



## Sensibilidad de plantas de tomate al marchitamiento causado por *fusarium oxysporum* bajo condiciones de salinidad

Sensitivity of tomato plants to the wilt caused by *fusarium oxysporum* under conditions of salinity

Ana Delfina Tovar-Quiroz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Magister en ciencias biológicas, [adtovar@sena.edu.co](mailto:adtovar@sena.edu.co), Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Centro de formación para el desarrollo rural y minero CEDRUM., Grupo de investigación CEDRUM NDS

**Como Citar:** A.D Tovar-Quiroz, "Sensibilidad de plantas de tomate al marchitamiento causado por *fusarium oxysporum* bajo condiciones de salinidad". *Respuestas*, vol. 25, no. S2, pp. 84-92, 2020.

Received on September 18, 2018; Approved on December 20, 2018

### RESUMEN

#### Palabras clave:

Estrés,  
*Fusarium*,  
Salinidad,  
*Solanum lycopersicum*

Bajo condiciones normales de campo, las plantas de cultivo interactúan con un gran número de factores bióticos y abióticos que condicionan sus límites de productividad constituyéndose muchas veces en factores estresantes que desvían el óptimo vegetal. Este artículo evaluó la sensibilidad de las plantas de tomate a estrés inducido por sales de NaCl y el hongo *Fusarium oxysporum* (Orden Hypocreales, Familia Nectriaceae) bajo condiciones de invernadero. Se realizó una fase de aislamiento e identificación del hongo en laboratorio, y luego fue inoculado en plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Familia Solanaceae) variedad Calima. Las plántulas fueron sembradas en materas con sustrato tierra cascarilla de arroz estéril y 15 días después del establecimiento, se iniciaron los tratamientos con sales 20, 40 y 80 mM de NaCl de manera gradual, hasta que se completara la dosis para cada tratamiento. El testigo se regó únicamente con agua. 110 días después de la siembra, se evaluó la biomasa seca, se midió la clorofila con un clorofilómetro, el área foliar y la conductividad eléctrica en solución del suelo con un conductímetro. El peso seco total, el área foliar, índice en la concentración de la clorofila se redujeron a medida que aumentaba concentración salina y el efecto del hongo. El peso específico foliar, la eficiencia en el uso del agua y la conductividad eléctrica fue mayor en las plantas afectadas por los dos factores. La aplicación simultánea de los dos factores estresantes, *Fusarium oxysporum* y la concentración de NaCl, incrementaron el efecto de cada uno de ellos e indujeron un mayor nivel de estrés en las plantas de tomate variedad Calima.

### ABSTRACT

#### Keywords:

*Fusarium*,  
Salinity,  
Stress,  
*Solanum lycopersicum*

Under normal field conditions, crop plants interact with a large number of biotic and abiotic factors that condition their productivity limits, often constituting stress factors that deviate the plant optimum. This article evaluated the sensitivity of tomato plants to stress induced by NaCl salts and the fungus *Fusarium oxysporum* (Order Hypocreales, Family Nectriaceae) under greenhouse conditions. A phase of isolation and identification of the fungus was performed in the lab, and then it was inoculated into tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) (Family Solanaceae) variety Calima. Seedlings were seeded in pots with sterile rice husk soil substrate and 15 days after establishment, treatments with 20, 40 and 80 mM NaCl salts were started gradually, until the dose was completed for each treatment. The control was only watered with water. 110 days after sowing, the dry biomass was evaluated, the chlorophyll was measured with a chlorophyllometer, the foliar area and the electrical conductivity in soil solution with a conductimeter. The total dry weight, the leaf area, the chlorophyll concentration index were reduced as saline concentration increased and the effect of the fungus. Foliar specific weight, efficiency in water use and electrical conductivity was higher in the plants affected by the two factors. The simultaneous application of the two stressors, *Fusarium oxysporum* and the concentration of NaCl, increased the effect of each of them and induced a higher level of stress in tomato plants Calima variety.

