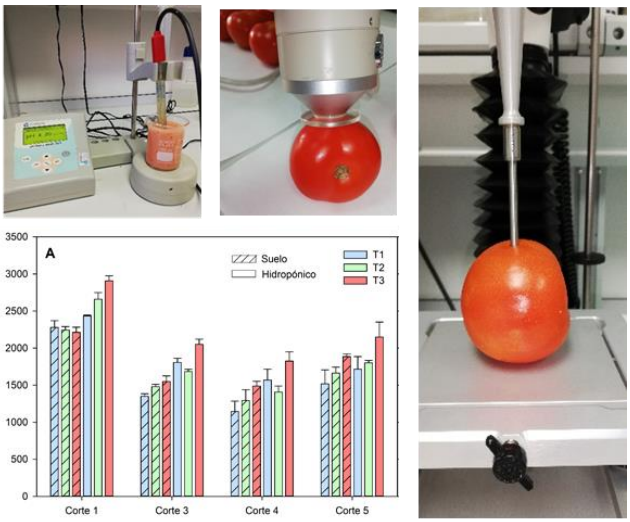
Deseacrop
DESALINATED SEAWATER FOR CROPPING

PROPOSAL LIFE 16-ENV-ES-000341

"DESALINATED SEAWATER FOR ALTERNATIVE AND SUSTAINABLE SOILLESS CROP PRODUCTION"



ACTION B3. RESPONSE OF CULTIVATION AND SOIL TO TREATMENTS AND THE CONFIGURATION OF DRAINAGE QUALITY

"Final report: Fruit quality report (2019-2020)"

"July 2020"

Universidad Politécnica de Cartagena

ÍNDICE

Abstract/Resumen **3**

1. Introducción **4**

2. Materiales y Métodos **6**

3. Resultados y Discusión **14**

4. Conclusions/Conclusiones **29**

Referencias **31**

Abstract

This report analyzed the effect of desalinated seawater (DSW), mixed or not with well water, on the postharvest quality of tomatoes grown with these irrigation treatments. Irrigation treatments were applied in two crop cycles (autumn and spring) during two years with different varieties adapted to each cycle. Tomatoes were grown in the experimental greenhouse of the UAL-ANECOOP Experimental Finca Foundation in Retamar (Almería). Several harvests (cuts) of the product were made in each cycle. Postharvest quality was studied based on the physicochemical quality (dry matter, total soluble solids, pH, titratable acidity, firmness and color), microbiological (total mesophilic and psychrophilic microorganisms, enterobacteria, molds and yeasts), sensory and nutritional/bioactive (total vitamin, carotenes, total phenolic content and total antioxidant capacity). In general, DSW mixed with well water at higher salt content (3 dS m^{-2}; named "T3" irrigation treatment) did not compromise the physicochemical quality of tomatoes (dry matter, total soluble solids, acidity, color and firmness). The enhanced product quality with T3 was also perceived in the sensory analyses mainly for color and firmness. Furthermore, the microbiological quality, as well as the content of carotenes, total phenolic content and total antioxidant capacity was not adversely affected by the irrigation type. On the other hand, cultivation on hydroponic soil induced a higher content of total vitamin C, particularly showing T3 the highest levels in some cuts. In addition, the content of phenolic compounds, as well as their total antioxidant capacity, was higher in those tomatoes from the autumn cycle compared to the spring cycle.

Resumen

En este informe se analizó el efecto del agua marina desalinizada (AMD), mezclada o no con agua de pozo, sobre la calidad postcosecha de tomates cultivados con estos riegos. Dichos tratamientos se aplicaron en dos ciclos de cultivo (otoño y primavera) durante dos anualidades con variedades diferentes adaptadas a cada temporada. Los ensayos se realizaron en el invernadero experimental de la Fundación Finca Experimental UAL-ANECOOP en Retamar (Almería). Se realizaron varias cosechas (cortes) del producto en cada ciclo. La calidad postcosecha se estudió en base a la calidad fisicoquímica (materia seca, sólidos solubles totales, pH y acidez titulable, firmeza y color), microbiológica (microorganismos totales mesófilos y psicrófilos, enterobacterias, mohos y levaduras), sensorial y nutricional/bioactiva (vitamina C total, carotenos, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante total). En general, el uso del AMD mezclada con agua de pozo con mayor contenido en sales (tratamiento de riego T3) con comprometió la calidad fisicoquímica de los tomates (materia seca, sólidos solubles totales, acidez, color y firmeza). En particular, la calidad del fruto con T3 fue percibido sensorialmente para los parámetros de color y firmeza. La calidad microbiológica de los frutos, así como el contenido de carotenos, fenoles totales y capacidad antioxidante total no se vio afectada negativamente por el tipo de riego. Por otra parte, el cultivo en suelo hidropónico indujo un mayor contenido de vitamina C, mostrando en particular el riego T3 de algunos cortes los mayores niveles. Además, el contenido de compuestos fenólicos, así como su capacidad antioxidante total, fue mayor en los tomates del ciclo de otoño comparados con los del ciclo de primavera.

1. Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es un producto vegetal ampliamente extendido por su alto valor económico (Martí et al., 2016; Toor et al., 2006). En todo el mundo, desde los países europeos hasta Estados Unidos, este producto vegetal muestra un alto índice de consumo durante todo el año, ya sea en forma fresca en ensaladas y otras preparaciones, o como producto procesado (zumos, salsas, purés, etc.), contribuyendo en gran medida a la composición nutricional de la dieta (Barrett y Anthon, 2001; de Abreu et al., 2014; Luthria et al., 2006; Raffo et al., 2006).

Los tomates, y sus productos derivados, son fuentes importantes de carotenoides, vitamina C (ácido ascórbico) y compuestos fenólicos. Además, el tomate también contiene vitamina E, ácido fólico y potasio (de Abreu et al., 2014; Lenucci et al., 2006; Leonardi et al., 2000; Luthria et al., 2006). Los carotenos son compuestos bioactivos con numerosas propiedades beneficiosas para la salud. El tomate es una rica fuente de licopeno y β-caroteno (Martínez-Hernández et al., 2016). Se han reportado ampliamente los numerosos beneficios del licopeno contra el cáncer de próstata y para la prevención de riesgos cardiovasculares, entre otros (Kun et al., 2006). Por otro lado, una deficiencia de β-caroteno está relacionada con el aumento de riesgo de xeroftalmia, ceguera y muerte prematura (Mayne, 1996). La vitamina C se refiere principalmente al ácido ascórbico (ácido L-ascórbico), aunque las frutas y hortalizas también contienen ácido dehidroascórbico (<10 % de la suma ascórbico+dehidroascórbico), el cual también es biológicamente activo pues el cuerpo humano es capaz de convertirlo en ácido ascórbico. Por ello, se recomienda reportar el contenido de vitamina C total en frutas y hortalizas como la suma del ácido ascórbico y dehidroascórbico (Lee y Kader, 2000). La vitamina C también posee muchas propiedades y beneficios para la salud como son su alto poder antioxidante, prevención de enfermedades coronarias y anticancerígeno (estómago, hígado y pulmón), entre otros (Naidu, 2003). Los fenólicos son compuestos bioactivos con alto poder antioxidante, antiinflamatorio, anticancerígeno, protección cardiovascular, etc. (Han et al., 2007).

El contenido de compuestos nutricionales y bioactivos en las frutas y hortalizas puede verse afectado por diferentes factores pre- y postcosecha. Entre los factores precosecha que pueden afectar a estos compuestos se incluyen el riego, suelo, entorno climático, variedades, prácticas culturales, etc. (Dumas et al., 2003). Además del valor nutricional, estos compuestos también afectan a los atributos de calidad postcosecha del producto obtenido, incluidos los sólidos solubles, pH, acidez titulable, firmeza, color, así como su percepción sensorial global. Asimismo, la respuesta fisiológica al estrés (como puede ser un estrés salino) derivada de estos factores también está relacionada con las características microbiológicas de la fruta, lo que determina su inocuidad alimentaria.

Los factores previos a la cosecha, como el tipo de suelo y el suministro de agua, han influido en la calidad y composición del tomate (Balibrea et al., 1997; Rouphael et al., 2012). Con respecto al suelo, los métodos agronómicos tradicionales dan como resultado una variabilidad de un año a otro en la composición de los fitoquímicos y en el rendimiento total (Bourgaud et al., 2001). Por el contrario, se ha demostrado que las técnicas hidropónicas en invernaderos, junto con el

correcto aporte de nutrientes, permiten un mejor control de la calidad del producto (Chandra et al., 2014). Además, Dorais et al. (2008) reportó que la mala calidad del agua y el déficit hídrico son los principales factores que determinan el rendimiento y la calidad del tomate en términos de valor nutricional y seguridad alimentaria.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la respuesta del tomate al riego con AMD, en comparación con las fuentes de agua tradicionales, sobre la calidad del fruto. Se diseñaron 2 ciclos de cultivo en cada año para estudiar la calidad del fruto en los siguientes tres niveles: i) Fisicoquímico: materia seca, sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable (AT), firmeza, color y parámetros sensoriales; ii) Microbiológico: mesófilos, psicrófilos, enterobacterias, mohos y levaduras; y iii) Nutricional/bioactivo: vitamina C total, carotenos (licopeno y β-caroteno), compuestos fenólicos totales (FT) y capacidad antioxidante (CAT).

2. Materiales y métodos

2.1. Descripción de los tratamientos

Los tomates fueron cultivados en la finca experimental sita en el Toyo (Retamar, Almería) (longitud: 2° 17' O, latitud: 36° 51' N y altitud: 90 m) siguiendo las condiciones de suelo y riego descritas en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de cultivo (tratamientos) estudiados y nomenclatura usada en este Informe.

Cultivo en suelo			**Cultivo hidropónico**		
T1 Agua desalada (0,5 ds m^{-1})	T2 Simulación de agua de pozo (1,5 ds m^{-1})	T3 Simulación de agua de pozo (3 ds m^{-1})	T1 Agua desalada (0,5 ds m^{-}	T2 Simulación de agua de pozo (1,5 ds m^{-1})	T3 Simulación de agua de pozo (3 ds m^{-1})

Se realizaron cultivos durante 2 anualidades con 2 ciclos de cultivo por cada anualidad. En cada ciclo de cultivo se realizaron varios cortes (3-4 cortes) como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Ciclos de cultivo y cortes realizados en cada una de las anualidades.

Año 2019				
Ciclo 1	Corte 1 (19/12/18)	Corte 3 (16/1/19)	Corte 4 (29/1/19)	Corte 5 (11/2/19)
Ciclo 2	Corte 1 (12/6/19)	Corte 2 (19/6/19)	Corte 3 (26/6/19)	
Año 2020				
Ciclo 3	Corte 1 (7/1/20)	Corte 2 (23/1/20)	Corte 3 (5/2/20)	Corte 4 (19/2/20)
Ciclo 4	Corte 1 (2/6/20)	Corte 2 (10/6/20)	Corte 3 (16/6/20)	

Se utilizaron dos variedades de tomate: Ramyle (ciclo 1) y Racymo (Ciclo 2). Cada día de recolección (corte) se recolectaron 3 réplicas de diferentes plantas para cada una de las 6 condiciones (tipo de suelo/riego). Cada réplica se compuso de 5 kg de tomates. Los tomates se recolectaron con similar grado de madurez correspondiente al nivel 6 según la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación del estado de madurez del tomate en función del porcentaje de área color rojo.

Estado de madurez	**Descripción**
1	Toda la superficie del fruto es verde, no hay color rojo visible
2	Hay un ligero cambio de color de verde a canela-amarillo, rosado o rojo.
3	Más del 10 %, pero menos del 30 % de la superficie muestra un cambio definitivo a canela-amarillo, rosado, rojo o una combinación de estos
4	Más del 30 %, pero menos del 60 % de la superficie muestra un cambio definitivo a rosado o rojo.
5	Más del 60 %, pero menos del 90 % de la superficie del fruto muestra un color rojo.
6	Más del 90 % de la superficie del fruto muestra un color rojo.

