



## CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU EFECTO EN COMPUESTOS BIOACTIVOS Y RENDIMIENTO DE PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annuum* L.) †

### [ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF NUTRIENT SOLUTION AND THEIR EFFECT ON BIOACTIVE COMPOUNDS AND YIELD OF BELL PEPPER (*Capsicum annuum* L.)]

Pablo Preciado-Rangel<sup>1</sup>, Edgar Omar Rueda-Puente<sup>2</sup>,  
Luis Alonso Valdez-Aguilar<sup>3</sup>, Juan José Reyes-Pérez<sup>4</sup>,  
Miguel Ángel Gallegos-Robles<sup>5</sup> and Bernardo Murillo-Amador<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup> *Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Ejido Ana. Torreón, Coahuila, México. C.P. 27170.*

<sup>2</sup> *Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro. Hermosillo, Sonora, México C.P. 83000.*

<sup>3</sup> *Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315.*

<sup>4</sup> *Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Avenida Quito km 1.5 vía a Santo Domingo de los Tsáchila, Quevedo, Los Ríos, Ecuador C.P. 120501.*

<sup>5</sup> *Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 28, Ejido Venecia, Durango, México. C.P. 35170.*

<sup>6</sup> *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Av. Instituto Politécnico Nacional No. 195. Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur. La Paz, Baja California Sur, México. C.P. 23096. Tel. +52-612-123-84-84 Ext. 3440. E-mail address: bmurillo04@cibnor.mx*

\*Corresponding author

#### SUMMARY

**Background.** The electrical conductivity (EC) of a nutrient solution (NS) in hydroponic or soilless systems influences the yield and quality of the fruits. **Objective.** The aim of this research was to determine the quality and fruit yield of bell pepper in response to the electrical conductivity of the nutrient solution. **Methodology.** A completely randomized experimental design with 15 replications was used. The treatments consisted of four nutrient solutions with different electrical conductivity (1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 dS m<sup>-1</sup>) based on the Steiner nutrient solution. Yield, firmness, and bioactive compounds (phenolic compounds, vitamin C, lycopene, β-carotene, and the antioxidant activity) were quantified in fruits. **Results.** The results showed that an electrical conductivity of 2.0 dS m<sup>-1</sup> or higher increased the bioactive compounds but decreased the yield and firmness of the fruits. **Implications.** The correct selection of the EC in the NS is a preponderant factor to get functional foods, with high yields and to avoid unnecessary costs in fertilization. **Conclusion.** The high EC in the NS reduced the yield and the firmness of the fruits. From an EC of 2.0 dS m<sup>-1</sup> in the NS, the content of vitamin C, total phenols, lycopene, total capsaicinoids, β-carotene and the antioxidant activity of pepper fruits increased. **Key words:** hydroponic crops; quality; phenols; β-carotene; capsaicinoid content.

#### RESUMEN

**Antecedentes.** La conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva en sistemas de cultivo sin suelo influye en el rendimiento y la calidad de los frutos. **Objetivo.** El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad y el rendimiento de frutos de pimiento morrón en respuesta a la conductividad de la solución nutritiva. **Metodología.** Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 15 repeticiones, cuyos tratamientos consistieron en cuatro soluciones nutritivas con diferente conductividad eléctrica (1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 dS m<sup>-1</sup>) tomando como base la solución nutritiva de Steiner. Se evaluó el rendimiento, firmeza de frutos y los compuestos bioactivos (compuestos fenólicos, vitamina C, licopeno, β-caroteno, contenido de capsaicinoides y la actividad antioxidante). **Resultados.** Los resultados mostraron que una conductividad eléctrica de 2.0 dS m<sup>-1</sup> o superior incrementó los compuestos bioactivos, pero disminuyó el rendimiento y la firmeza de los frutos. **Implicaciones.** La selección adecuada de la CE en la SN es un factor preponderante para la obtención de alimentos funcionales, con rendimientos altos y para evitar costos innecesarios en la fertilización. **Conclusión.**

† Submitted September 7, 2020 – Accepted January 28, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License. ISSN: 1870-0462.

La CE alta en la SN redujo el rendimiento y la firmeza de los frutos. A partir de una CE de 2.0 dS m<sup>-1</sup> en la SN, se incrementó el contenido de vitamina C, fenoles totales, licopeno, capsaicinoides totales, β-caroteno y la actividad antioxidante de frutos de pimiento.

**Palabras claves:** cultivos hidropónicos; calidad; fenoles; β-caroteno; contenido de capsaicinoides.

## INTRODUCCIÓN

La hidroponía o el cultivo de plantas sin suelo permite el desarrollo de plantas directamente en una solución nutritiva (SN) o utiliza un sustrato como soporte (Di Lorenzo *et al.*, 2013). En la hidroponía, un factor preponderante en el rendimiento y la calidad de los cultivos es la concentración iónica de la solución nutritiva (SN), expresada como conductividad eléctrica (CE) (Preciado-Rangel *et al.*, 2003). La CE de la SN se establece en función de la demanda nutrimental del cultivo y puede modificarse en cada etapa fenológica no solo para satisfacer la demanda nutrimental sino también para favorecer alguna característica de interés como es la calidad de los frutos (Krauss *et al.*, 2006). El manejo adecuado de la CE de la SN es un punto clave en la productividad y calidad de los cultivos (Bertoldi *et al.*, 2009), debido a que los valores bajos de la CE provocan deficiencias nutrimentales principalmente de nitrógeno, mientras que los valores altos inducen problemas de absorción de nutrientes por poseer un potencial osmótico alto, lo cual limita la absorción de iones por la raíz (Udagawa 1995; Trejo-Télez y Gómez-Merino 2012). La CE de la SN también se utiliza para mejorar el contenido de compuestos bioactivos en el tejido comestible de la planta (Lam *et al.*, 2020), a expensas de una disminución del rendimiento (Moya *et al.* 2017). En tomate, el incremento de la CE en la SN provoca que se mejore la calidad organoléptica de los frutos (Saito *et al.* 2008; Moya *et al.* 2017); sin embargo, este incremento también causa un tipo de estrés abiótico en las plantas conocido como salinidad moderada (Saito y Matsukura, 2015). Por otro lado, el pimiento morrón (*Capsicum* spp.) es una de las hortalizas más importantes (Velázquez-Ventura *et al.*, 2018), tiene un contenido alto de vitamina C, carotenos, fenoles, capsaicinoides, xantofilas y flavonoides, además posee una actividad antioxidante alta (Zhuang *et al.*, 2012). Los frutos rojos presentan un contenido mayor de antioxidantes en comparación con los de color verde (Simonne *et al.*, 1997). Los radicales libres en las células causan enfermedades en el ser humano como el envejecimiento celular, la mutagénesis y la carcinogénesis y son los antioxidantes los que neutralizan estos radicales para evitar daños a la salud humana (Devasagayam *et al.*, 2004). Se ha demostrado que el contenido de fitonutrientes en algunas especies vegetales es determinado principalmente por el genotipo, por el tipo y cantidad de nutrientes utilizados (Asami *et al.*, 2003). Dado que el estrés hiperosmótico activa la biosíntesis de compuestos antioxidantes (Smirnoff, 1995), se propuso la hipótesis que la CE

en valores moderados en la SN incrementa la biosíntesis de compuestos bioactivos y el rendimiento de frutos. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre la biosíntesis de compuestos bioactivos y el rendimiento de frutos de pimiento morrón.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El experimento se desarrolló en un invernadero semiautomático de forma circular, cubierto con una capa de polietileno plástico y sistema de enfriamiento semiautomático, ubicado en el Instituto Tecnológico de Torreón, en la Ciudad de Torreón, Coahuila, México (24° 30' y 27° N, 102° 00' y 104° 40' O y 1120 msnm). La temperatura mínima y máxima en el interior del invernadero fluctuó entre 17.7 y 31.6 °C, respectivamente, mientras la humedad relativa mínima y máxima osciló entre 30 y 70 %. Durante la duración la etapa de experimentación (95 días), la temperatura mínima y máxima en el interior del invernadero fluctuó entre 17.7 y 31.6 °C, respectivamente, mientras que la humedad relativa mínima y máxima osciló entre 30 y 70 %.