\*Corresponding author.  
E-mail address: [adtovar@sena.edu.co](mailto:adtovar@sena.edu.co) (Ana Delfina Tovar-Quiroz)



Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.  
This is an article under the license CC BY-ND

## Introducción

La salinización del suelo no puede ser tan dramático y perjudicial como un terremoto o un deslizamiento de tierra a gran escala, pero sí representa un riesgo ambiental severo [1], que causa la degradación del suelo en zonas áridas y semiáridas con bajas lluvias y alta tasa de evapotranspiración alrededor del mundo [2] [3], lo que hace de este uno de los problemas más serios que enfrentan las tierras cuando se trata de agricultura [4] [5], lo que ha producido el abandono de tierras y la disminución de áreas agrícolas productivas hasta en un 30% de la capa arable [6] [7] [8] [9]. Un suelo es considerado salino cuando los valores umbrales de conductividad eléctrica supera los 4 dS/m, lo que genera una presión osmótica aproximada de 0.2 MPa [10].

El estrés salino afecta cada aspecto de la fisiología y metabolismo de la planta y específicamente la toxicidad por sodio (Na<sup>+</sup>) es uno de los factores de estrés ambiental más perjudicial que afecta el crecimiento y productividad de los cultivos en todo el mundo [11] [12] [13] [14], debido a que disminuye la habilidad de absorber agua y una vez el Na<sup>+</sup> y el cloro (Cl<sup>-</sup>) son absorbidos por la raíz en altas cantidades, ambos afectan negativamente el crecimiento, pues afectan los procesos metabólicos y disminuye la eficiencia fotosintética [10] [15] [9]

El tomate es un cultivo moderadamente tolerante a la salinidad del suelo [16] así como del agua de riego, sin embargo su germinación y producción pueden verse afectadas hasta en un 50% bajo condiciones salinas de 8 dS/m (aproximadamente 80 mM) [17] [18] [19]. Concentraciones de 80 mM afectan drásticamente a las plantas e inclusive en 35 mM de NaCl se afecta el uso eficiente del agua [20] debido a que la concentración de sal conlleva al desequilibrio osmótico entre la zona radicular de la planta y el suelo, lo que produce disminución en la absorción de agua y por lo tanto de nutrientes minerales como K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, nitratos y fosfatos [21]. *Fusarium oxysporum* es uno de los géneros de hongos del suelo más estudiados, debido a los graves daños, difícil control y pérdidas severas que la enfermedad provoca en cultivos económicamente importantes [22] [23]. En el presente estudio dos factores fueron considerados para evaluar la correlación de diferentes variables fisiológicas en respuesta a la salinidad de las plantas de tomate.

## Materiales y Métodos

El aislamiento del hongo *F. oxysporum* se realizó a partir del tallo de plantas de tomate chonto que presentaban los síntomas propios del marchitamiento vascular. Una vez obtenido el hongo, se identificó por comparación de las estructuras reproductivas siguiendo el manual de laboratorio para *Fusarium* [26]. Las plántulas de tomate fueron inoculadas con el hongo, trasplantadas en materas con 3 kilos de sustrato tierra-cascarilla de arroz estéril y mantenidas en condiciones invernadero. Después de la siembra, las plántulas fueron regadas 3 veces por semana y al final del ensayo se calculó la cantidad de agua total consumida por planta, dato necesario para calcular la Eficiencia en el Uso del Agua (WUE). La adición de NaCl se inició 15 días después del trasplante de manera gradual a cada materia, cada 8 días se adicionaba sal en la periferia de la planta hasta finalizar la dosis establecida para cada planta por tratamiento.

110 días después de iniciados los tratamientos con sales, se determinó el índice de concentración de clorofila en todas las hojas de la planta con un clorofilometro CCM-200 plus. A lo largo del ensayo se fue recogiendo la biomasa defoliada, de la cual se obtuvo su peso y el área foliar. Los datos de fitomasa seca se obtuvieron secando por separado raíces, tallos-peciolos, frutos y hojas, en mufla a 85°C por 48 horas. Estos datos se usaron para calcular el peso seco total por planta, el peso específico (peso seco total de hojas/área foliar total), la eficiencia agronómica en el Uso del Agua (peso seco total planta/litros de agua consumida). El peso seco total incluye tanto la biomasa verde seca como la necromasa seca. La conductividad eléctrica (CE) se determinó en extracto de saturación y se midió la CE con un conductímetro JENWAY modelo 470.

En este estudio se utilizó un diseño experimental con dos factores: el hongo *F.oxysporum* con un nivel (1x10<sup>5</sup> (ufc/ml)) y la salinidad con 4 niveles: 0, 20, 40, 80 mM de NaCl. Se utilizaron 8 tratamientos: un testigo absoluto, un testigo solo con hongo, tres tratamientos con solo NaCl y tres con NaCl más *F. oxysporum*, cada uno con diez replicas para un total de 80 plantas destinadas para el experimento con NaCl y *F. oxysporum*. Los resultados obtenidos en el ensayo fueron sujetos al análisis de varianza para comprobar la significancia de la respuesta a los tratamientos el cual fue seguido por la prueba de Tukey (P<0,05).