Fuente: Heuvelink (2005)

Los tomates recolectados se transportaron en coche hasta el laboratorio en la Universidad Politécnica de Cartagena. Los análisis realizados para la determinación de la calidad postcosecha de los frutos fueron:

- Calidad fisicoquímica: contenido de materia seca, SST, pH, AT, color y firmeza.
- Calidad sensorial: aroma, color, sabor, consistencia y apariencia.
- Calidad microbiológica: mesófilos, psicrófilos, enterobacterias, mohos y levaduras.
- Calidad nutricional/bioactiva: vitamina C total (ácido ascórbico+ácido dehidroascórbico), carotenos, FT y capacidad antioxidante total.

Todos los análisis se realizaron el mismo día que se recepcionaron los tomates, excepto los análisis referentes a la calidad nutricional/bioactiva. En este último caso, los tomates se dividieron en cuartos y se congelaron inmediatamente con nitrógeno líquido conservándose en un congelador a -80 °C hasta el día siguiente cuando se molieron las muestras con nitrógeno líquido en molino. Las muestras para analizar los carotenos se liofilizaron para aumentar la detección de estos compuestos. La muestra molida se conservó a -80 °C hasta la realización de dichos análisis de compuestos nutricionales/bioactivos.

2.2. Análisis fisicoquímicos

2.2.1. Contenido de materia seca

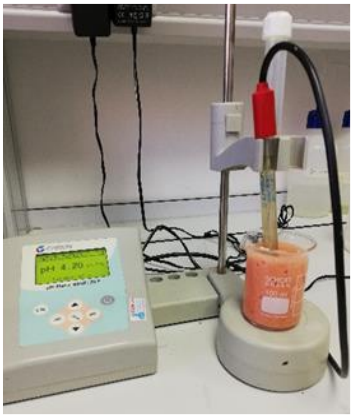
Para estudiar el contenido de materia seca se tomaron 25 g de tomates, se pesaron, trocearon (en cuartos) y finalmente se secaron en estufa de convección forzada a 60 °C durante 72 h (hasta peso constante). El contenido de materia seca se obtuvo mediante la diferencia entre el peso fresco y seco, expresándose en %. Se realizó el análisis de cada muestra por triplicado.

2.2.2. Sólidos solubles totales, pH, acidez titulable e índice de madurez

Para la determinación de los SST, pH y AT se dividieron las muestras en 10 subréplicas. Primeramente, se extrajo el zumo de los tomates con una licuadora. El zumo obtenido se filtró con 4 gasas y se usó para analizar los SST, pH y AT.

Los SST se determinaron sobre el zumo filtrado con un refractómetro óptico (Master Refractometer Automatic, Atago; Tokio, Japón) a temperatura ambiente. Los resultados se expresaron en °Brix.

El pH se determinó sobre el zumo filtrado mediante un pHmetro (Crison Basic20; Alella, España) a temperatura ambiente (Fotografía 1).



Fotografía 1. Medida de pH con pHmetro.

La AT se determinó sobre el zumo filtrado mediante titulación con NaOH (0,1 N) hasta pH 8,1 (medido con el pHmetro anterior) usando un titulador automático (modelo T50 Metter Toledo; Milán, Italia) como se muestra en la Fotografía 2. Para ello, se diluyó primeramente el zumo (10 g zumo + 90 mL agua destilada).

Fotografía 2. Titulación de acidez en tomate mediante titulador automático.

La AT se calculó como se muestra en la Ecuación 1:

$$AT = \frac{0{,}064 \times Vol \times N}{m} \times 100 \quad (1)$$

donde 0,064 es el factor de equivalencia del ácido cítrico (ácido mayoritario en tomate), *Vol* son los mL de NaOH usados en la titulación, *N* es la normalidad del NaOH (0,1 N) y *m* es la masa (g) de zumo (no diluido) usada. La AT se expresó en % (g ácido cítrico equivalentes por 100 g de zumo).

2.2.3. Color

El color se midió mediante un colorímetro (Chroma Meter, CR-300, MINOLTA, Ramsey, NJ, EEUU) (Fotografía 3). Antes de hacer las medidas, el colorímetro se calibró con una placa

reflectiva estándar. Las medidas se realizaron en el iluminante D65 y 2ª observador, con una apertura de lente del colorímetro de 8 mm. Se realizaron 3 medidas por cada fruto en diferentes partes de su superficie siendo estas 3 medidas promediadas automáticamente por el colorímetro. Las medidas se expresaron según el sistema CIELab en las coordenadas espaciales *L** (luminosidad), *a** (verde-rojo) y *b**(azul-amarillo).

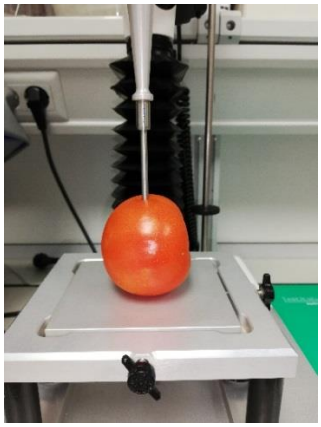
Fotografía 3. Medida de color superficial en tomate con colorímetro.

Para ofrecer un único valor de color se utilizó el índice de color de la Ecuación 2, que según describieron López-Camelo & Gómez (2004) es el más indicado para tomate reflejando mejor los cambios de color del tomate durante su maduración. Se analizaron 10 tomates (subréplicas) de cada réplica.

$$Índice\ de\ color\ (tomate) = \frac{2000 \times a^*}{L^* \times Chroma} \quad (2)$$

2.2.4. Firmeza

Las medidas de firmeza se realizaron con un texturómetro (modelo TA-XT Plus TA Instruments; Surrey, Reino Unido) (Fotografía 4) mediante la fuerza requerida (N) para penetrar 8 mm la superficie del tomate entero con una probeta cilíndrica de 4 mm de diámetro. El ensayo se realizó con una velocidad de 20 mm min^{-1}. Se analizaron 10 tomates (subréplicas) de cada réplica.



Fotografía 4. Medida de firmeza de tomate con texturómetro.

2.3. Análisis sensorial

Los análisis sensoriales se realizaron de acuerdo a los protocolos internaciones estandarizados de análisis sensoriales (ASTM, 1986). Las catas sensoriales se realizaron en una sala de catas estandarizada (ISO, 2007) equipada con 10 puestos individuales de catadores. Se utilizó luz fluorescente blanca durante las catas. Los catadores fueron personas no entrenadas pero conocedoras del producto en sus diferentes características organolépticas con edades comprendidas entre 18 y 65 años, y no fumadores. Las muestras se presentaron a los catadores en forma de rodajas (1 cm aproximadamente de espesor) a temperatura ambiente. Se suministró también agua a los catadores para limpia el paladar entre muestra y muestra. Los atributos sensoriales evaluados por los catadores se pueden observar en la hoja de cata (Fotografía 5) que se les suministró durante dichos análisis sensoriales.

Código de Muestra:..... ; Fecha: ; hora: Catador (Nombre):

Puntuación de cada Atributo	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**C**	**T1**	**T2**
Calidad global (apariencia externa)	Excelente Muy buena		Buena, sin defectos		Buena Aceptable		Presenta defectos		Muy Pobre, no comestible				
Color	Muy rojo		Rojo		Bueno Aceptable		Verde		Muy verde				
Firmeza	Muy turgente		Firme		Aceptable		Blanda		Muy Pobre, no comestible				
Apariencia interna	Excelente Muy buena		Buena, sin defectos		Buena Aceptable		Presenta defectos		Muy Pobre, no comestible				
Sabor	Excelente (dulce)		Bueno, sin defectos		Bueno Aceptable		Presenta defectos		Muy Pobre, no comestible (ácido)				
									Total puntos				
									Se acepta (SI) / Se rechaza (NO)				

Fotografía 5. Hoja de cata sensorial de tomate.

2.4. Calidad microbiológica

Para la realización del análisis microbiológico de la superficie del fruto se introdujo de forma aséptica un fruto por bolsa de *stomacher*. Seguidamente se añadió agua de peptona en proporción 1:1 (*peso:volumen; p:v*). Previamente a añadir el agua de peptona, se registró el peso de cada tomate así como sus diámetros sagital y ecuatorial, para poder así estimar su superficie mediante la ecuación de la superficie de la esfera. Las bolsas conteniendo el tomate se agitaron con un agitador orbital a 120 rpm durante 1 hora (4 °C). Tras realizar las pertinentes diluciones en agua de peptona de la bolsa agitada, se hicieron siembras en placa en profundidad (1 mL) para mesófilos, psicrófilos y enterobacterias, y en superficie (0,1 mL) con asa de siembra para mohos y levaduras. Los agares utilizados fueron PCA (*Plate count agar*) para mesófilos/psicrófilos, VRBG (*Violet Red Bile Glucose Agar*) para enterobacterias y Rosa de bengala para mohos y levaduras. La incubación de las placas de mesófilos, psicrófilos, enterobacterias y mohos/levaduras fueron 31 °C/48 h, 5 °C/7 días, 37 °C/24 h y 25 °C/5-7 días, respectivamente. Los resultados se expresaron como log de unidades formadoras de colonias (UFC) por cm^2 de superficie de tomate.

2.5. Análisis de compuestos nutricionales/bioactivos

2.5.1. Vitamina C total

La vitamina C se expresó como vitamina C total correspondiente a la suma de ácido ascórbico y dehidroascórbico. Sin embargo, para la determinación del ácido dehidroascórbico es necesaria su derivatización previa con o-fenilendiamina (OPDA) previo al análisis en HPLC.

La extracción de la vitamina C total así como su análisis se realizó de acuerdo a Zapata y Dufour (1992) con las modificaciones propuestas por Martínez-Hernández et al. (2013). La extracción y análisis de la vitamina C, así como el resto de los compuestos nutricionales/bioactivos, se realizó en condiciones de baja luz y en frío (lecho de hielo cuando fue posible). Para ello, se pesaron 5 g de muestra molida congelada en un tubo Falcon protegido de la luz (con papel de aluminio), y se le añadió 10 mL de buffer frío de extracción de vitamina C (0.1 M ácido cítrico, 0.05 % EDTA, 4mM NaF y 5 % de metanol). La mezcla se agitó con un *Ultraturrax* (modelo T-25, Ika-Labortechnik; Staufen, Alemania) a máxima velocidad durante 5 s, y se ajustó rápidamente el pH del homogeneizado obtenido a 2.35-2.4 con HCl 6N. Seguidamente, se filtró dicho extracto con 4 gasas y se centrifugó (10.500×*g*; 5 min; 4 °C). El sobrenadante obtenido se purificó mediante un cartucho de extracción en fase sólida (Sep-Pak C18, Waters; Dublín, Irlanda). Finalmente, el extracto de vitamina C se filtró a 0,45 µm antes de su derivatización y posterior análisis por cromatografía de líquidos de alta eficacia (HPLC).

La derivatización del extracto de vitamina C se realizó mediante la reacción de dicho extracto (250 µL) con 7.7 M OPDA (750 µL) durante 37 min en oscuridad (temperatura ambiente). Una vez finalizada la derivatización, se analizó la muestra en un HPLC (Series 1100 Agilent Technologies, Waldbronn, Alemania) con detector de diodos/ultravioleta (UV-DAD) con las siguientes condiciones: fase móvil para vitamina C (5 mM Bromuro de hexadeciltrimetilamonio, 50mM KH_2PO_4 y 5 % metanol), columna C18 (Gemini NX, 250 mm×4.6 mm, 5 µm, Phenomenex; Torrance CA, EEUU), flujo de 1,8 mL min^{-1} y 25 °C para la temperatura de la columna. El ácido ascórbico se registró a 261 nm y el dehidroascórbico derivatizado a 348 nm. Los contenidos de ácido ascórbico y dehidroascórbico se cuantificaron con patrones comerciales de grado HPLC. Los resultados de vitamina C total se calcularon como la suma de ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico y se expresaron en mg por kg de producto en peso fresco.

