rodríguez, 2006).

La identificación de 21 colectas con tolerancia en diferente estado de desarrollo implica que esta cualidad probablemente se asocia a que algunas de estas pudieron haber estado expuestas a condiciones de estrés por salinidad, desarrollando mecanismos para su supervivencia (Flower *et al.*, 1986), estos varían entre especies, y algunos de ellos deben operar de manera coordinada para regular las concentraciones celulares

de sodio (Tester y Davenport, 2003), los efectos son contrarrestados por ajustes osmóticos con azúcares y aminoácidos tales como prolina y también con iones inorgánicos tales como nitrato, fosfato, sodio y potasio (Taylor et al., 1982).

La presencia de seis colectas con tolerancia en las tres etapas vislumbra la posibilidad de conjuntar estos genes a través del mejoramiento genético; si los caracteres de interés tuvieran un control monogénico sería mediante retrocruzamiento, sin embargo la mayoría de los caracteres que confieren esta tolerancia son poligénicas, de tal forma que el método de selección recurrente con baja presión de selección sería el más apropiado, por otra parte son necesarios al menos seis retrocruzamientos cuando el donante es una especie silvestre debido a la reducción del cruce entre cromosomas homólogos (Cuartero y Fernández-Muñoz, 1999).

La selección indirecta por marcadores genéticos morfológicos y/o moleculares también podría ser útil para las características que son afectadas por el medio ambiente. Sin embargo la técnica comercial, más recomendable, es el uso de estos materiales como portainjertos, pues es capaz de reducir el tiempo necesario para desarrollar variedades tolerantes a la salinidad.

6. CONCLUSIONES GENERALES

Las concentraciones salinas evaluadas afectaron de manera negativa y diferencial a todas las colectas en las tres etapas fenológicas estudiadas: germinación, plántula y planta adulta. Esto demuestra la existencia de la variabilidad genética en el germoplasma estudiado.

No se encontró evidencia de una asociación entre la tolerancia a sales a través de las etapas de fenológicas evaluadas, lo que sugiere la acción de diferentes mecanismos presentes en cada una de ellas.

La presencia de seis colectas con tolerancia en las tres etapas vislumbra la posibilidad de conjuntar estos complejos genéticos mediante selección a través del mejoramiento genético.

7. LITERATURA CITADA GENERAL

- Cervantes-Moreno, R., Rodríguez-Pérez, J. E., Carrillo Fonseca, C., Sahagún-Castellanos, J., & Rodríguez-Guzmán, E. (2014). Tolerancia de 26 colectas de tomates nativos de México al nematodo *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(1), 5-18. doi: 10.5154/r.rchsh.2012.12.071
- Chinnusamy, V., Jagendorf, A., & Zhu, J. K. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, 45(2), 437-448.
- Cuartero, J., Bolarin, M. C., Asins, M. J., & Moreno, V. (2006). Increasing salt tolerance in the tomato. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1045-1058. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erj102>
- Cuartero, J. & Fernández-Múñoz, R. (1998). Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae*, 78:83-125, doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erj102>
- Estrada-Trejo, V., Lobato-Ortíz, R., García- De los Santos, G., Carrillo-Castañeda, G., Castillo-González, F., Contreras-Magaña, E., Ayala-Garay, O. J., De la O, O. M. & Artola M. A. (2014). Diversidad de poblaciones nativas de jitomate para germinación en condiciones salinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 1067-1079.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342014000600013

- Frahm, M. A., Rosas, J. C., Mayek-Pérez, N., López-Salinas, E., Acosta-Gallegos, J. A., & Kelly, J. D. (2004). Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica*, 136(2), 223-232.
- Goykovic, C. V. & Saavedra del Real G. (2007). Algunos de los efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia Chile*, 25(3), 47-58. http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292007000300006&script=sci_arttext
- Juárez-López, P., Castro-Brindis, R., Colinas-León, T., Sandoval-Villa, M., Ramírez-Vallejo, P., Reed, D. W. & King, S. (2012). Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18(2), 207-216.
- Morales, D., Rodríguez, P., Sánchez-Blanco, M. D. J., & Torrecillas, A. (2002). Respuesta a la salinidad de tres variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Cultivos Tropicales*, 23(3), 71-76.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- Peleg, Z.; Apse, M. P. & Blumwald, E. (2011). Engineering Salinity and Water-Stress Tolerance in Crop Plants: Getting Closer to the Field. *Advances in Botanical Research*, 57, 407-443.
- Rodríguez Alvarado, G., García López, J., & Fernández Pavía, S. P. (2011). Enfermedades del Jitomate (*Solanum lycopersicum*) Cultivado en Invernadero en la Zona Centro de Michoacán. *Revista Mexicana de fitopatología*, 29(1), 51-60.
- Seelig, B.D. 2000. Salinity and sodicity in North Dakota Soils. 5 Jan. 2011. <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/soilfert/eb57-1.htm>
- SIAP, Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (2015) Producción Agropecuaria y Pesquera. http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016 (Abril 2017).
- Sory Toure, A., Nieto-Ángel, R., Rodríguez-Pérez, J. E., Barrientos-Priego, A. F., Ibáñez-Castillo, L. A., Romanchik, K., & Núñez-Colín, C. A. (2010). Variación anatómica del xilema en tallo de cultivares de tomate injertados en un tipo criollo. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(1), 67-76.
- Tanwar, B. S. 2003. Saline water management for irrigation. International Commission on irrigation and drainage. New Delhi, India. 140 p.
- Trejo-Téllez L. I., Gómez-Merino, F. C. y Alcantar G. (2012). Elementos benéficos. In: Nutrición de cultivos. G. Alcantar y L. I. Trejo-Tellez (eds). BBA, México. pp: 50-91.
- Yokoi S, Bressan R A, Mike HP (2002) Salt stress tolerance of plants. JIRCAS Working Report. pp. 25-33.