## Resultados y Análisis

Los primeros síntomas observados en las plantas del ensayo fueron clorosis, marchitamiento y caída de hojas. La materia seca de las hojas necrosadas aumentó significativamente con la concentración de NaCl y la presencia *F. oxysporum*. Este porcentaje aumentó 7,12% en las plantas con 80 mM y el hongo comparado con las plantas testigo inoculadas (Figura 1).

## Resultados y Análisis

Los primeros síntomas observados en las plantas del ensayo fueron clorosis, marchitamiento y caída de hojas. La materia seca de las hojas necrosadas aumentó significativamente con la concentración de NaCl y la presencia *F. oxysporum*. Este porcentaje aumentó 7,12% en las plantas con 80 mM y el hongo comparado con las plantas testigo inoculadas (Figura 1).

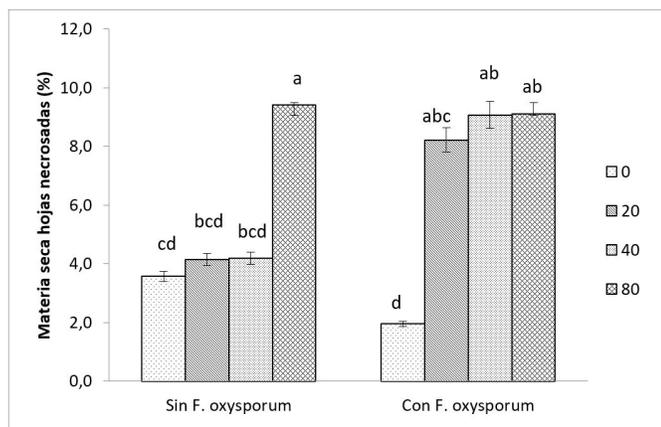


Figura 1. Materia seca hojas necrosadas de plantas de tomate *S. lycopersicum* l. cv. calima sometidas a sales de NaCl y *F. oxysporum*. Fuente: Autor.

La senescencia foliar es considerada uno de los factores más limitantes en la productividad de plantas bajo estrés salino causada por la acumulación de iones tóxicos en las hojas [27], por cambios en las relaciones hormonales que regulan este proceso [28] especialmente la disminución en el transporte de citoquininas desde las raíces a los brotes y el aumento de ABA en las hojas [29], debido a la deficiencia de potasio que puede ser atribuida a la absorción y movilización de potasio en las raíces más que a la sensibilidad de los brotes por este ion [30], por factores ambientales especialmente la deshidratación, temperatura y la respuesta hipersensitiva de defensa a patógenos incluyendo acumulación de ácido salicílico y especies de oxígeno reactivo [28].

Las lesiones salinas son debidas a la acumulación de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en las hojas que transpiran excesivos niveles de sal, por encima de la habilidad de las células para compartimentar estos iones en la vacuola, los cuales se van acumulando en el citoplasma inhibiendo la actividad enzimática o ubicándose cerca a la pared celular causando deshidratación celular (Munns, 2002). En este caso la caída de hojas fue probablemente influenciado por la acumulación de iones tóxicos en la lámina foliar y la colonización micelial del hongo en el sistema vascular de raíces y tallos, corroborado por los primeros síntomas visibles de la enfermedad como el amarillamiento de las hojas maduras, seguido de un encrespamiento bajo [32]. Estos síntomas se incrementaron con la adición gradual de NaCl, lo que sugiere que el estrés abiótico es el comienzo y severidad de muchas enfermedades [33].

El área foliar total es la sumatoria del área foliar verde y el área foliar necrosada, para el cual el análisis de varianza mostró diferencias significativas para la interacción entre la concentración de NaCl y el hongo *F. oxysporum*.