2.5.2. Carotenoides: licopeno y β-caroteno

Los carotenoides mayoritarios del tomate (licopeno y β-caroteno) se analizaron por espectrofotometría según Barrett y Anthon (2001). Para ello, se pesaron 0,1 g de muestra molida congelada en tubos Falcon (protegidos de la luz con papel de aluminio) y se añadieron 7 mL de una mezcla etanol:hexano (4:3 *v:v*). La mezcla anterior fue agitada a 180 rpm durante 1 h en un agitador orbital. Seguidamente, se añadió 1 mL de agua destilada a la mezcla, se agitó por inversión manualmente y se esperó a la separación de las fases (agua, etanol y hexano). Finalmente se midió la absorbancia de los carotenos, los cuales se encuentran en la fase del hexano (fase superior) con un espectrofotómetro de cubetas (modelo Zuzi 4110RS, Auxilab S.L.;

Beriáin, España). Se midieron las absorbancias de dicha fase a 472 nm (licopeno) y 450 nm (β-caroteno). El contenido de dichos carotenos se calculó según la Ley de *Lambert-Beer* como se muestra en la Ecuación 3.

$$\text{Licopeno ó } \beta\text{caroteno } (mg\ kg^{-1}) = \frac{Abs \times PM \times 2{,}7}{m \times E} \quad (3)$$

donde *Abs* es el valor de absorbancia obtenido, *PM* es el peso molecular (536,87 para ambos licopeno y β-caroteno), *2,7* es el volumen total de la fase de hexano (en mL), *m* es la masa de muestra utilizada (0,1 g) y *E* es el coeficiente de extinción molar en hexano (185,3 mM cm^{-1} para licopeno y 137,4 mM cm^{-1} para β-caroteno). El contenido de estos carotenos se expresó en mg por kg de producto en peso fresco.

Para cuantificar también los isómeros de los carotenos se determinaron los carotenos individuales siguiendo el método de Gupta et al. (2015). Para ello, la muestra liofilizada (≈150 mg) se mezcló con 1,5 mL de la mezcla cloroformo:diclorometano (2:1, v:v) y se agitó durante 20 min con un agitador orbital a 4 °C. Seguidamente se agregaron 0,5 mL de NaCl 1 M y se agitó por inversión. Una vez centrifugada la muestra (5000 × g durante 10 min) se recogió la fase orgánica y la fase acuosa se extrajo 2 veces más con el procedimiento anterior (NaCl+centrifuga). Las 3 alícuotas de fases orgánicas se unieron y se evaporaron hasta sequedad con un evaporador de N_2. Finalmente se resuspendió la muestra seca en 1 mL de metanol:metil ter-butil éter (25:75 v:v), se filtró a 0,22 µm y se analizó y cuantificó con el HPLC según describe Gupta et al. (2015).

2.5.3. Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante total

La extracción de FT y CAT se realizó de acuerdo a Martínez-Hernández et al. (2011). Para ello, se hizo una única extracción para ambas determinaciones. Primeramente, se pesaron 0,5 g de muestra molida congelada en tubo Falcon (protegido de la luz) y se mezclaron con 3 mL de metanol:agua 80:20 (*v:v*). La extracción de FT/CAT se realizó durante una agitación de 1 h en agitador orbital a 180 rpm y 4 °C. Seguidamente se centrifugaron las muestras (10.500×g; 5 min; 4 °C) y el sobrenadante se usó como extracto de FT y CAT.

El contenido de FT se analizó basado en el método de Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi 1965) adaptado para lector de microplacas por Martínez-Hernández et al. (2011). Para ello, se dispusieron en una placa de 96 pocillos (Greiner, Alemania) 19 µL de extracto FT/CAT y 29 µL de reactivo Folin-Ciocalteu 1 N. Tras incubar la mezcla anterior 3 min en oscuridad, se añadieron 192 µL de buffer alcalino (2 % Na_2CO_3 y 0,4 % NaOH). Una vez finalizada la reacción anterior (1 h y 10 min en oscuridad) se midió la absorbancia a 750 nm en un lector de microplacas (Tecan Infininte M200, Männedorf, Suiza). El contenido de FT se expresó en equivalentes de ácido gálico (usando un patrón comercial) en mg por kg de muestra en base de peso fresco.

La CAT se determinó por el método de Brand-Williams et al. (1995) adaptado para lector de microplacas por Martínez-Hernández et al. (2011). Para ello, se dispusieron en una placa de 96 pocillos (Greiner, Alemania) 21 µL de extracto FT/CAT y 194 µL de solución 2,2-difenil-1-picrihidrazil (DPPH) (previamente ajustada a una absorbancia de 1,1±0,02 nm a 517 nm;

aproximadamente equivalente a 0,7 mM de DPPH). Una vez finalizada la reacción (15 min en oscuridad), se midió la absorbancia a 517 nm en el lector de microplacas. El contenido de CAT se expresó en equivalentes de Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2 ácido carboxílico; es un análogo sintético de la vitamina E) (usando un patrón comercial) en mg por kg de muestra en base peso fresco.

3. Resultados y Discusión

3.1. Calidad fisicoquímica

3.1.1. Materia seca

El tomate mostró un contenido de materia seca que osciló entre 5.5-9.5 % en ambas anualidades, ciclos de cultivo y cortes (Figuras 1 y 2). Atendiendo al corte, el primer corte de los ciclos de otoño (ciclos 1 y 3) mostró unos contenidos de materia seca mayores que el resto de los cortes. Sin embargo, se ha reportado que a mayor intensidad lumínica (como ocurrió en los meses de los ciclos 2 y 4) los niveles de materia seca aumentaron en tomate y fresas (Shinohara, 1987). Dicha contradicción con nuestros datos pueda deberse a una interacción entre el tipo de suelo y otras condiciones ambientales.

En general, los tomates cultivados en hidropónico mostraron valores de materia seca menores que los de suelo normal (excepto para el corte 1 del ciclo 1). Por lo general, atendiendo al tipo de riego, la materia seca de los tomates fue mayor conformé aumentó la salinidad del agua. Se ha observado que a mayor salinidad del agua de riego en cultivos de tomate y otras hortalizas, el contenido de materia seca también aumenta (Colla et al., 2006b, 2006a; Rouphael et al., 2008).

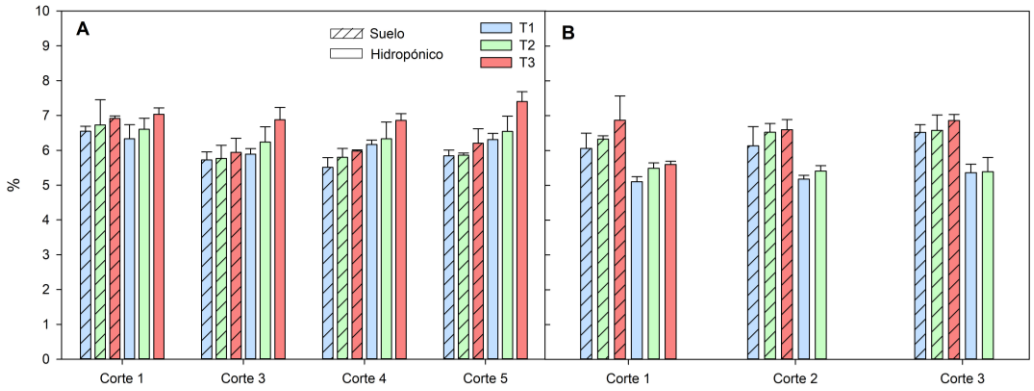


Figura 1. Materia seca del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo realizadas en la primera anualidad en dos ciclos (Ciclo 1: A; Ciclo 2: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

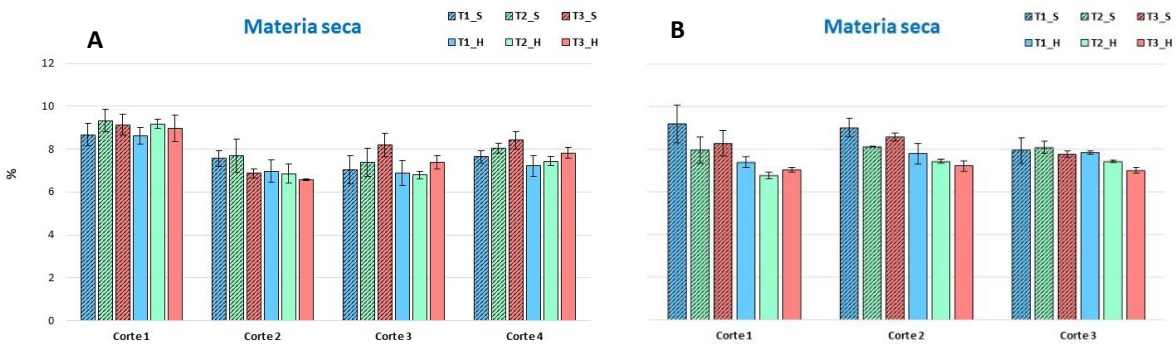


Figura 2. Materia seca del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la segunda anualidad en dos ciclos (Ciclo 3: A; Ciclo 4: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

3.1.2. Sólidos solubles totales, pH y acidez titulable

La aceptabilidad sensorial del tomate está altamente influenciada por la acidez titulable (en un 88 %), mientras que los SST también determinan la aceptabilidad global (en un 60 %) y dulzor (en un 76 %) (Stevens et al., 1979).

Los valores de SST oscilaron en ambas anualidades entre 4 y 6 °Brix (Figuras 3 y 4). Igual que se observó para la materia seca, los tomates con el riego T3 registraron los mayores niveles de SST en ambos ciclos. El incremento de azúcares solubles (estimado por la medida de sólidos solubles totales) en tomates y otros productos hortofrutícolas a mayor salinidad del agua de riego se ha descrito que puede ser la consecuencia de un ajuste osmótico en las células de la planta que induce a dicha concentración de azúcares (Navarro et al., 2002; Petersen et al., 1998; Rouphael et al., 2008).

En cuanto a los valores de pH, no se registraron diferencias entre muestras superiores a 0,5 unidades (Figura 5 y 6) las cuales no fueron detectadas por el panel sensorial. Por ello, las diferencias de pH entre muestras no conllevarían un rechazo por el consumidor del producto.