### Material vegetal y condiciones de crecimiento

Las plántulas de chile pimiento morrón cv. California Wonder (Harris Moran), con cuatro hojas verdaderas y una altura entre 15-20 cm (una plántula por maceta), se colocaron en bolsas de plástico de color negro de 20 L que se utilizaron como macetas, cuyo sustrato contenido fue arena de río y vermiculita en proporciones 80:20 (v:v). Previamente la arena de río se lavó y desinfectó con solución de hipoclorito de sodio al 5%. Las macetas se colocaron en doble hilera con una separación de 1.6 m, con una densidad de 4 plantas m<sup>2</sup>.

### Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en cuatro soluciones nutritivas con diferente conductividad eléctrica las cuales fueron, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 dS m<sup>-1</sup> tomando como base la solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1984), con la composición siguiente (en meq L<sup>-1</sup>), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 12.0; H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> 1.0; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 7.0.0; K<sup>+</sup> 7.0; Ca<sup>2+</sup> 9.0.0 y Mg<sup>2+</sup> 4.0, además de los siguientes micronutrientes (en mg L<sup>-1</sup>), Mn 1.6, Cu 0.11, B 0.865, Zn 0.023, Mo 0.048 y Fe 5, con un pH de 5.5 y una CE de 2.0 dS m<sup>-1</sup>. El experimento se

realizó utilizando un diseño experimental completamente al azar con 15 repeticiones donde cada repetición estuvo representada por una planta, para un total de 60 plantas. Las soluciones nutritivas se prepararon utilizando agua potable (agua del grifo), cuya composición química fue de 0.49 dS m<sup>-1</sup>, un pH de 6.97, cationes (me L<sup>-1</sup>), 3.63 de Ca<sup>2+</sup>, 0.15 de Mg<sup>2+</sup>, 0.02 de K<sup>+</sup>, 1.64 de Na<sup>+</sup> y aniones (meq L<sup>-1</sup>) 1.55 de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 2.09 de Cl<sup>-</sup> y 1.02 de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, cuya clasificación se estableció como agua C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> (Ayers y Westcot 1994). El análisis del agua (determinación de los iones) se realizó bajo la norma NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Los tratamientos se aplicaron de la manera siguiente, a partir del trasplante y hasta la floración, las plantas se regaban tres veces al día con las soluciones nutritivas, aplicando 1.0 L por maceta d<sup>-1</sup>. A partir de la floración y hasta la cosecha, las plantas se regaban tres veces al día con las soluciones nutritivas, aplicando 2.0 L por maceta d<sup>-1</sup>.

### Rendimiento

El peso del total de frutos cosechados por planta se registró mediante una báscula digital portátil (Ohaus®, USA) con una precisión de 0.01 g. Los valores del rendimiento se reportan en kg m<sup>-2</sup>.

### Firmeza

Al momento de la cosecha de cada planta se tomaron al azar tres frutos y se les determinó la firmeza, la cual se cuantificó en la zona ecuatorial de los frutos, utilizando un penetrómetro (Extech FHT200 Penetrometer Measures Fruit Ripeness, Extech Instruments, USA), con un puntal en forma de cono. La fuerza aplicada hasta la penetración del puntal se expresó en Newtons (N).

### Compuestos bioactivos

Las muestras de frutos frescos se lavaron con agua destilada durante 2 min para eliminar residuos y se cortaron en rodajas, posteriormente se liofilizaron durante 10 días. El material deshidratado se trituró manualmente utilizando un mortero y se almacenaron en tubos de plástico Eppendorf a -18 °C hasta que se obtuvieron los extractos. Para los análisis de compuestos fitoquímicos, se cosechó un fruto de cada tratamiento y repetición, respectivamente.

### Contenido de fenoles totales y β-caroteno

Las muestras de frutos frescos se lavaron con agua destilada durante 2 min para eliminar residuos y se cortaron en rodajas, posteriormente se colocaron en bandejas y se enfriaron desde 25 °C hasta -40 °C, a una velocidad de 0.10 °C min<sup>-1</sup> por 10 h; posteriormente se liofilizaron durante 6 días. Se

utilizó un equipo de liofilización Labconco freeZone Triad modelo 74000. El extracto de los compuestos fenólicos se realizó seleccionando una muestra seca triturada de 100 mg se mezcló con 5 mL de metanol, en un tubo de plástico con tapón de rosca. Esta se colocó en un agitador (ATR Inc., USA) durante 24 h (20 rpm) a 5 °C. Las muestras (tubos) se centrifugaron a 30,000 × g durante 5 min y el sobrenadante (sin metanol) se extrajo para las pruebas analíticas. El contenido de fenoles totales se cuantificó mediante el método espectrofotométrico (Spectronic Unicomp, Cambridge, Reino Unido) que utiliza el reactivo de fenol de Folin-Ciocalteu, a 750 nm (Singleton *et al.*, 1999). Los límites de cuantificación para el método analítico para fenoles totales fueron 1.38 y 4.19 µg mL<sup>-1</sup>, respectivamente. Este análisis se realizó por triplicado. La linealidad se determinó entre 0.02 y 0.1 µg L<sup>-1</sup> con ácido gálico (AGE) estándar, con pureza alta y calibrado por triplicado (Mejía *et al.*, 1988). Para la cuantificación de β-caroteno se utilizó un equipo de cromatografía líquido de alto rendimiento (HPLC, Varian ProStar 320) con detector UV-Vis ProStar 210 y columna tipo C18 (Waters Corp., Milford, MA, USA) de 3.9 mm × 15 cm. Como disolvente se utilizó acetonitrilo/THF/H<sub>2</sub>O (85:12.5:2.5) bombeado a una velocidad de flujo de 1.0 mL min<sup>-1</sup>. Todas las repeticiones mantuvieron las características siguientes, 24 °C y la detección a 460 nm. Los “picos” en los cromatogramas del HPLC se identificaron por comparación del tiempo de retención de los estándares y estándares internos trans-α-caroteno (Tipo V) y β-caroteno (Tipo IV). Los límites de detección y el límite de cuantificación del método analítico utilizado para cuantificar β-caroteno fueron 0.03 y 0.10 µg mL<sup>-1</sup>, respectivamente.

### Contenido de vitamina C

El contenido de vitamina C se determinó en frutos frescos por triplicado. La pulpa de 10 g de pimientos se cortó en trozos pequeños y se trituraron en licuadora convencional con 20 mL de una mezcla de extracción. Posteriormente se homogeneizó y filtró antes de su análisis. Las muestras se inyectaron en un equipo de cromatografía líquido de alto rendimiento (HPLC, Varian ProStar 320) con detector UV-Vis (ProStar 210, Prostar Varian Inc., Walnut Creek, CA, USA), según el método descrito por Doner y Hicks (1981). Se utilizó una columna de Amina de 10 cm y un serpentín de inyección de 20 L.