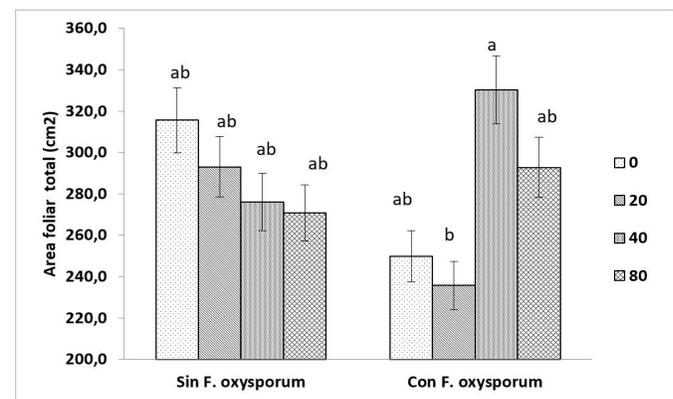


Figura 2. Área foliar total de plantas de tomate *S. lycopersicum* l. cv. calima sometidas a sales de NaCl y *F. oxysporum*. Fuente: Autor.

El incremento en la salinidad disminuye la producción en los cultivos por la reducción del crecimiento foliar y la inducción de la senescencia de las hojas, lo que limita la capacidad de fotosíntesis total y la posibilidad de generar más crecimiento de la biomasa cosechable, sin embargo esta respuesta provee un mecanismo de defensa contra el estrés salino [10] [34]. [35] encontraron que el área foliar se desarrolló rápidamente después del trasplante y luego el crecimiento y el área foliar disminuyeron debido a la senescencia y caída de las hojas con el aumento de la salinidad. En este estudio, el área foliar total disminuyó linealmente con la salinidad debido posiblemente a la disminución del crecimiento foliar (Figura 2), al

retraso en la aparición y desarrollo de nuevas hojas [36] y al aumento de la caída de hojas a medida que se iba completando la concentración de sal en el suelo de las materas; sin embargo, hojas nuevas se produjeron a medida que hojas maduras morían y esta superficie fotosintética fue suficiente para que la planta entrara a la fase reproductiva.

Aunque algunas veces los cambios estimados en el contenido de clorofila están relacionados con la fotosíntesis, la concentración de clorofila no siempre es directamente proporcional a la tasa fotosintética de la planta [37] sino utilizado como índice del daño hecho sobre el aparato fotosintético bajo condiciones salinas. En este sentido [38], encontró que las plantas de tomate (*S. lycopersicum* L.) disminuyeron el contenido de clorofila en CE 8,9 dS/m debido a una mayor actividad degradativa de la enzima clorofilasa la cual puede inhibir su biosíntesis y consecuentemente perturbar el proceso fotosintético bajo condiciones de estrés.

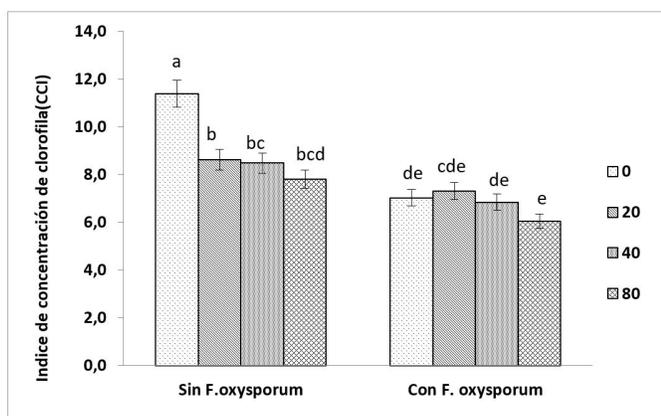


Figura 3. Índice de concentración de clorofila en tomate *S. lycopersicum* L. cv. Calima sometidas a sales de NaCl y *F. oxysporum*. Fuente: Autor.

Los patógenos también interfieren de manera directa sobre la fotosíntesis [39] [40] y se manifiesta en clorosis, lesiones necróticas foliares, reducción en el crecimiento y la producción de frutos; en plantas infectadas por patógenos vasculares los estomas permanecen parcialmente cerrados, se reduce la clorofila y la fotosíntesis se detiene incluso antes de que la planta se marchite por completo [41]. Sin embargo, en plantas de tomate (*L. esculentum* Mill. cv. Bonny Best) inoculadas con el hongo *F. oxysporum* f. sp. *Lycopersici*, el contenido de clorofila aumentó hasta igualar a las plantas testigo [39]. En este trabajo de investigación, las plantas de tomate variedad Calima inoculadas con *F. oxysporum*, la

clorofila total (CCI) disminuyó significativamente (Figura 3) y el CCI también fue medido en hojas aparentemente asintomáticas, de lo cual podemos inferir que el grado de estrés inducido por la salinidad y *F. oxysporum* es de tipo sinérgico [42], es decir que el resultado de los dos factores NaCl y *F. oxysporum* juntos es más grande que la suma de los efectos de ambos factores cuando son aplicados separadamente sobre las plantas de tomate variedad Calima.