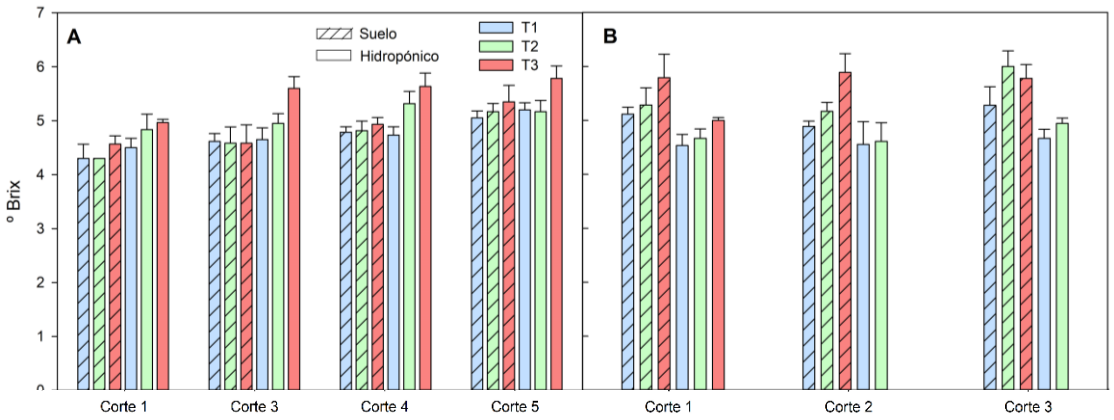


Figura 3. Sólidos solubles totales del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la primera anualidad en dos ciclos (Ciclo 1: A; Ciclo 2: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

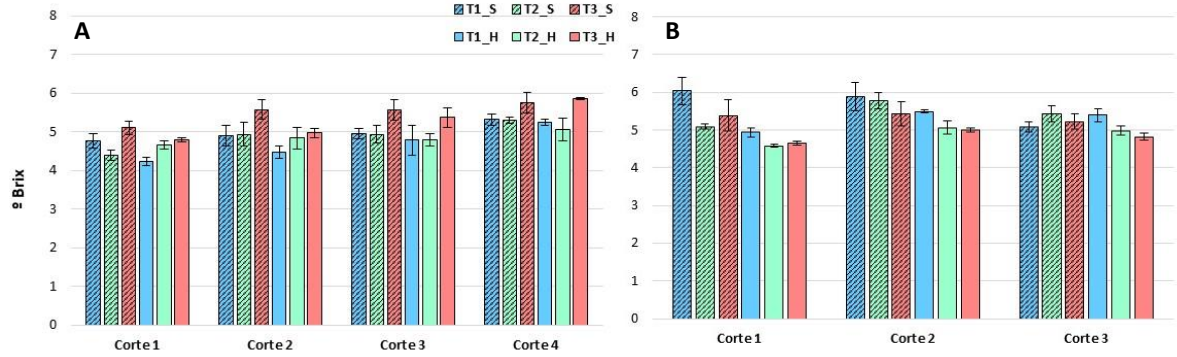


Figura 4. Sólidos solubles totales del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la segunda anualidad en dos ciclos (Ciclo 3: A; Ciclo 4: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

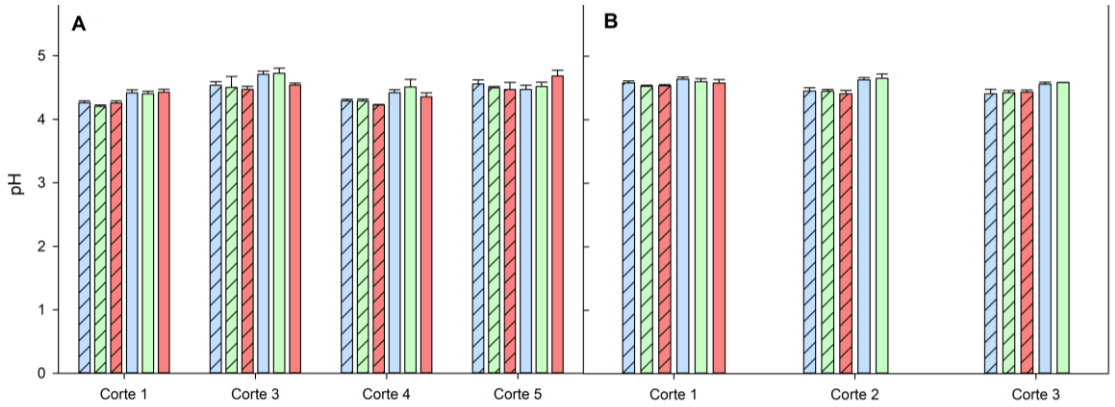


Figura 5. pH del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la primera anualidad en dos ciclos (Ciclo 1: A; Ciclo 2: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

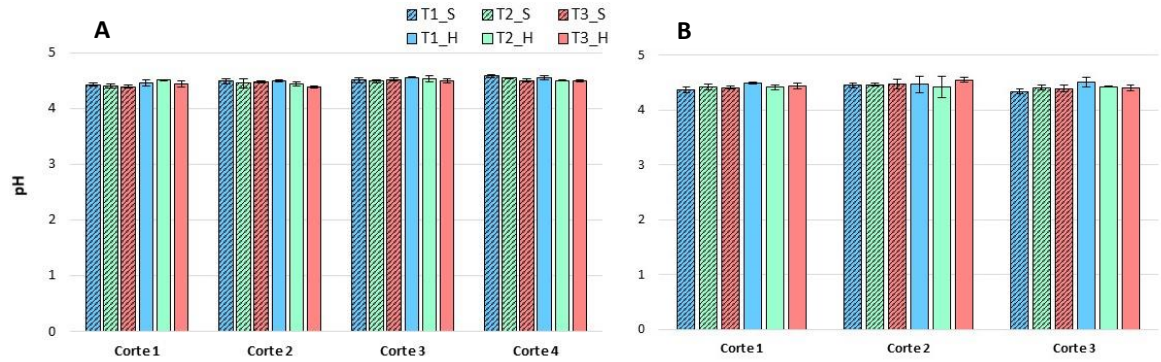


Figura 6. pH del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la segunda anualidad en dos ciclos (Ciclo 3: A; Ciclo 4: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

En las Figuras 7 y 8 se muestran los datos de AT de las muestras. En particular, el tratamiento T3 mostró los mayores niveles de AT, lo cual se ajusta a lo reportado en la bibliografía acerca de estos solutos de forma similar a los azúcares (Navarro et al., 2002; Petersen et al., 1998; Sonneveld and Van der Burg, 1991). Sin embargo, estas observaciones no estuvieron tan definidas en los ciclos de primavera (2 y 4). Estas discrepancias pueden explicarse por las diferentes variedades de tomates usadas, así como la mayor maduración de los tomates en estos meses más calurosos del ciclo 2. Estas causas pudieron llevar a un menor contenido de ácidos orgánicos, puesto que éstos son transformados en azúcares mientras avanza la maduración del fruto.

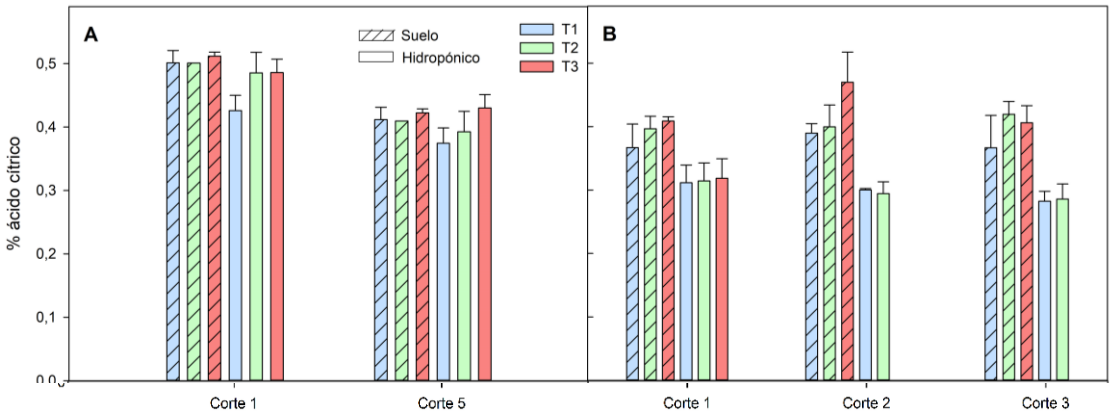


Figura 7. Acidez titulable del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la primera anualidad en dos ciclos (Ciclo 1: A; Ciclo 2: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

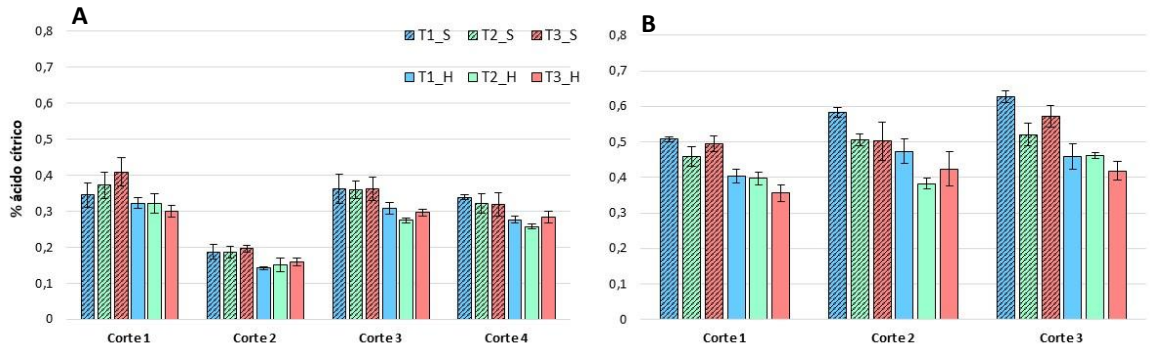


Figura 8. Acidez titulable del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la segunda anualidad en dos ciclos (Ciclo 3: A; Ciclo 4: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

3.1.3. Color

El índice de color de los tomates varió entre 16 y 38 en ambas anualidades (Figuras 9 y 10). Dicho color se corresponde con el estado de maduración óptimo de tomate para consumo (clasificación "*red*" según la escala de colores del USDA (United States Department of Agriculture)) (López-Camelo y Gómez, 2004). El color de los tomates se incrementó conforme el corte fue más tardío en los meses de invierno (ciclos 1 y 3). El riego T3 en hidropónico fue el que registró los mayores índices de color. Sin embargo, dicha tendencia desapareció conforme pasaban los meses hacia los de primavera en la segunda anualidad (ciclo 4).

Estos resultados fueron también observados sensorialmente mostrando dichas muestras las mayores valoraciones por los catadores en cuanto al color (ver apartado de análisis sensoriales (3.3)).

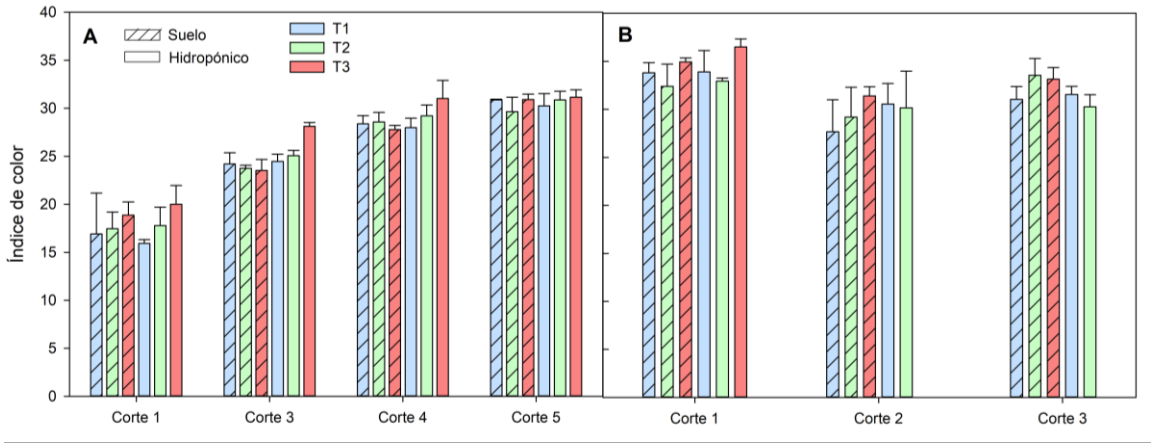


Figura 9. Índice de color superficial del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo realizadas en la primera anualidad en dos ciclos (Ciclo 1: A; Ciclo 2: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