### Contenido de capsaicinoides

El contenido total de capsaicina se midió mediante una adaptación del método de Cisneros-Pineda *et al.* (2007). La absorbancia de los extractos metanólicos de las muestras se leyó a 273 nm (capsaicina) y 235 nm (dihidrocapsaicina) en un

espectrofotómetro (Hach DR/4000 Hach Company, Iowa, USA). El contenido total de capsaicina se calculó mediante una curva estándar de capsaicina y dihidrocapsaicina (Sigma, St. Louis, Missouri, USA). Los resultados se reportan en mg de capsaicina o dihidrocapsaicina por gramo de muestra seca ( $\text{mg g}^{-1}$  BS). Los análisis se realizaron por triplicado.

#### Actividad antioxidante

La actividad antioxidante de los frutos de pimiento se determinó con el método descrito por Zhuang *et al.* (2012). Los pimientos frescos se molieron y se tomaron muestras (5 g) por triplicado para preparar un extracto etanólico. La muestra de 5 g se extrajo agitando con 75 mL de etanol al 80 %, a temperatura ambiente, durante 24 h y se filtró. Los filtrados se concentraron en un evaporador rotatorio con vacío, a 40 °C. Los extractos resultantes se utilizaron para determinar la actividad antioxidante. Una alícuota de 0.4 mL del extracto se mezcló con 2 mL de una solución de metanol de difenilpicrilhidrazilo (DPPH) 0.1 mM. La mezcla se mantuvo a temperatura ambiente, en oscuridad por 30 min y su absorbancia se registró a 517 nm en un lector de microplacas. La actividad de captación de radicales del difenilpicrilhidrazilo se calculó de acuerdo con la ecuación (1):

$$\text{Porcentaje de actividad de eliminación} = \frac{(A_{\text{control}} - A_{\text{extracto}})}{A_{\text{control}}} \times 100 \dots \dots (1)$$

Donde:

$A_{\text{control}}$  = absorbancia del control.

$A_{\text{extracto}}$  = absorbancia del extracto.

#### Análisis estadístico

La prueba de Bartlett se ejecutó en los datos para probar la homogeneidad de varianza. La normalidad de los datos se probó con las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk W. Los análisis de varianza se realizaron para las variables de respuesta, rendimiento y firmeza de frutos, contenido de fenoles totales, licopeno,  $\beta$ -caroteno, vitamina C y la actividad antioxidante en los frutos de pimiento morrón. Los valores promedio se consideraron estadísticamente diferentes cuando  $p \leq 0.05$ . Se realizaron comparaciones de medias de los tratamientos con la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey HSD (Honestly-Significant-Difference) ( $p \leq 0.05$ ). Para cumplir con los supuestos del análisis de varianza, los datos de la variable actividad antioxidante (expresada en porcentaje) se transformaron mediante arcoseno (Steel y Torrie, 1962). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistica v. 13.5 (TIBCO Software Inc., 2018).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento

La CE de la SN afectó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) el rendimiento de frutos de pimiento morrón (Tabla 1). La respuesta del rendimiento de frutos de pimiento con una CE baja en la SN se atribuye a un déficit de nutrientes (Trejo-Téllez y Gómez-Merino 2012), mientras que con una CE alta, se restringe la absorción de agua en la planta y los frutos, provocada por una concentración alta de iones en la rizosfera, que afecta la expansión celular del fruto en crecimiento (Amalfitano *et al.*, 2017). Lo anterior también provoca una actividad fotosintética reducida (Degl'Innocenti *et al.*, 2009). Se ha demostrado que la CE alta reduce el potencial osmótico de la SN limitando la absorción de agua y algunos nutrientes, principalmente aquellos que son absorbidos por flujo de masas como el calcio, lo que causa pudrición apical en frutos (Terraiza *et al.*, 2008). La disminución del rendimiento reportado en este estudio coincide con los reportados por Aktas *et al.* (2006) quienes afirman que la CE del agua o de la SN nutritiva afecta el crecimiento y el rendimiento de las plantas de manera diferencial. Esta respuesta no es igual en todas las especies, porque el genotipo sustenta una función preponderante, pues diferencias en el orden de 0.5  $\text{dS m}^{-1}$  causan discrepancias en el rendimiento (Steiner, 1984). El pimiento es una especie sensible a la salinidad (Navarro *et al.*, 2002). Se ha demostrado que una CE superior a 3.0  $\text{dS m}^{-1}$  en la SN, excede los requerimientos nutrimentales del pimiento (Sonneveld y Van der Burg, 1991). El estrés causado por riego con agua moderadamente salina (CE 3  $\text{dS m}^{-1}$ ) afecta negativamente el contenido de materia seca, fenoles totales y ácido ascórbico; sin embargo, el estrés hídrico (riego al 50 %) tuvo un efecto favorecedor sobre los niveles de los tres caracteres mencionadas en comparación con el control (Martín-Romero, 2016). Estudios recientes (Currey *et al.*, 2019) muestran que en especies como cilantro, eneldo y perejil, la CE de la SN no afecta la producción de biomasa fresca o seca de estas especies; sin embargo, la CE tiene efecto en las concentraciones de los nutrientes en la solución nutritiva, pues el Ca y el Mg disminuyen al incrementarse la CE de la SN, mientras que otros como el N, P, K, Mn, Zn, Cu, Fe, B, incrementan al aumentar la CE en concentraciones en un rango de 0.5 a 4.0  $\text{dS m}^{-1}$ , demostrando además que estas especies se pueden cultivar con éxito en una variedad de CE (0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0  $\text{dS m}^{-1}$ ), independientemente de la intensidad de la luz del ambiente de crecimiento. En especies aromáticas, existen algunas controversias respecto al efecto de la CE en la SN, pues se reporta que el incremento de la CE de 1.2 a 3.6  $\text{dS m}^{-1}$  en la SN, incrementa la biomasa fresca de 1.87 a 7.88 g y la biomasa seca de 196 mg a 645 mg (Udagawa, 1995). Resultados

similares mostraron *Ocimum basilicum*, *Ocimum × citriodorum* ‘Lime’ y *Ocimum tenuiflorum* (Walters y Currey, 2018). En especies de la misma familia que el pimiento, el manejo en el incremento de la CE de la SN generó cambios fisicoquímicos de variables asociadas con la calidad organoléptica de frutos como el incremento de sólidos solubles totales, almidón, acidez titulable y firmeza (Rodríguez *et al.*, 2019).

### Firmeza

La firmeza de los frutos mostró una respuesta diferencial respecto a la CE de la SN, observándose una disminución ( $p \leq 0.05$ ) al incrementar la CE en la SN (Tabla 1). Esta reducción en la firmeza se atribuye a la disminución del contenido de calcio en los frutos, resultados reportados previamente (Tadesse *et al.*, 1999; Terraza *et al.*, 2008). También esta reducción se atribuye al incremento en la producción de etileno en CE mayores. La firmeza de los frutos de pimiento se relaciona directamente con la madurez de cosecha, pues si los frutos se cosechan con el color característico de la variedad, la consistencia del fruto se reduce afectando de esa manera el manejo y transporte de frutos, lo que disminuye la vida de anaquel. Asimismo, después de la cosecha, los frutos pierden rápidamente agua lo que limita aún más su vida postcosecha (Rajput y Parulekar, 1998). En frutos de tomate, Cliff *et al.* (2012) demostraron que el tratamiento de CE ( $0.5 \text{ S m}^{-1}$ ) impactó positivamente la calidad sensorial de los tomates de invernadero; sin embargo, estos cambios fueron concomitantes con una reducción en el tamaño del fruto y la firmeza del fruto respondió de manera diferente a los tratamientos de CE y posiblemente reconoció estructuras diferentes o mecanismos fisiológicos subyacentes.