La Conductividad eléctrica (CE) aumentó progresivamente con la concentración de sal en presencia del hongo (Figura 4) como resultado de la interacción de un número complejo de procesos físicos y químicos. Físicos cuando las sales afectan negativamente la estructura del suelo (compactación) y no permite la liberación y dispersión de exudados producidos por las raíces y el patógeno, como azúcares, aminoácidos, fenoles, flavonoides, reguladores de crecimiento, taninos, ni de las sales, por lo tanto la CE tiende a aumentar debido a la inmovilización de las sales en el perfil del suelo en condiciones invernadero. Es así como [35] regó plantas de tomate (*L. esculentum*, variedad ELKO 190) con soluciones salinas con CE de 2.3 y 3.6 dS/m, y al final del ensayo la conductividad del suelo fue de 4.5 y 6.4 dS/m respectivamente.

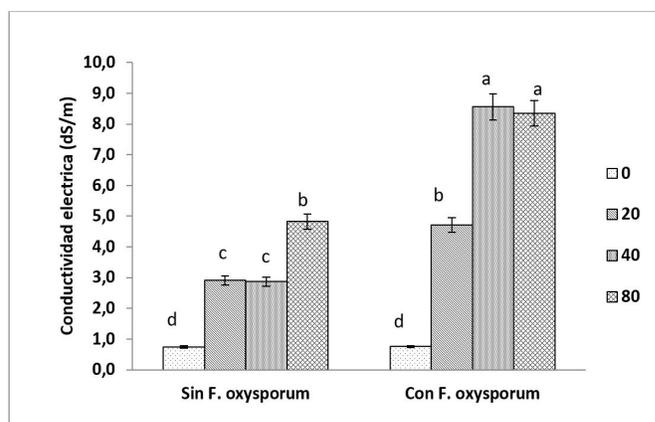


Figura 4. Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo de plantas de tomate *S. lycopersicum* L. cv. Calima sometidas a sales de NaCl y *F. oxysporum*. Fuente: Autor.

Las plantas y los microorganismos del suelo responden a la afectación de las relaciones hídricas producidas por el estrés salino y la sequía mediante la activación de respuestas complejas como el incremento en la producción de osmolitos, los cuales modifican el potencial de soluto y el potencial matricial, y es en este último en el cual el hongo aumenta la concentración de osmolitos, los

cuales estuvieron correlacionados con el desarrollo de subsecuentes síntomas de marchitamiento y desecación de plantas de tomate antes de la muerte bajo condiciones salinas [43]. Por lo tanto, la mayor CE en presencia de *F. oxysporum* es este estudio posiblemente fue debido por un lado a la inmovilización de las sales en el suelo y por otro a la exudación de osmolitos. Por lo tanto si se disminuye o cesa el transporte de agua, la sal no pasa a través de la corriente transpiratoria, y parte de los iones permanecieron en el sustrato suelo.

Por otra parte, las plantas de tomate fueron más eficientes en el uso del agua en presencia del hongo más concentraciones salinas de 40 y 80 mM de NaCl comparados las plantas testigo (Figura 5).

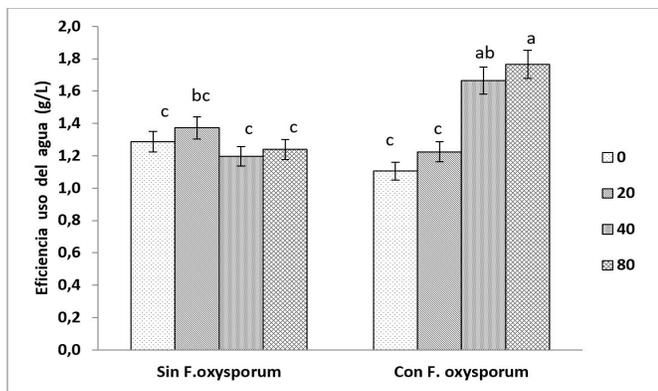


Figura 5. Eficiencia en el uso del agua en plantas de tomate *s. lycopersicum* l. cv. calima sometidas a sales de NaCl y *F. oxysporum*. Fuente: Autor.