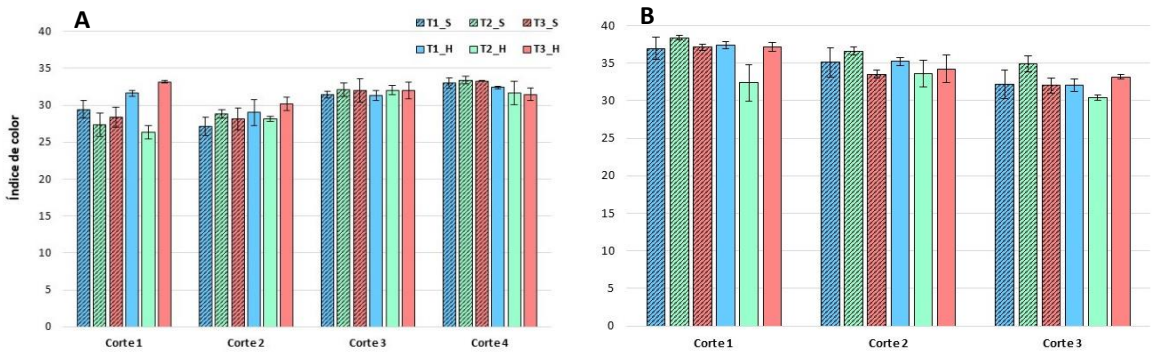


Figura 10. Índice de color superficial del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo realizadas en la segunda anualidad en dos ciclos (Ciclo 3: A; Ciclo 4: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

3.1.4. Firmeza

La firmeza de los frutos se muestra en las Figuras 11 y 12. Las mayores diferencias de firmeza en ambas anualidades se observaron en los ciclos de otoño, donde los frutos en condiciones de suelo hidropónico mostraron mayores niveles de firmeza. Niveles elevados de potasio y nitrógeno tienen un efecto negativo sobre la firmeza de los frutos (Sams, 1999). De esta forma, los menores niveles de K y N ($NO3^-$) del agua de riego T3 en condiciones de suelo hidropónico del corte 1 del ciclo 1, comparado con el suelo normal de T3, explicarían los máximos niveles de firmeza de estas muestras T3/hidropónico. Además, es bien conocida la importancia del calcio para la firmeza de los frutos puesto que dicho mineral refuerza las paredes celulares de las plantas (Demarty et al., 1984; Poovaiah et al., 2011). Por ello, los mayores niveles de Ca en la condición de hidropónico para T2 y T3 (ciclo 1, corte 1), comparado con las muestras respectivas en suelo normal, explican la mayor firmeza de estas muestras.

Por el contrario, las bajas diferencias entre los niveles de dichos minerales en las aguas de riego de los ciclos 2 y 4 explicarían la práctica ausencia de diferencias entre muestras para la firmeza.

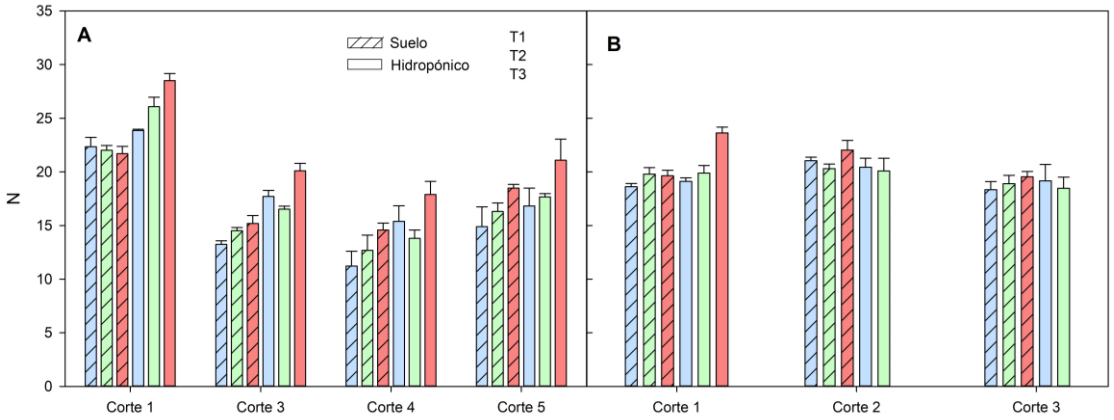


Figura 11. Firmeza del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la primera anualidad en dos ciclos (Ciclo 1: A; Ciclo 2: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

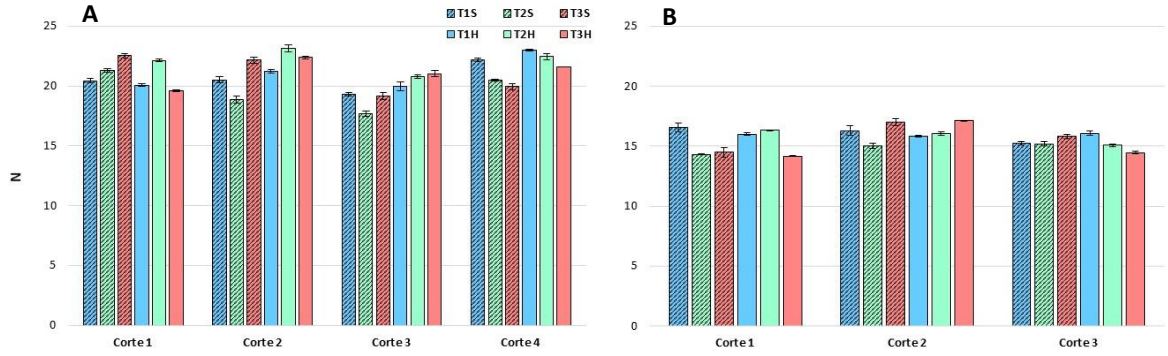
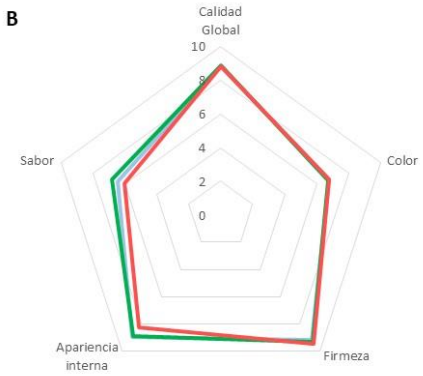


Figura 12. Firmeza del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la segunda anualidad en dos ciclos (Ciclo 3: A; Ciclo 4: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

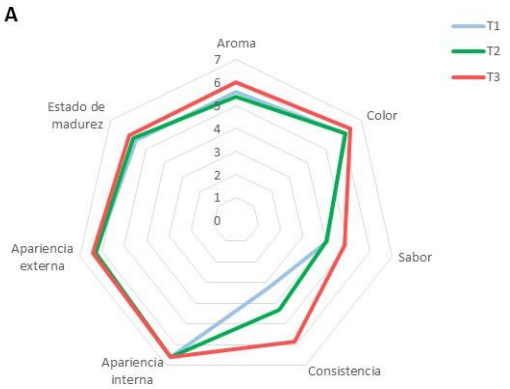
3.2. Análisis sensorial

Según el análisis sensorial, no hubo grandes diferencias entre tratamientos apreciadas por los catadores en los frutos de la primera anualidad (Figura 13). Sin embargo, las muestras T3 mostraron mejores evaluaciones referentes a firmeza seguido del sabor. Estas observaciones concuerdan con los resultados de firmeza previamente comentados, así como los referentes a los SST. Los análisis sensoriales de los siguientes ciclos no se realizaron puesto que las plantas se debieron fumigar debido a la alteración conocida como podredumbre o necrosis apical.

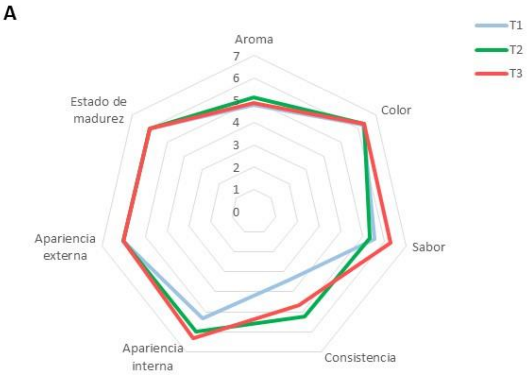
Corte 1

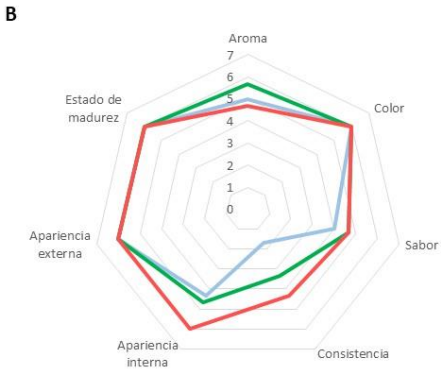


Corte 3



Corte 4





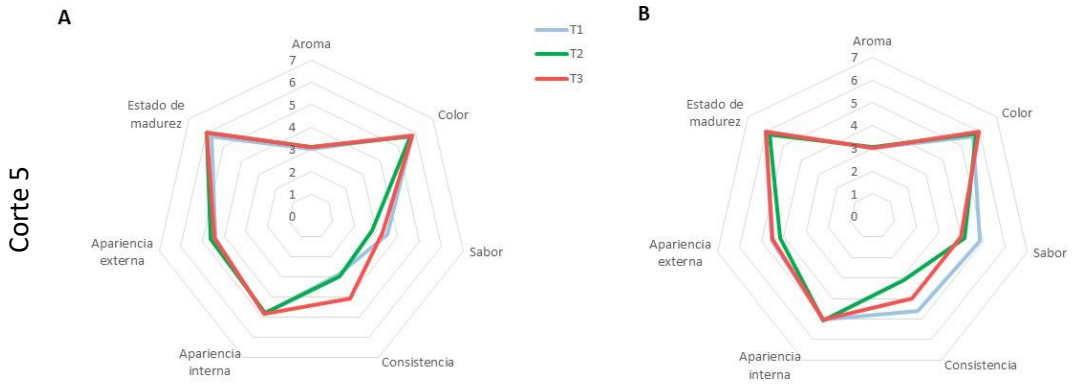


Figura 13. Análisis sensorial del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero del ciclo 1 con diferentes cortes. A: suelo; B: hidropónico con fibra de coco; T1: agua procedente de desaladora T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

3.3. Análisis microbiológico

Las muestras registraron en la primera anualidad unos niveles promedio superficiales de mesófilos, psicrófilos, enterobacterias, mohos y levaduras para los ciclos 1º/2º de 3-4.5/5-6, 0.5-4/2-4, 0.5-3/2-3, 0.7-4/3-4 y 0.9-4/≈3 log CFU cm^{-2}, respectivamente (Figuras 14 y 15). Como se esperaba, la carga microbiana fue mayor en el segundo ciclo debido a las mayores temperaturas de esos meses. Además, este hecho se corrobora pues los recuentos de microorganismos psicrófilos (capaces de crecer desde temperaturas de refrigeración hasta temperaturas ambientales) fueron similares en ambos ciclos. A pesar de los mayores recuentos del ciclo 2, estos valores estuvieron siempre por debajo de 6 log CFU cm^{-2}. Como se observa en las Figuras 14 y 15 no hubo una clara tendencia entre el efecto del tipo de suelo, riego o corte sobre los recuentos de los diferentes grupos de microorganismos. Por ello, se podría asegurar que los tratamientos con aguas desaladas, así como el tipo de suelo, no afectaría negativamente a la calidad microbiológica de los tomates. De esta forma, no fue necesario realizar un análisis microbiológico en la segunda anualidad debido a dicho efecto de los tratamientos sobre la carga microbiana superficial de los tomates. De hecho, la carga microbiana superficial de las frutas y hortalizas está altamente determinada por las prácticas de recolección y manipulación postcosecha.