### Vitamina C

El contenido de vitamina C en frutos se incrementó ( $p \leq 0.05$ ) conforme aumentó la CE de la SN. El incremento de la vitamina C en la CE de  $3.0 \text{ dS m}^{-1}$  fue de 32 % respecto a la CE de  $1.5 \text{ dS m}^{-1}$  (Tabla 1). Este incremento se atribuye a los mecanismos de defensa de la planta contra las condiciones de estrés biótico y abiótico como el incremento salino de la SN (Fallik *et al.*, 2019); protegiendo de esa manera los órganos de las plantas del daño oxidativo a los lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Los resultados conseguidos en este estudio coinciden con los de Navarro *et al.* (2006) quienes reportan que los incrementos de la CE en la SN incrementan el contenido de vitamina C en los frutos de pimiento rojo. La fuente principal de vitamina C para el hombre son los frutos y de estos, los de pimiento presentan el contenido mayor de ácido ascórbico, el cual difiere en función del manejo agronómico (Castellanos *et al.*, 2017). Si se considera que la vitamina C es un antioxidante

que protege los tejidos del daño causado por las especies reactivas de oxígeno (Nepal *et al.*, 2019), entonces, desde el punto de vista nutricional, el uso de agua con una CE superior a  $3.0 \text{ dS m}^{-1}$  es una alternativa positiva para incrementar el contenido de vitamina C en los frutos de esta especie, pues el contenido de este antioxidante satisface la dosis diaria recomendada de  $60 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  (Levine *et al.*, 1996). En especies de la misma familia que el pimiento. Fanasca *et al.* (2007) reportó que la CE en la SN ( $2.5 \text{ dS m}^{-1}$  y  $8 \text{ dS m}^{-1}$ ) no afectó el contenido vitamina C en frutos de tomate.

### Contenido de capsaicinoides

La CE de la SN incrementó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) el contenido de capsaicinoides en los frutos de pimiento morrón, observándose que estos se incrementaron conforme se aumentó la CE (Tabla 1). Estos resultados coinciden con los reportados por (Akladios y Mohamed, 2018) quienes concluyen que los capsaicinoides de frutos de *Capsicum annuum* se incrementaron respecto al control ( $0 \text{ mM de NaCl}$ ) al utilizar agua con  $100 \text{ mM de NaCl}$  y otros tratamientos como ácidos húmicos y calcio para contrarrestar el efecto de la salinidad en la especie. Asimismo, Ruiz-Lau *et al.* (2011) reportaron que la actividad de la capsaicina se incrementó en frutos de chile cuyas plantas se sometieron a estrés hídrico. Los capsaicinoides son únicos del género *Capsicum* y en la mayoría de estas especies, el contenido de capsaicina es uno de los parámetros de calidad más importantes desde el punto de vista de la calidad comercial (Govindarajan y Sathyanarayana, 1991). La capsaicina es una molécula compleja que actúa como un antioxidante porque incorpora la estructura fenólica común para muchos otros antioxidantes. En el pimiento morrón, la capsaicina no es de importancia, pues los frutos si bien contienen este antioxidante, las cantidades son mínimas comparados con otras especies del mismo género (Sánchez-Escalante *et al.*, 2003). También se ha demostrado que el contenido de capsaicina no solo difiere por efecto del ambiente sino también por la genética de la variedad o cultivares, así como por el estado de maduración, ésta última relacionada con la actividad de la peroxidasa (Gnayfeed *et al.*, 2001).

### Compuestos y actividad antioxidante

Los compuestos bioactivos en frutos de tomate mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las CE utilizadas. Conforme se incrementó la CE en la SN, el contenido de compuestos bioactivos en frutos de pimiento también aumentó (Figura 1a, b, c, d). El incremento en el contenido total de fenoles y antioxidantes totales fue en promedio de 46.6 y 25.6 %, respectivamente, entre la CE de  $3.0 \text{ dS m}^{-1}$  respecto a  $1.5 \text{ dS m}^{-1}$ . (Figura 1 a y c). La respuesta se atribuye a que la CE alta en la SN

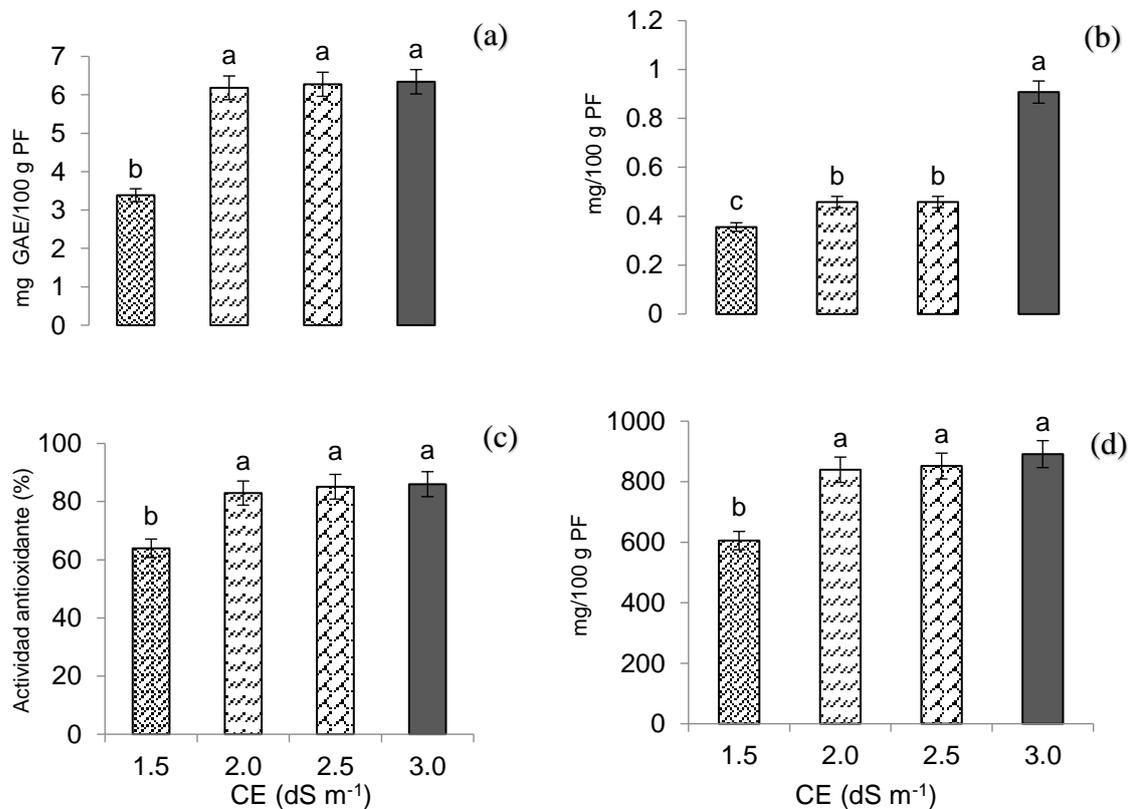
induce a un estrés salino; por lo tanto, las plantas incrementan las sustancias antioxidantes para su defensa ante el estrés oxidativo (Liu *et al.*, 2008; Khanahmadi *et al.*, 2010). La respuesta de incremento en compuestos bioactivos es positiva para los consumidores, pues se ha demostrado que el consumo de alimentos ricos en compuestos bioactivos se asocia a un riesgo menor de enfermedades por cáncer y prevención de enfermedades cardiovasculares (Petr y Erdman, 2005) de ahí la importancia de aumentar la biosíntesis de estos compuestos en los frutos antes de la cosecha y su consumo posterior (Nishino *et*