La producción de biomasa en cualquier cultivo está determinada por la cantidad de agua disponible en el suelo, pero la relación está en que la producción de nueva biomasa (fotosíntesis) y el gasto de agua (transpiración) se producen a la vez utilizando la misma vía: los estomas de las hojas. El cierre de los estomas implica la disminución en la absorción de CO<sub>2</sub> y a menudo la tasa de fotosíntesis [44] [45], lo que provoca disminución de la cantidad de asimilados producidos y consecuentemente la materia seca acumulada en la planta por unidad de agua transpirada [20] [46]. Las plantas bajo condiciones de estrés son capaces de optimizar su uso eficiente de agua: (i) a corto plazo maximizado el CO<sub>2</sub> ganado durante el día con una cantidad limitada de agua, (ii) a largo plazo regulando la cantidad de agua disponible en el suelo con una reducción de la apertura estomática mucho antes de que toda el agua disponible este completamente agotada o (iii) como resultado de la integración de los dos

anteriores en función de las condiciones atmosféricas, del agua disponible en el suelo y la regulación del agua perdida [47].

Bajo condiciones de estrés, la señalización química entre raíces y brotes puede limitar el crecimiento de los brotes sin influenciar en el desarrollo del fruto, sin embargo las plantas con abundante follaje están obligadas a suministrar hidratos de carbono para el desarrollo de órganos reproductivos y a suministrar en gran proporción agua, la cual es transportada vía floema [48] [49]. En el aumento de la WUE también fue relevante el peso seco de la biomasa foliar necrosada dentro del peso seco total mientras que en otros estudios de WUE no se reportan datos sobre biomasa necrosada. Por lo tanto, la eficiencia obtenida en plantas de tomate variedad Calima bajo estrés biótico y abiótico se ve reflejada en el uso del agua para evapotranspiración, mantenimiento de las actividades fotosintéticas, detoxificación iónica mediado por la senescencia prematura de hojas maduras, producción de osmoreguladores a nivel de hojas y frutos, defensa contra el estrés biótico y abiótico mediante la producción de especies de oxígeno reactivo (ROS) [50].

## Conclusiones

La aplicación simultánea de los dos factores estresantes *Fusarium oxysporum* y la concentración de NaCl, incrementaron el efecto de cada uno de ellos e indujeron un mayor nivel de estrés en las plantas de tomate variedad Calima. Como resultado del estrés aplicado, las plantas manifestaron una clara respuesta en su comportamiento expresado en disminución de la biomasa fotosintéticamente activa debido a la reducción del área foliar verde, el aumento de la biomasa foliar necrosada por la senescencia prematura de hojas maduras, disminución de la cantidad de agua absorbida y de la clorofila total, lo que modificó la cantidad de energía utilizada en los procesos fotoquímicos para la producción y distribución de fotoasimilados en los órganos de la planta.

## Referencias

- [1] Farifteh F, Van der Meer F, Atzberger C, Carranza EJ. 2007. Quantitative analysis of salt-affected soil reflectance spectra: A comparison of two adaptive methods (PLSR and ANN). *Remote Sensing of Environment* 110: 59–78.