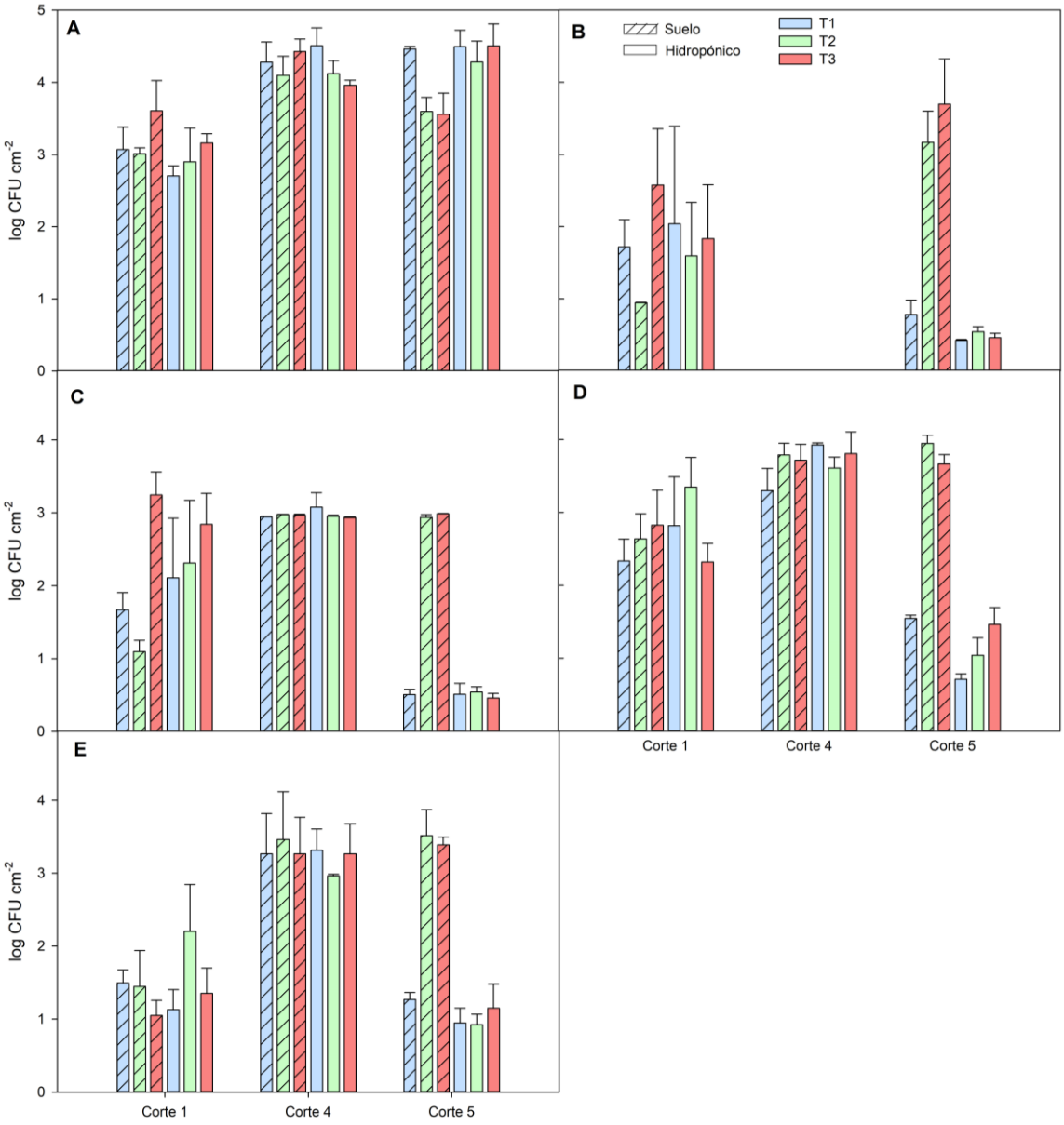


Figura 14. Análisis microbiológico (A: mesófilos; B: psicrófilos; C: enterobacterias; D: mohos; E: levaduras) del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero del ciclo 1 con diferentes cortes. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

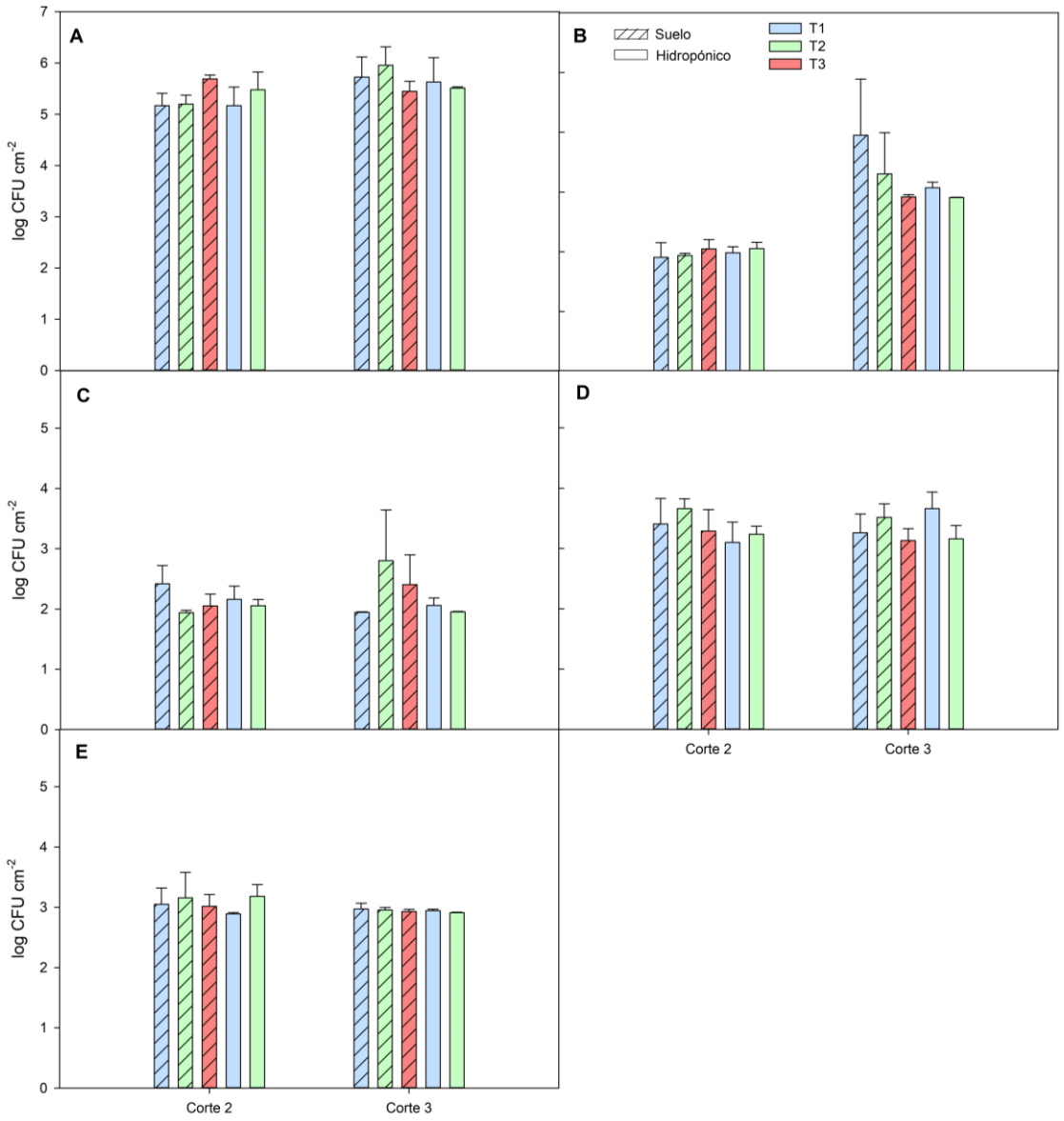


Figura 15. Análisis microbiológico (A: mesófilos; B: psicrófilos; C: enterobacterias; D: mohos; E: levaduras) del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero del ciclo 2 con diferentes cortes. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

3.4. Calidad nutricional/bioactiva

3.4.1. Vitamina C total

Los tomates mostraron unos niveles de vitamina C total de 130-235 y 90-190 mg kg^{-1} en la primera y segunda anualidad, respectivamente (Figuras 16 y 17). Los mayores niveles de vitamina C de la primera anualidad puede deberse a las diferentes condiciones ambientales entre ambas anualidades como está descrito que puede afectar al contenido de la vitamina C de frutas y hortalizas (Lee y Kader, 2000). Estos niveles de vitamina C están en el rango de la

literatura (Lee y Kader, 2000; Vanderslice et al., 1990), aunque dichos rangos varían entre variedades. El ácido dehidroascórbico supuso un 10-15 % de la vitamina C total (datos no mostrados debido a la ausencia de significancia estadística entre tratamientos para el ácido dehidroascórbico).

Por lo general, se observa la tendencia en los 4 ciclos de las dos anualidades de que el contenido de vitamina C es mayor en los últimos cortes. Este hecho puede deberse a la mayor intensidad lumínica conforme avanzaba el tiempo puesto que el ácido ascórbico se sintetiza a partir de azúcares, los cuales se forman a través de la fotosíntesis en mayor medida con mayores intensidades lumínicas (Lee y Kader, 2000).

En los ciclos de invierno se observa como el contenido de vitamina C es mayor en los tomates cultivados en hidropónico, siendo este efecto más acentuado conforme avanzaban los cortes. En concreto, en los últimos cortes de todos los ciclos se observa como el contenido de vitamina C fue mayor en las muestras T1 en hidropónico.

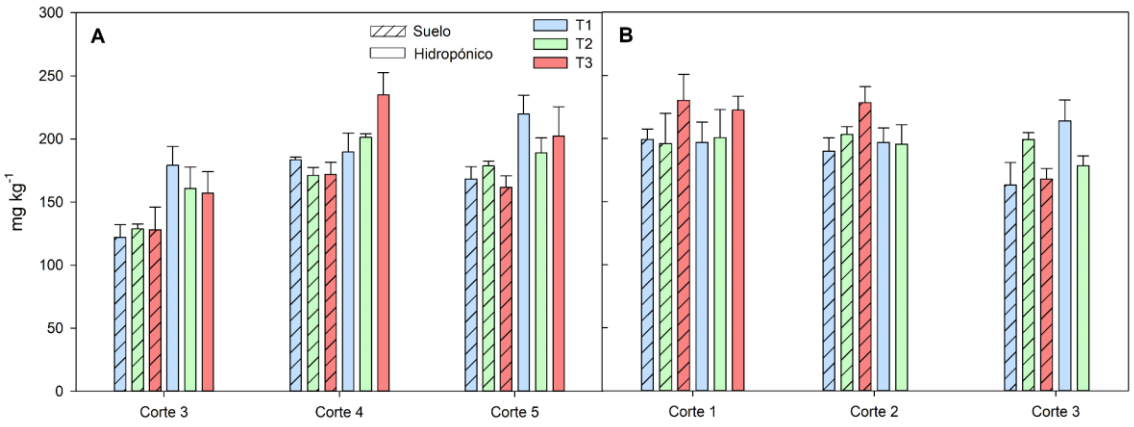


Figura 16. Vitamina C total del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la primera anualidad en dos ciclos (Ciclo 1: A; Ciclo 2: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

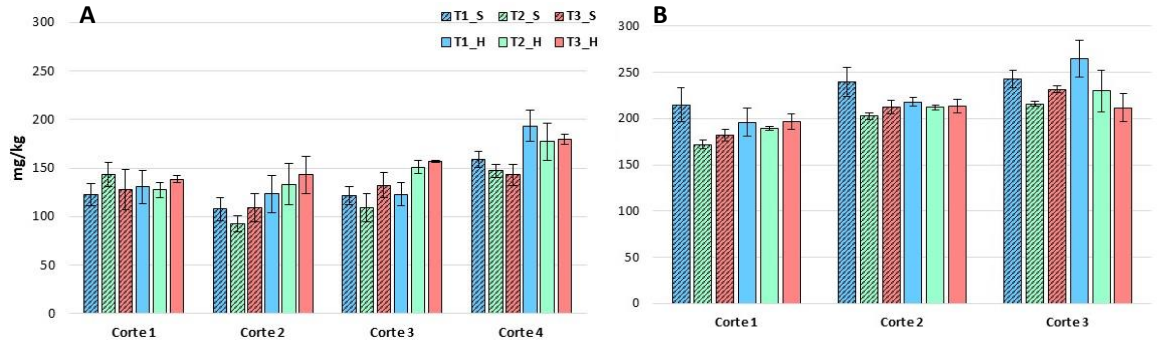


Figura 17. Vitamina C total del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la segunda anualidad en dos ciclos (Ciclo 3: A; Ciclo 4: B) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

3.4.2. Carotenos

Los contenidos de licopeno y β-caroteno promedio en la primera anualidad fueron de 15-42 y 18-38 mg kg^{-1}, respectivamente, sin grandes diferencias ni tendencias claras entre ambos ciclos (Figura 18). De igual forma, no se observó una clara tendencia sobre el efecto del tipo de riego y suelo sobre los contenidos de carotenos usando el análisis de estos compuestos mediante espectrofotometría. Por ello, las muestras de la segunda anualidad se analizaron mediante cromatografía de líquidos de ultra-alta resolución (UHPLC) para incrementar la sensibilidad del análisis como se observa en el siguiente párrafo.