*al.*, 2004; Sesso *et al.*, 2005). Por tal motivo, es importante que los antioxidantes se concentren en los frutos, pues la presencia de éstos ayuda a prevenir la peroxidación lipídica debido a la formación de radicales libres (Kaewnaee *et al.* 2011). Los resultados de este estudio coinciden con los reportados por De Pascale *et al.* (2001) quienes afirman que el estrés osmótico moderado puede ser benéfico para los cultivos al mejorar la calidad organoléptica y el contenido antioxidante de la fruta y concluyen que es posible mejorar la actividad antioxidante en frutos de tomate, con una reducción aceptable del rendimiento, al regar con

**Tabla 1. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva en el rendimiento, firmeza, contenido de vitamina C y capsaicinoides totales en frutos de pimiento morrón.**

CE (dS m <sup>-1</sup> )	Rendimiento (kg m <sup>-2</sup> )	Firmeza (N)	Vitamina C (mg g <sup>-1</sup> peso fresco)	Capsaicinoides totales (mg g <sup>-1</sup> BS)
1.5	0.985 b*	1.763 a	1.398 b	0.860 b
2.0	1.279 ab	0.706 b	1.487 b	0.940 b
2.5	1.524 a	0.591 b	1.551 b	1.10 a
3.0	1.124 b	0.483 b	1.976 a	1.150 a

\*Valores promedio en columna con diferente literal son significativamente diferentes (Tukey HSD,  $p \leq 0.05$ ).



**Figura 1.** (a) Contenido de fenoles totales, (b) licopeno, (c) porcentaje de actividad antioxidante y (d) contenido de  $\beta$ -caroteno en frutos de pimiento morrón cultivados en diferentes niveles de conductividad eléctrica de la solución nutritiva. Valores promedio en columnas con diferente literal son significativamente diferentes (Tukey HSD,  $p \leq 0.05$ ). Las barras representan la media  $\pm$  el error estándar de la media.

agua salina que contiene 0.25% (p/v) de NaCl. La actividad antioxidante de los pimientos se atribuye también al contenido en vitamina C, carotenoides y capsaicinoides y, por lo tanto, sería importante en futuras investigaciones analizar la correlación entre la actividad antioxidante y los compuestos bioactivos de los pimientos debido a la influencia de otros compuestos solubles, además de los polifenoles, que podrían afectar la capacidad antioxidante total (Hervert-Hernández *et al.*, 2010). Entre las especies de *Capsicum*, el pimentón tiene uno de los potenciales redox más bajos (Palic *et al.*, 1993) por lo que se espera un contenido alto de antioxidantes. Se han encontrado antioxidantes fenólicos como flavonoides (principalmente quercetina y luteolina), ácidos fenólicos, capsaicinoides, tocoferoles y carotenoides en pimientos frescos y sus semillas (Lee *et al.*, 1995; Daood *et al.*, 1996).

### Licopeno y $\beta$ -caroteno

El contenido de licopeno y  $\beta$ -caroteno en frutos de pimiento se incrementó significativamente ( $p \leq 0.05$ ), conforme aumentó la CE en la SN (Figura 1 b y d). Este incremento se ha reportado en frutos de tomate, donde la salinidad moderada mejoró la biosíntesis de carotenoides (D'Amico *et al.*, 2003). Resultados similares reportaron Fanasca *et al.* (2007) al observar un contenido significativamente mayor de licopeno y  $\beta$ -caroteno cuando las plantas de tomate se cultivaron con una CE alta en la zona radicular y concluyen que la CE tiene un impacto mucho más fuerte en el sabor y los atributos de calidad relacionados con la salud del consumidor. También en tomate De Pascale *et al.* (2001) reportaron que las concentraciones totales de carotenoides y licopeno expresadas tanto en peso fresco como en peso seco aumentaron gradualmente del control no salinizado al tratamiento con 4.4 dS m<sup>-1</sup> (aproximadamente 0.25% p/v de NaCl) y disminuyeron cuando la CE del agua de riego fue mayor a los 4.4 dS m<sup>-1</sup>. Los resultados de este estudio coinciden con los reportados en especies de la misma familia. Para esto, Petersen *et al.* (1998) midieron el  $\beta$ -caroteno en fruto de plantas de tomate cultivadas en medio salino y concluyen que la acumulación del  $\beta$ -caroteno se produce como consecuencia de la reducción en el contenido de agua de los frutos de plantas estresadas por salinidad. Los estudios más recientes demostraron que el aumento en el contenido de  $\beta$ -caroteno no es tan significativo en frutos de plantas de tomate cultivadas en diferentes conductividades eléctricas del agua de riego (De Pascale *et al.*, 2001). Se ha demostrado que los frutos de pimiento son una fuente muy importante de licopeno y  $\beta$ -caroteno y su contenido puede variar por el genotipo y la etapa de madurez del fruto (Hallmann y Rembiakowska, 2012), pues se han reportado los niveles más altos de estos carotenoides en frutos completamente maduros

(Gnayfeed *et al.*, 2001). El licopeno es el responsable del color característico de los frutos y uno de los antioxidantes principales consumidos por el ser humano en una dieta regular. Tiene efectos antioxidantes y anticancerígenos por lo que su consumo es benéfico para la salud humana (Basu e Imrhan, 2007). Otros estudios demostraron que el  $\beta$ -caroteno es precursor de la vitamina "A", la cual protege contra varios tipos de cáncer, especialmente de pulmón, gastrointestinal, de mama y de próstata (Shibata *et al.*, 1992). Los resultados encontrados en este estudio son similares a los reportados por Navarro *et al.* (2006) quienes reportaron que el efecto de la salinidad depende del estado de madurez de los pimientos y que esta no tuvo un efecto significativo en el contenido de  $\beta$ -caroteno o los azúcares, pero disminuyó el ácido ascórbico y los compuestos fenólicos totales, pero incrementó el contenido de licopeno. Un estudio reciente demostró que los compuestos antioxidantes y la calidad de los frutos de pimiento (capsaicina, licopeno,  $\beta$ -caroteno, fenol total, flavonoides totales y actividad antioxidante) se mejoraron mediante el uso de ácidos húmicos utilizando 100 mM de NaCl en el agua de riego (Akladios y Mohamed, 2018). Se debe considerar que genéticamente existe un diferencial en el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de pimiento (Chávez-Mendoza *et al.*, 2015). Estudios recientes muestran que los flavonoides más abundantes en los pimientos son la quercetina y la luteolina y son influenciados altamente por el ambiente en el que se cultivaron las plantas, siendo, en general el cultivo al aire libre la condición más favorable para su acumulación, independientemente del manejo orgánico o convencional; asimismo, se observaron diferencias en la acumulación de flavonoides entre los genotipos de pimiento (Castellanos-Ruiz, 2019). Al respecto, Meckelmann *et al.* (2015) al evaluar atributos de calidad como el contenido de capsaicinoides, flavonoides, tocoferoles, capacidad antioxidante, polifenoles totales, color extraíble y color de superficie de 23 accesiones de ají peruano, perteneciente a cuatro especies domesticadas *Capsicum annuum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chinense* y *Capsicum frutescens*, cultivadas en diferentes condiciones meteorológicas y prácticas agrícolas en tres localidades, demostraron que el medio ambiente y localidades tiene una influencia alta en las características de calidad evaluadas en las accesiones. Por su parte, Tripodi *et al.* (2018) al evaluar los factores genéticos y ambientales que subyacen a la variación del rendimiento y contenido de compuestos bioactivos de variedades de pimiento picante (*Capsicum annuum*) cultivado en dos sitios contrastantes, concluyen que un enfoque integral del estudio proporciona información útil sobre la variabilidad de los fitoquímicos mediada por el medio ambiente,

revelando el desafío relacionado con la mejora genética de compuestos bioactivos.