- [2] Fernández-Buces N, Siebe C, Cram S, Palacio JL. 2006. Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: A case study in the former lake Texcoco, Mexico. *Journal of Arid Environments* 65: 644–667.
- [3] Yugang W., Caiyun Deng, Yan Liu, Ziru Niu, Yan Li. 2018. Identifying change in spatial accumulation of soil salinity in an inland river watershed, China, *Science of The Total Environment*, Volume 621, Pages 177-185.
- [4] Metternicht G & Zinck JA. 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment* 85: 1–20.
- [5] Sheng J, Ma L, Jiang P, Li B, Huang F, Wu H. 2010. Digital soil mapping to enable classification of the salt-affected soils in desert agro-ecological zones. *Agricultural Water Management* 97: 1944–1951
- [6] Ding J.L, Wu M.C, Tashpolat T. (2011). Study on soil salinization information in arid region using remote sensing technique. *Agricultural Science in China*, 10(3), 404-411.
- [7] Hong W Fan YH Tashpolat T. 2011. The research of soil salinization human impact based on remote sensing classification in oasis irrigation area. *Procedia Environmental Sciences* 10: 2399 – 2405.
- [8] Piekarczyk J, Kazmierowski C, Krolewicz S. 2012. Relationships between soil properties of the abandoned fields and spectral data derived from the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER). *Advances in Space Research* 49: 280–291.
- [9] Wu, Honghong. (2018). Planta salt tolerance and Na<sup>+</sup> sensing and transport. *The crop journal* 6: 215-225.
- [10] Munns R & Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *The annual Review of plant Biology* 59: 651- 681.
- [11] Krishnamurthy P, Ranathunge K, Nayak S, Schreiber L, Mathew MK. 2011. Root apoplastic barriers block Na<sup>+</sup> transport to shoots in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Exp. Bot.* 62 (12): 4215-28.
- [12] Kronzucker HJ & Britto DT. 2011. Sodium transport in plants: a critical review. *New Phytol. Jan.*, 189(1), 54-81.
- [13] Wang R, Shuqin Wan, Jiaxia Sun, Huijie Xiao (2018). Soil salinity, sodicity and cotton yield parameters under different drip irrigation regimes during saline wasteland reclamation, *Agricultural Water Management*, Volume 209, Pages 20-
- [14] Yepes L, Najla Chelbi, Juana-María Vivo, Manuel Franco, Agatha Agudelo, Micaela Carvajal, María del Carmen Martínez-Ballesta. Analysis of physiological traits in the response of Chenopodiaceae, Amaranthaceae, and Brassicaceae plants to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, Volume 132, 2018. Pages 145-155
- [15] Munns R. 2010. Approaches to identifying genes for salinity tolerance and the importance of timescale. *Methods Mol. Biol.* 639: 25-38.
- [16] Zribi L, Fatma G, Fatma R, Salwa R, Hassan N, Mohamed- Néjib R. 2009. Application of chlorophyll fluorescence for the diagnosis of salt stress in tomato “*Solanum lycopersicum* (variety Rio Grande)”. *Scientia Horticulturae* 120: 367–372.
- [17] Cuartero J & Fernández-Muñoz R. 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 83-125.
- [18] Maggio A, Raimondi G, Martino A, De Pascale S. 2007. Salt stress response in tomato beyond

- the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental Botany* 59: 276-282.
- [19] Parra M, Albacete A, Martínez-Andéjar C, Pérez-Alfocea F. 2007. Increasing plant vigour and tomato fruit yield under salinity by inducing plant adaptation at the earliest seedling stage. *Environmental and Experimental Botany* 60: 77–85.
- [20] Romero-Aranda R, Soria T, Cuartero J. 2001. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science* 160: 265-272.
- [21] Debouba M, Gouia H, Suzuki A, Habib-Ghorbel M. 2006. NaCl stress effects on enzymes involved in nitrogen assimilation pathway in tomato "*Lycopersicon esculentum*" seedlings. *Journal of Plant Physiology* 163 (12): 1247-1258.
- [22] Aimé S, Cordier C, Alabouvette C, Olivain Ch. 2008. Comparative analysis of PR gene expression in tomato inoculated with virulent *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and the biocontrol strain *F. oxysporum* Fo47. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 73:9-15.
- [23] Mandal S, Mitra A, Mallick N. 2008. Biochemical characterization of oxidative burst during interaction between *Solanum lycopersicum* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 72: 56–61.
- [24] Miteva E, Hristova D, Nenova N, Maneva S. 2005. Arsenic as a factor affecting virus infection in tomato plants: changes in plant growth, peroxidase activity and chloroplast pigments. *Scientia Horticulturae* 105: 343–358.
- [25] Fujita M, Fujita Y, Noutoshi Y, Takahashi F, Narusaka Y, Yamaguchi SK, Shinozaki K. 2006. Crosstalk between abiotic and biotic stress responses a current view from the points of convergence in the stress signaling networks. *Plant Biology* 9:436–442.
- [26] Leslie J & Summerell B. 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell publishing.
- [27] Lovelli S, Scopa A, Perniola M, Di Tommaso T, Sofo A. 2012. Abscisic acid root and leaf concentration in relation to biomass partitioning in salinized tomato plants. *Journal of Plant Physiology* 169: 226– 233.
- [28] Yoshida S. 2003. Molecular regulation of leaf senescence. *Current Opinion in Plant Biology* 6: 79-84.
- [29] Ghanem ME, Albacete A, Smigocki AC, Frébert I, Pospíšilová H, Martínez-Andújar C, Acosta M, Sánchez-Bravo J, Lutts S, Dodd IC, Pérez-Alfocea F. 2011. Root-synthesized cytokinins improve shoot growth and fruit yield in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Journal of Experimental Botany* 62(1): 125-140.
- [30] Li B, Wang Y, Zhang Z, Wang B, Eneji E, Duan L, Li Z, Tian X. 2012. Cotton shoot plays a major role in mediating senescence induced by potassium deficiency. *Journal of Plant Physiology* 169: 327– 335.
- [31] González I, Arias Y, Peteira B. 2012. Aspectos generales de la interacción *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*– tomate. *Rev. Protección vegetal* 27(1): 1-7.
- [32] DiLeo M, Matthew F, Pye T, Roubtsova V, Duniway J, MacDonald JD, Rizzo DM, Bostock RM. 2010. Abscisic Acid in Salt Stress Predisposition to *Phytophthora* Root and Crown Rot in Tomato and Chrysanthemum. *Plant stress and abiotic disorders* 100 (9): 871-879.
- [33] Nebauer S, Sánchez M, Martínez L, Lluch Y, Renau-Morata B, Molina R. 2013. Differences in