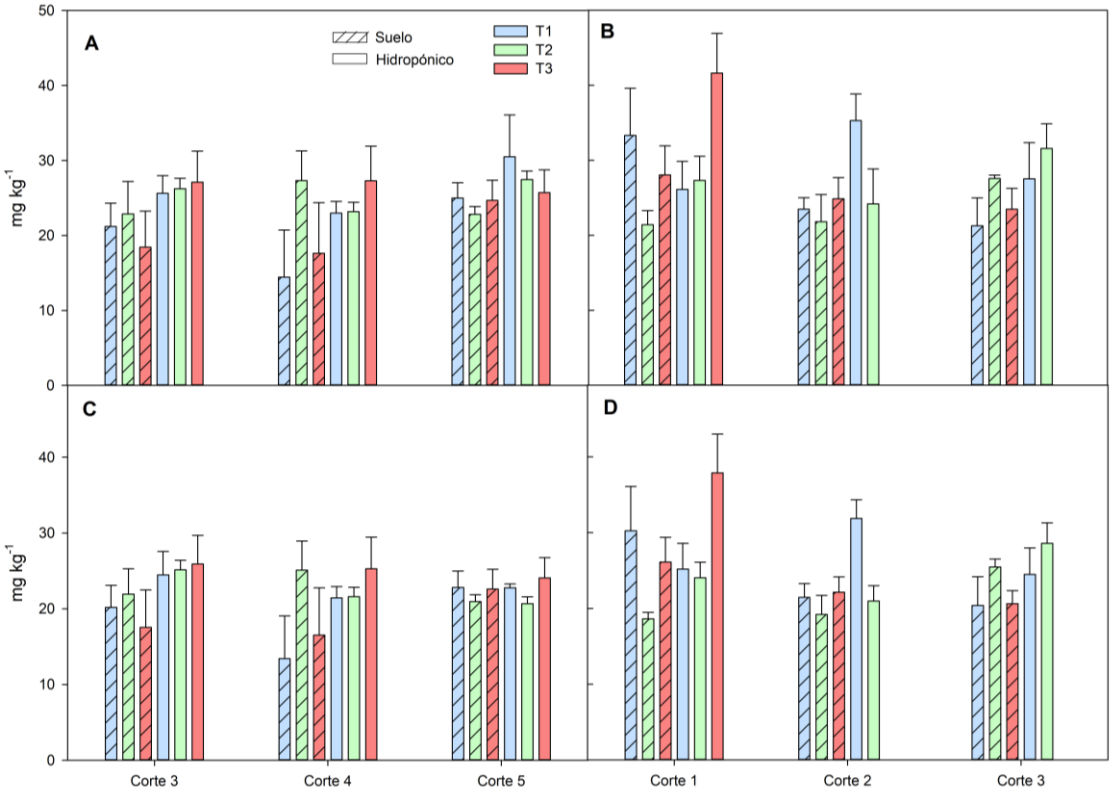


Figura 18. Licopeno (A y B) y *β*-caroteno (C y D) del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la primera anualidad (Ciclo 1: A y C; Ciclo 2: B y D) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

El contenido total de carotenos en la segunda anualidad osciló entre 675 y 1165 mg kg^{-1} (Figura 19). El licopeno fue el caroteno mayoritario con un 95 % del total de carotenes, seguido del β-caroteno con un 4,8% (entre los carotenos minoritarios restantes destacaban el fitoflueno y la luteína). Esta abundancia del licopeno en tomate está ampliamente reportado, estando los niveles de licopeno aquí analizados (626-1113 mg kg^{-1}) en concordancia con la bibliografía (Shi and Le Maguer, 2000).

El mayor contenido de carotenos en los tomates de la segunda anualidad comparado con la primera pueda deberse a las diferentes técnicas de análisis utilizadas en ambas anualidades. Como se puede observar, la técnica de extracción y análisis (UHPLC) de los carotenos en la

segundo anualidad fue más precisa y permitió observar diferencias entre los diferentes tratamientos. Así, conforme avanzaron los cortes en los dos ciclos (3 y 4) el contenido de carotenos fue menor. Aunque el contenido de los carotenos aumenta conforme lo hace la maduración del fruto (y desaparecen las clorofilas), estos compuestos son conocidos por su alto poder antioxidante. Por ello, dicha reducción de los carotenos conforme avanzaron los cortes pudo deberse a su uso por la planta como antioxidantes para los diferentes estreses (bióticos y abióticos) a los que están sometidas las plantas.

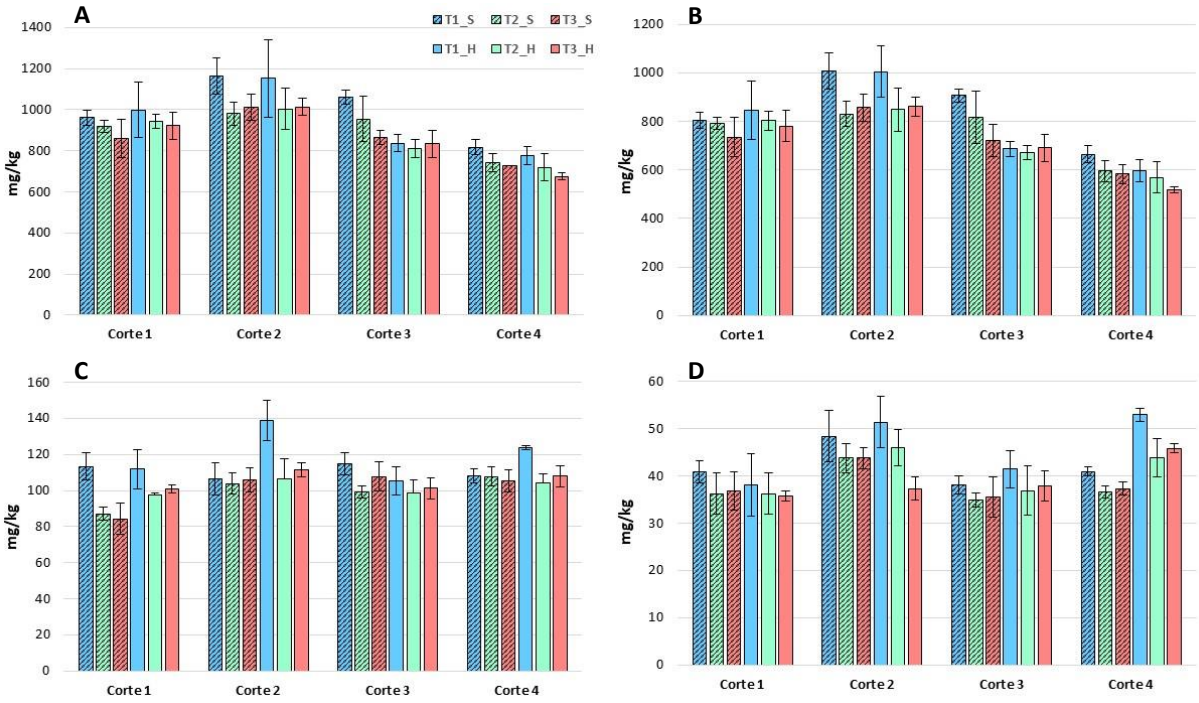


Figura 19. Carotenos (A, Carotenos totales; B, trans-licopeno; C, total cis-isómeros licopeno; D, β-caroteno) del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en el 3° ciclo de la segunda anualidad con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

En general, los tomates en suelo normal y regados con T1 mostraron los mayores niveles de carotenos totales, debido en su mayoría a la contribución del licopeno. Es destacable el mayor contenido "total de isómeros cis-licopeno" en las muestras T1 en hidropónico en casi todos los cortes. Esto pueda deberse a que el sistema hidropónico pueda ser interpretado por la planta como un estrés (como reportado con otro tipo de estrés; Petersen et al., 1998) con el consecuente uso del trans-licopeno como antioxidante, el cual es oxidado –por ser utilizado como antioxidante– a cis-licopeno.

3.4.3. Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante total

El contenido de FT fue de 95-310 mg kg^{-1} y 300-479 mg kg^{-1} en la primera y segunda anualidad, respectivamente (Figuras 20 y 21). Los compuestos fenólicos tienen un alto poder antioxidante como se muestra en los siguientes párrafos. Por lo tanto, como se ha mencionado

anteriormente, las diferencias ambientales entre las diferentes anualidades y otros estreses abióticos puedan haber inducido ese mayor incremento de compuestos fenólicos en la segunda anualidad como respuesta antioxidante.

Se ha reportado que el contenido de compuestos fenólicos se vio incrementado a mayor radiación UV en un estudio con tomates de invernadero (Luthria et al., 2006). Esto concuerda con los niveles de FT ligeramente mayores en el ciclo 4 comparados con el ciclo 3. Sin embargo, atendiendo a los datos de la primera anualidad, el ciclo 2 (mayor radiación UV que el ciclo 1) tuvo un menor contenido de FT que el ciclo 1, lo que denota la mayor influencia del efecto de la variedad del tomate en la anualidad primera sobre el contenido de FT en lugar de la radiación UV. De hecho, el contenido de compuestos fenólicos, así como de los demás compuestos nutricionales/bioactivos, puede variar en gran medida dependiendo de la variedad de producto.

Por otra parte, se ha reportado que los estreses salinos pueden conllevar a un incremento del contenido de FT en tomate (Ali y Ismail, 2002). De esta forma, se observa como el contenido de FT de los tomates, por lo general en ambas anualidades, fue ligeramente superior en los tomates tratados con T3 en comparación con T1. En lo que se refiere al sistema de suelo, no se observó una influencia clara en base a los datos de ambas anualidades.