### CONCLUSIONES

La conductividad eléctrica alta en la solución nutritiva redujo el rendimiento y la firmeza de los frutos de pimiento morrón.

A partir de una conductividad eléctrica de 2.0 dS m<sup>-1</sup> en la solución nutritiva, se incrementó el contenido de vitamina C, fenoles totales, licopeno, capsaicinoides totales, β-caroteno y porcentaje de la actividad antioxidante de frutos de pimiento.

### Agradecimientos

Se agradece el trabajo de arbitraje de tres revisores de la revista Tropical and Subtropical Agroecosystems que permitió mejorar de forma y fondo la contribución científica del estudio. Se agradece al Instituto Tecnológico de Torreón, al CONACYT y al CIBNOR® por el financiamiento para realizar la investigación.

**Financiamiento.** Esta investigación se realizó con fondos del Instituto Tecnológico de Torreón y del proyecto Modelo de aprovechamiento y eficiencia máxima de agua salinizada acoplado a un sistema unidireccional de acuaponía-agricultura CONACYT-PN-2017-I con clave No. 4631, proyecto apoyado por FORDECYT-PRONACES, así como con recursos fiscales del CIBNOR®.

**Conflicto de interés.** Los autores declaran que no existe conflicto de interés. Las fuentes de financiamiento no tuvieron ningún rol en el diseño del estudio, en la recopilación, análisis o interpretación de datos, en la redacción del manuscrito o en la decisión de publicar los resultados.

**Cumplimiento de estándares de ética.** La investigación no incluyó mediciones con humanos o animales. El sitio de estudio no es considerado área protegida ni la especie en estudio se encuentra protegida o en peligro de extinción, por lo tanto, su uso tiene efectos insignificantes en el funcionamiento más amplio del ecosistema.

**Disponibilidad de datos.** Los autores confirman que todos los datos subyacentes a los hallazgos están totalmente disponibles sin restricciones, previa solicitud razonable al autor de correspondencia, Dr. Bernardo Murillo-Amador, al correo electrónico bmurillo04@cibnor.mx. Todos los datos relevantes necesarios para replicar este estudio se describen en el documento.

### REFERENCIAS

Akladios, S.A., Mohamed, H.I. 2018. Ameliorative effects of calcium nitrate

and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (*Capsicum annuum*) plants grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 236, pp. 244-250. doi:10.1016/j.scienta.2018.03.047.

Aktas, H., Abak, K., Cakmak, I. 2006. Genotypic variation in the response of pepper to salinity. *Scientia Horticulturae*, 110 (3), pp. 260-266. doi:10.1016/j.scienta.2006.07.017.

Amalfitano, C.A., Del Vacchio, L.D.V., Somma, S., Cuciniello, A.C., Caruso, G. 2017. Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of 'Friariello' pepper grown in hydroponics. *Horticultural Science*, 44 (2), pp. 91-98. doi:10.17221/172/2015-HORTSCI.

Asami, D.K., Hong, Y.J., Barrett, D.M., Mitchell, A.E. 2003. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (5), pp. 1237-1241. doi:10.1021/jf020635c.

Ayers, R., Westcot, D. 1994. *Water Quality for Agriculture*, FAO Irrig. Drain. Pap. 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Basu, A., Imrhan, V. 2007. Tomatoes versus lycopene in oxidative stress and carcinogenesis: conclusions from clinical trials. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61 (3), pp. 295-303. doi:10.1038/sj.ejcn.1602510.

Bertoldi, F.C., Sant'Anna, E.S., Barcelos-Oliveira, J.L., Simoni, R. 2009. Antioxidant properties of hydroponic cherry tomato cultivated in desalinated wastewater. *International Society for Horticultural Science*, pp. 197-202. doi:10.17660/ActaHortic.2009.843.25.

Castellanos, J.Z., Cano-Ríos, P., García-Carrillo, E.M., Olalde-Portugal, V., Preciado-Rangel, P., Ríos-Plaza, J.L., García-Hernández, J.L. 2017. Hot pepper (*Capsicum annuum* L.) growth, fruit yield, and quality using organic sources of nutrients. *Compost Science & Utilization*, 25, pp. S70-S77. doi:10.1080/1065657X.2017.1362673.

Castellanos-Ruiz, J.A. 2019. Compuestos bioactivos en pimientos tradicionales en diferentes condiciones de cultivo. Trabajo