photosynthetic performance and its correlation with growth among tomato cultivars in response to different salts. *Plant Physiology and Biochemistry* 63 : 61-69.

- [35] Katerji N, van Hoorn JW, Hamdy A, Mastrorilli M. 1998. Response of tomatoes, a crop of indeterminate growth, to soil salinity. *Agricultural Water Management* 38(1): 59-68.
- [36] Albacete A, Ghanem ME, Martínez-Andújar C, Acosta M, Sánchez-Bravo J, Martínez V, Lutts S, Dodd IC, Pérez-Alfocea F. 2008. Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Journal of Experimental Botany* 59(15): 4119-4131.
- [37] Peña J. 2012. Calidad del vino y producción en plantas de uva (*Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay) sometidas a defoliación parcial temprana. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. UPTC. Tunja.
- [38] Rady MM. 2012. A novel organo-mineral fertilizer can mitigate salinity stress effects for tomato production on reclaimed saline soil. *South African Journal of Botany* 81: 8-14.
- [39] Prokopová J, Mieslerová B, Hlavácková V, Hlavinka J, Lebeda A, Naus J, Spundová M. 2010. Changes in photosynthesis of *Lycopersicon* spp. Plants induced by tomato powdery mildew infection in combination with heat shock pre-treatment. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 74: 205-213.
- [40] Boldt K, Pörs Y, Haupt B, Bitterlich M, Kühn C, Grimm B, Franken P. 2011. Photochemical processes, carbon assimilation and RNA accumulation of sucrose transporter genes in tomato arbuscular mycorrhiza. *Journal of Plant Physiology* 168:1256-1263.
- [41] Agrios G. 2005. *Plant phytopathology*. Elsevier Academic Press, 5<sup>a</sup> edition. London.
- [42] Bastías E, Alcaraz-López C, Bonilla I, Martínez-Ballesta MC, Bolaños L, Carvajal M. 2010. Interactions between salinity and boron toxicity in tomato plants involve apoplastic calcium. *Journal of Plant Physiology* 167: 54-60.
- [43] Singh LP, Gill SS, Tuteja N. 2011. Unraveling the role of fungal symbionts in plant abiotic stress tolerance. *Plant signaling & Behavior* 6(2): 175-191.
- [44] Gao Z, Sagi M, Lips SH. 1998. Carbohydrate metabolism in leaves and assimilate partitioning in fruits of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) as affected by salinity. *Plant Science* 135: 149-159.
- [45] Fujimura S, Suzuki K, Nagao M, Okada M. 2012. Acclimation to root chilling increases sugar concentrations in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits. *Scientia Horticulturae* 147: 34-41.
- [46] 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, 54-66.
- [47] Kang S & Zhang J. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Journal of experimental Botany* 55 (407): 2437-2467.
- [48] Ho LC, Grange RI, Picken AJ. 1987. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant, Cell and Environment* 10: 157-162.
- [49] Davies WJ, Bacon MA, Thompson DS, Sobeih W, González-Rodríguez L. 2000. Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: exploitation of the plants' chemical

signalling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agricultura. *Journal of Experimental Botany* 51(350): 1617-1626.

- [50] Herbette S, Tourvieille D, Drevet JR, Roeckel-Drevet P. (2011). Transgenic tomatoes showing higher glutathione peroxydase antioxidant activity are more resistant to an abiotic stress but more susceptible to biotic stresses. *Plant Science* 180: 548–553.