- final de grado en Biotecnología. Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural (ETSIAMN). Valencia, España. 44 p.
- Chávez-Mendoza, C., Sanchez, E., Muñoz-Marquez, E., Sida-Arreola, J.P., Flores-Cordova, M.A.J.A. 2015. Bioactive compounds and antioxidant activity in different grafted varieties of bell pepper. *Antioxidants*, 4 (2), pp. 427-446. doi:10.3390/antiox4020427-
- Cisneros-Pineda, O., Torres-Tapia, L.W., Gutiérrez-Pacheco, L.C., Contreras-Martín, F., González-Estrada, T., Peraza-Sánchez, S.R.J.F.C. 2007. Capsaicinoids quantification in chili peppers cultivated in the state of Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, 104 (4), pp. 1755-1760. doi:10.1016/j.foodchem.2006.10.076.
- Cliff, M.A., Li, J.B., Toivonen, P.M.A., Ehret, D.L. 2012. Effects of nutrient solution electrical conductivity on the compositional and sensory characteristics of greenhouse tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 74, pp. 132-140. doi:10.1016/j.postharvbio.2011.12.007.
- Currey, C.J., Walters, K.J., Flax, N.J.J.A. 2019. Nutrient solution strength does not Interact with the daily light integral to affect hydroponic cilantro, dill, and parsley growth and tissue mineral nutrient concentrations. *Agronomy*, 9 (7), pp. 389. doi: 10.3390/agronomy9070389.
- D'Amico, M., Izzo, R., Navari-Izzo, F., Tognoni, F., Pardossi, A. 2003. Sea water irrigation: antioxidants and quality of tomato berries (*Lycopersicon esculentum* Mill.). In: *International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment* 609, pp 59-65
- Daood, H.G., Vinkler, M., Markus, F., Hebshi, E.A., Biacs, P.A. 1996. Antioxidant vitamin content of spice red pepper (paprika) as affected by technological and varietal factors. *Food Chemistry*, 55 (4), pp. 365-372. doi:10.1016/0308-8146(95)00136-0.
- Degl'Innocenti, E., Hafsi, C., Guidi, L., Navari-Izzo, F. 2009. The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. *Journal of Plant Physiology*, 166 (18), pp. 1968-1981. doi:10.1016/j.jplph.2009.06.013.
- De Pascale, S., Maggio, A., Fogliano, V., Ambrosino, P., Ritieni, A. 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(4), pp. 447-453. doi.org/10.1080/14620316.2001.11511392.
- Devasagayam, T., Tilak, J., Boloor, K., Sane, K., Ghaskadbi, S., Lele, R. 2004. Free radicals and antioxidants in human health: current status and future prospects. *Journal of the Association of Physicians of India*, 52, pp. 794-804.
- Di Lorenzo, R., Pisciotta, A., Santamaria, P., Scariot, V. 2013. From soil to soil-less in horticulture: quality and typicity. *Italian Journal of Agronomy*, 8 (4), pp. 255-260. doi:10.4081/ija.2013.e30.
- Doner, L.W., Hicks, K.B. 1981. High-performance liquid chromatographic separation of ascorbic acid, erythorbic acid, dehydroascorbic acid, dehydroerythorbic acid, diketogulonic acid, and diketogluconic acid. *Analytical Biochemistry*, 115 (1), pp. 225-230. doi:10.1016/0003-2697(81)90550-9.
- Fallik, E., Alkalai-Tuvia, S., Chalupowicz, D., Zaaroor-Presman, M., Offenbach, R., Cohen, S., Tripler, E. 2019. How water quality and quantity affect pepper yield and postharvest quality. *Horticulturae*, 5 (1), pp. 4. doi:10.3390/horticulturae5010004.
- Fanasca, S., Martino, A., Heuvelink, E., Stanghellini, C. 2007. Effect of electrical conductivity, fruit pruning, and truss position on quality in greenhouse tomato fruit. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82 (3), pp. 488-494. doi:10.1080/14620316.2007.11512263.
- Gnayfeed, M.H., Daood, H.G., Biacs, P.A., Alcaraz, C.F. 2001. Content of bioactive compounds in pungent spice red pepper (paprika) as affected by ripening and genotype. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81 (15), pp. 1580-1585. doi:10.1002/jsfa.982.
- Govindarajan, V.S., Sathyanarayana, M.N. 1991. Capsicum-production, technology, chemistry, and quality. Part V. Impact on physiology, pharmacology, nutrition, and metabolism; structure, pungency, pain, and desensitization sequences. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29 (6), pp. 435-474. doi:10.1080/10408399109527536.

- Hallmann, E., Rembiałkowska, E. 2012. Characterisation of antioxidant compounds in sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under organic and conventional growing systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92 (12), pp. 2409-2415. doi:10.1002/jsfa.5624.
- Hervert-Hernández, D., Sáyago-Ayerdi, S.G., Goñi, I. 2010. Bioactive compounds of four hot pepper varieties (*Capsicum annuum* L.), antioxidant capacity, and Intestinal bioaccessibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 (6), pp. 3399-3406. doi:10.1021/jf904220w.
- Kaewnaee, P., Vichitphan, S., Klanrit, P., Siri, B., Vichitphan, K. 2011. Effect of accelerated aging process on seed quality and biochemical changes in sweet pepper (*Capsicum annuum* Linn.) seeds. *Biotechnology*, 10 (2), pp. 175-182.
- Khanahmadi, M., Rezazadeh, S.H., Taran, M. 2010. *In vitro* antimicrobial and antioxidant properties of *Smyrnium cordifolium* Boiss. (Umbelliferae) extract. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9 (2), pp. 99-103. doi:10.3923/ajps.2010.99.103.
- Krauss, S., Schnitzler, W.H., Grassmann, J., Voitke, M. 2006. The Influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on Inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (2), pp. 441-448. doi:10.1021/jf051930a.
- Lam, V.P., Kim, S.J., Park, J.S. 2020. Optimizing the electrical conductivity of a nutrient solution for plant growth and bioactive compounds of *Agastache rugosa* in a plant factory. *Agronomy*, 10 (1), pp. 76. doi:10.3390/agronomy10010076.
- Lee, Y., Howard, L.R., Villalon, B. 1995. Flavonoids and antioxidant Aativity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *Journal of Food Science*, 60 (3), pp. 473-476. doi:10.1002/jsfa.1298.
- Levine, M., Conry-Cantilena, C., Wang, Y., Welch, R.W., Washko, P.W., Dhariwal, K.R., Park, J.B., Lazarev, A., Graumlich, J.F., King, J., Cantilena, L.R. 1996. Vitamin C pharmacokinetics in healthy volunteers: evidence for a recommended dietary allowance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93. doi:10.1073/pnas.93.8.3704.
- Liu, X., Hua, X., Guo, J., Qi, D., Wang, L., Liu, Z., Jin, Z., Chen, S., Liu, G. 2008. Enhanced tolerance to drought stress in transgenic tobacco plants overexpressing VTE1 for increased tocopherol production from *Arabidopsis thaliana*. *Biotechnology Letters*, 30 (7), pp. 1275-1280. doi:10.1007/s10529-008-9672-y.
- Martín-Romero, J.A. 2016. Efecto de la combinación patrón-portainjerto, estado de maduración del fruto y condiciones de estrés hídrico o salino sobre el contenido de compuestos bioactivos del pimiento (*Capsicum annuum* L.). Trabajo de fin de máster. Master Universitario en Mejora Genética Vegetal. Universitat Politècnica de Valencia. Valencia, España. 87 p.
- Meckelmann, S.W., Riegel, D.W., Zonneveld, M., Rios, L., Peña, K., Mueller-Seitz, E., Petz, M. 2015. Capsaicinoids, flavonoids, tocopherols, antioxidant capacity and color attributes in 23 native Peruvian chili peppers (*Capsicum* spp.) grown in three different locations. *European Food Research Technology*, 240, pp. 273-283 DOI 10.1007/s00217-014-2325-6.
- Mejia, L.A., Hudson, E., González de Mejía, E., Vazquez, F. 1988. Carotenoid content by vitamin A activity of some common cultivars of Mexican peppers (*Capsicum annuum*) as determined by HPLC. *Journal of Foods Sscience*, 53 (5), pp. 1448-1451. doi:10.1111/j.1365-2621.1988.tb09295.x.
- Moya, C., Oyanedel, E., Verdugo, G., Flores, M.F., Urrestarazu, M., Álvaro, J.E. 2017. Increased electrical conductivity in nutrient solution management enhances dietary and organoleptic qualities in soilless culture tomato. *HortScience*, 52 (6), pp. 868-872. doi:10.21273/HORTSCI12026-17.
- Navarro, J.M., Flores, P., Garrido, C., Martinez, V. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*, 96 (1), pp. 66-73. doi:10.1016/j.foodchem.2005.01.057.
- Navarro, J.M., Garrido, C., Carvajal, M., Martinez, V. 2002. Yield and fruit quality of pepper plants under sulphate and chloride salinity. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77 (1), pp. 52-57. doi:10.1080/14620316.2002.11511456.
- Nepal, N., Yactayo-Chang, J.P., Medina-Jiménez, K., Acosta-Gamboa, L.M., González-Romero, M.E., Arteaga-Vázquez, M.A., Lorence, A. 2019. Mechanisms

- underlying the enhanced biomass and abiotic stress tolerance phenotype of an *Arabidopsis* MIOX over-expresser. *Plant Direct*, 3 (9), pp. 1-27. doi:10.1002/pld3.165.
- Nishino, H., Tokuda, H., Satomi, Y., Masuda, M., Osaka, Y., Yogosawa, S., Wada, S., Mou, X., Takayasu, J., Murakoshi, M. 2004. Cancer prevention by antioxidants. *BioFactors*, 22 (1-4), pp. 57-61.
- Palic, A., Krizanec, D., Dikanovic-Lucan, Z.J.F. 1993. The antioxidant properties of spices in dry fermented sausages. *Fleischwirtschaft*, 73 (6), pp. 670-672.
- Petersen, K.K., Willumsen, J., Kaack, K. 1998. Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73 (2), pp. 205-215. doi:10.1080/14620316.1998.11510966.
- Petr, L., Erdman, J. 2005. Lycopene and risk of cardiovascular disease. In: Packer L. U, Obermueller-Jevic, Kramer SK (eds) Carotenoids retinoids: Biological actions human health AOCS Press, Champaign, IL, pp 204-217.
- Preciado-Rangel, P., Baca-Castillo, G.A., Tirado-Torres, J.L., Kohashi-Shibata, J., Tijerina-Chávez, L., Martínez-Garza, Á. 2003. Presión osmótica de la solución nutritiva y la producción de plántulas de melón. *Terra Latinoamericana*, 21 (4), pp. 461-470.
- Rajput, C., Parulekar, Y. 1998. *Capsicum*. In: Salunkhe DK, Kadam SS (eds) Handbook of vegetable Science and Technology. CRC Press, New York, pp 221-242.
- Rodríguez, F., Pedreschi, R., Fuentealba, C., de Kartzow, A., Olaeta, J.A., Alvaro, J.E. 2019. The increase in electrical conductivity of nutrient solution enhances compositional and sensory properties of tomato fruit cv. Patrón. *Scientia Horticulturae*, 244, pp. 388-398. doi:10.1016/j.scienta.2018.09.059.
- Ruiz-Lau, N., Medina-Lara, F., Minero-García, Y., Zamudio-Moreno, E., Guzmán-Antonio, A., Echevarría-Machado, I., Martínez-Estévez, M. 2011. Water deficit affects the accumulation of capsaicinoids in fruits of *Capsicum chinense* Jacq. *HortScience*, 46 (3), pp. 487. doi:10.21273/hortsci.46.3.487.
- Saito, T., Matsukura, C. 2015. Effect of salt stress on the growth and fruit quality of tomato plants. In: Kanayama Y, Kochetov, A (ed) Abiotic Stress Biology in Horticultural Plants. Springer, Tokyo, pp 3-16. doi:10.1007/978-4-431-55251-2\_1.
- Saito, T., Matsukura, C., Ban, Y., Shoji, K., Sugiyama, M., Fukuda, N., Nishimura, S. 2008. Salinity stress affects assimilate metabolism at the gene-expression level during fruit development and improves fruit quality in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 77 (1), pp. 61-68. doi:10.2503/jjshs1.77.61.
- Sánchez-Escalante, A., Torrecano, G., Djenane, D., Beltrán, J.A., Roncalés, P. 2003. Stabilisation of colour and odour of beef patties by using lycopene-rich tomato and peppers as a source of antioxidants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83 (3), pp. 187-194. doi:10.1002/jsfa.1298.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3335/1/nom-021-semarnat-2000.pdf>.
- Sesso, H.D., Buring, J.E., Zhang, S.M., Norkus, E.P., Gaziano, J.M. 2005. Dietary and plasma lycopene and the risk of breast cancer. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*, 14 (5), pp. 1074. doi:10.1158/1055-9965.EPI-04-0683.
- Shibata, A., Paganini-Hill, A., Ross, R.K., Henderson, B.E. 1992. Intake of vegetables, fruits, beta-carotene, vitamin C and vitamin supplements and cancer incidence among the elderly: a prospective study. *British Journal of Cancer*, 66 (4), pp. 673-679. doi:10.1038/bjc.1992.336.
- Simonne, A.H., Simonne, E.H., Eitenmiller, R.R., Mills, H.A., Green, N.R. 1997. Ascorbic acid and provitamin A contents in Unusually colored bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 10 (4), pp. 299-311. doi:10.1006/jfca.1997.0544.
- Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, pp. 152-178. doi:10.1016/S0076-6879(99)99017-1.

- Smirnov, N. 1995. Antioxidant systems and plant response to the environment. In: Smirnov N (ed) *Environment and Plant Metabolism: Flexibility and Acclimation* BIOS Scientific Publishers, Oxford, UK, pp 217-224.
- Sonneveld, C., Van der Burg, A. 1991. Sodium chloride salinity in fruit vegetable crops in soilless culture. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 39 (2), pp. 115-122.
- Steel, R.G.D, Torrie, J.H. 1962. Principles and procedures of statistics. (With special reference to the biological sciences). McGraw-Hill Book Company, vol 4. vol 3. New York, Toronto, London. doi:10.1002/bimj.19620040313.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. Proceedings 6th. International Congress on Soilless Culture, Lunteren (Netherlands). pp:633-649.
- Tadesse, T., Nichols, M.A., Fisher, K.J. 1999. Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 27 (3), pp. 229-237. doi:10.1080/01140671.1999.9514101.
- Terraza, S.P., Romero, M.V., Peña, P.S., Madrid, J.L.C., Verdugo, S.H. 2008. Efecto del calcio y potencial osmótico de la solución nutritiva en la pudrición apical, composición mineral y rendimiento de tomate. *Interciencia*, 33 (6), pp. 449-456.
- TIBCO Software Inc. 2018. Statistica (data analysis software system), version 13. <http://tibco.com>.
- Trejo-Téllez, L.I., Gómez-Merino, F.C. 2012. Nutrient solutions for hydroponic systems. In: Asao T (ed) *Hydroponics-a standard methodology for plant biological researches*. InTech, China, pp 2-22. doi:10.5772/37578.
- Tripodi, P., Cardi, T., Bianchi, G., Migliori, C.A., Schiavi, M., Rotino, G.L., Lo Scalzo, R. 2018. Genetic and environmental factors underlying variation in yield performance and bioactive compound content of hot pepper varieties (*Capsicum annuum*) cultivated in two contrasting Italian locations. *European Food Research and Technology*, 244, pp. 1555-1567. doi.org/10.1007/s00217-018-3069-5.
- Udagawa, Y. 1995. Some responses of dill (*anethum graveolens*) and thyme (*Thymus vulgaris*), grown in hydroponic, to the concentration of nutrient solution. In: International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, pp. 203-210. doi:10.17660/ActaHortic.1995.396.24.
- Velázquez-Ventura, J.C., Márquez-Quiroz, C., de la Cruz-Lazaro, E., Osorio-Osorio, R., Preciado-Rangel, P. 2018. Morphological variation of wild peppers (*Capsicum* spp.) from the state of Tabasco, Mexico. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 3 (2), pp. 115-121. doi:10.9755/ejfa.2018.v30.i2.1603.
- Walters, K.J., Currey, C.J. 2018. Effects of nutrient solution concentration and daily light integral on growth and nutrient concentration of several basil species in hydroponic production. *HortScience*, 53 (9), pp. 1319-1325. doi:10.21273/HORTSCI13126-18.
- Zhuang, Y., Chen, L., Sun, .L, Cao, J. 2012. Bioactive characteristics and antioxidant activities of nine peppers. *Journal of Functional Foods*, 4 (1), pp. 331-338. doi:1016/j.jff.2012.01.001.