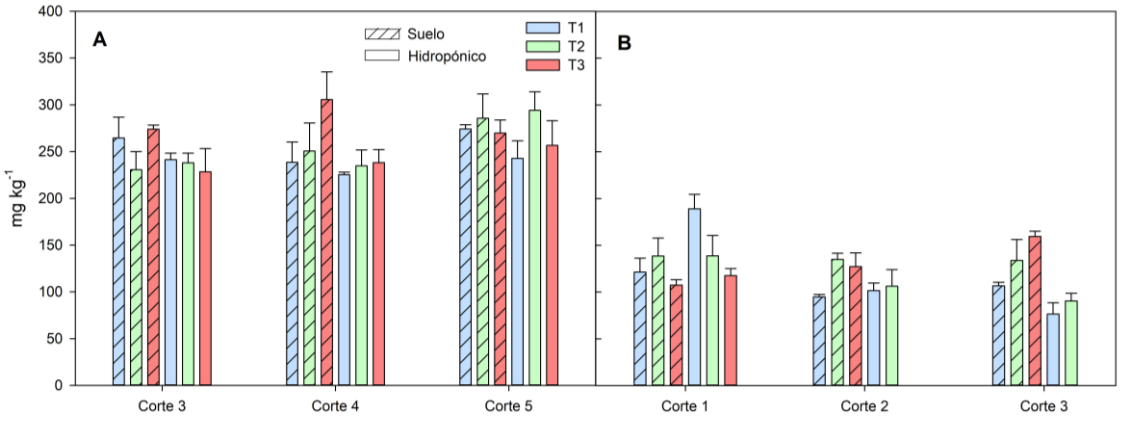


Figura 20. Compuestos fenólicos totales del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la primera anualidad en dos ciclos (Ciclo 1: A y C; Ciclo 2: B y D) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

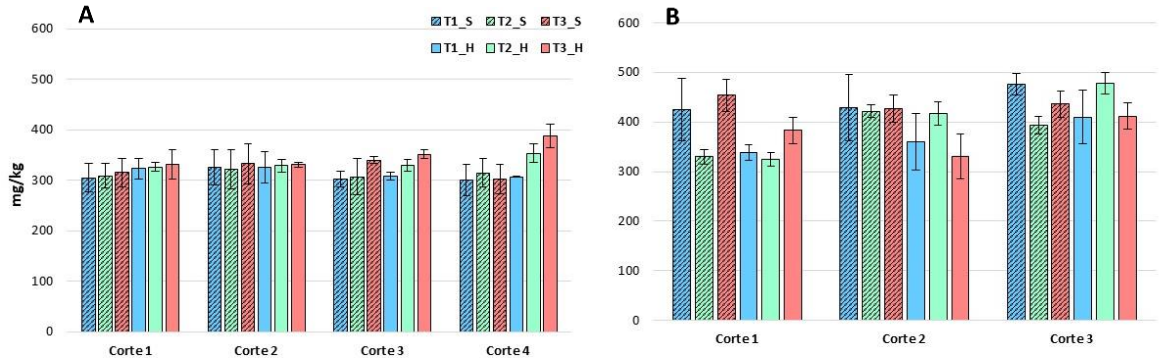


Figura 21. Compuestos fenólicos totales del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la segunda anualidad en dos ciclos (Ciclo 3: A y C; Ciclo 4: B y D) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

En cuanto a la CAT, los tomates mostraron unos valores promedio en la primera y segunda anualidad de 1330/560 µmol kg^{-1} y 1078/2052 µmol kg^{-1}, respectivamente (Figuras 22 y 23). La capacidad antioxidante del tomate es mayoritariamente debida a su contenido de compuestos fenólicos (Hanson et al., 2004). De esta forma, las diferencias de valores de CAT entre tratamientos y anualidades están de acuerdo con los datos anteriores de FT.

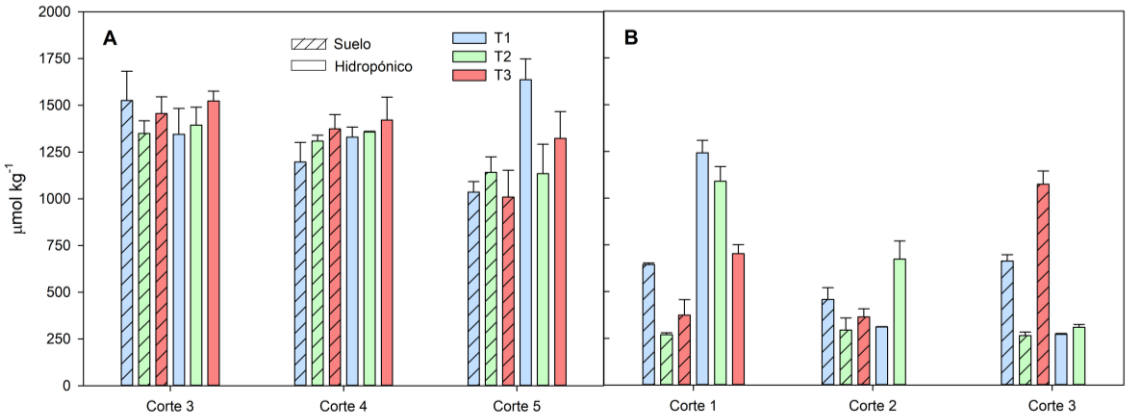


Figura 22. Capacidad antioxidante total del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la primera anualidad en dos ciclos (Ciclo 1: A y C; Ciclo 2: B y D) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

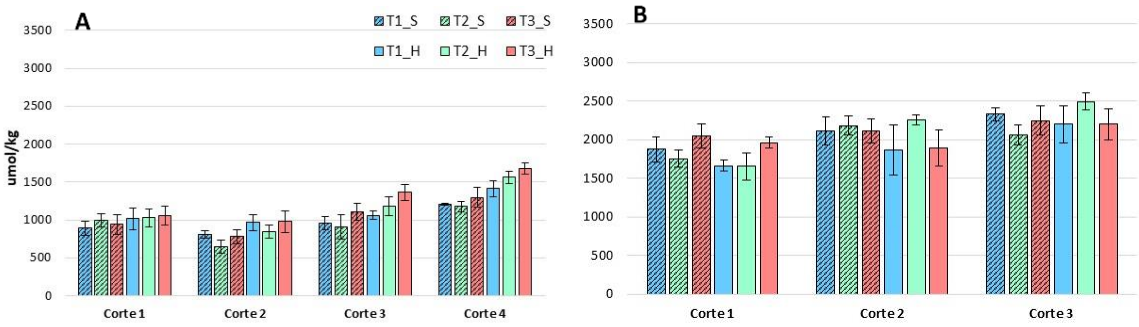


Figura 23. Capacidad antioxidante total del fruto en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero realizadas en la segunda anualidad en dos ciclos (Ciclo 3: A y C; Ciclo 4: B y D) con diferentes cortes por ciclo. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 son simulaciones de agua de pozo.

4. Conclusions

The increment of water salinity increased the dry matter, the total soluble solids and the acidity of tomatoes in the first crop cycle (autumn). However, such behaviour was masked in the second cycle (spring) due to the greater ripening of the tomatoes in cycle 2, as observed in the tomato ripeness and colour index. Such absence of effects in the cycle 2 was also observed for the rest of the quality determinations.

In addition, a better tomato colour was observed in T3 tomatoes in hydroponic soil (only significant for cuts 3 and 4 of cycle 1), which can be visible perceived by the consumer according to the sensory analyses performed.

Tomato firmness was also higher in those samples irrigated with the T3 treatment in hydroponic soil, which would also be positively appreciated by the consumer according to the sensory tests.

The microbiological quality of samples was good with levels below 4 log CFU cm^{-2} (6 log for mesophiles), being such microbial quality not negatively affected the type of irrigation or soil.

Hydroponic soil system induced a higher content of vitamin C in tomatoes, particularly showing T3 samples from cut 4 (cycle 1) the highest vitamin C levels.

The content of phenolic compounds, as well as the total antioxidant capacity, was higher in the tomatoes of the autumn cycle compared to that of spring. Neither the type of irrigation nor the soil type negatively affected the content of these bioactive compounds. In addition, lycopene and β-carotene contents were not adversely affected by the irrigation treatment or soil.

Conclusiones

El incremento de la salinidad del agua aumentó el nivel de materia seca, los sólidos solubles totales y la acidez de los frutos en el primer ciclo de cultivo (otoño). Sin embargo, dichas observaciones fueron probablemente enmascaradas en el segundo ciclo (primavera) por la mayor maduración de los tomates del ciclo 2, como muestra el índice de madurez y color del fruto. Esta última ausencia de efectos en el ciclo 2 se repitió en el resto de las determinaciones de calidad realizadas.

Además, se observó la tendencia (significativa sólo para los cortes 3 y 4 del ciclo 1) de un mayor color en los tomates con riego T3 en suelo hidropónico, lo cual puede ser visible y percibido por el consumidor de acuerdo con los análisis sensoriales realizados.

La firmeza del tomate también fue mayor en aquellas plantas regadas con el tratamiento T3 con suelo hidropónico, lo cual también sería positivamente apreciado por el consumidor según las evaluaciones sensoriales realizadas.

La calidad microbiológica fue buena con niveles inferiores a 4 log CFU cm^{-2} (y 6 log en el caso de mesófilos), no afectando negativamente el tipo de riego o suelo a su carga microbiana.

El cultivo en suelo hidropónico indujo un mayor contenido de vitamina C, mostrando en particular el riego T3 del corte 4 (ciclo 1) los mayores niveles.

El contenido de compuestos fenólicos, así como su capacidad antioxidante total, fue mayor en los tomates del ciclo de otoño comparados con el de primavera. Ni el tipo de riego ni el tipo de suelo afectaron negativamente al contenido de estos compuestos bioactivos. Además, el contenido de licopeno y *β*-caroteno tampoco se vio afectado negativamente por el tipo de riego o suelo.

Referencias

Ali, H.E.M., Ismail, G.S.M., 2002. Tomato fruit quality as influenced by salinity and nitric oxide. Turk. J. Botany 26, 51–53.

ASTM, 1986. Physical requirement guidelines for sensory evaluation laboratories. ASTM International, Philadelphia PA (USA).

Balibrea, M.E., Cayuela, E., Artés, F., Pérez-Alfocea, F., 1997. Salinity effects on some postharvest quality factors in a commercial tomato hybrid. J. Hortic. Sci. 72, 885–892. https://doi.org/10.1080/14620316.1997.11515580

Barrett, D.M., Anthon, G., 2001. Lycopene content of california-grown tomato varieties. Acta Hortic. 165–174. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.542.20

Bourgaud, F., Gravot, A., Milesi, S., Gontier, E., 2001. Production of plant secondary metabolites: A historical perspective. Plant Sci. 161, 839–851. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00490-3

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Sci. Technol. 28, 25–30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Chandra, S., Khan, S., Avula, B., Lata, H., Yang, M.H., ElSohly, M.A., Khan, I.A., 2014. Assessment of total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and yield of aeroponically and conventionally grown leafy vegetables and fruit crops: A comparative study. Evidence-Based Complement. Altern. Med. 2014, 1–9. https://doi.org/10.1155/2014/253875

Colla, G., Roupahel, Y., Cardarelli, M., Rea, E., 2006a. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. HortScience 41, 622–627. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.3.622

Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Massa, D., Salerno, A., Rea, E., 2006b. Yield, fruit quality and mineral composition of grafted melon plants grown under saline conditions. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 81, 146–152. https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512041

de Abreu, W.C., Barcelos, M. de F.P., de Barros Vilas Boas, E.V., da Silva, E.P., 2014. Total antioxidant activity of dried tomatoes marketed in Brazil. Int. J. Food Prop. 17, 639–649. https://doi.org/10.1080/10942912.2012.654703

Demarty, M., Morvan, C., Thellier, M., 1984. Calcium and the cell wall. Plant. Cell Environ. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1984.tb01434.x

Dorais, M., Ehret, D.L., Papadopoulos, A.P., 2008. Tomato (Solanum lycopersicum) health components: from the seed to the consumer. Phytochem. Rev. 7, 231–250. https://doi.org/10.1007/s11101-007-9085-x

Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., Grolier, P., 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidantcontent of tomatoes. J. Sci. Food Agric. 83, 369–382. https://doi.org/10.1002/jsfa.1370

Gupta, P., Sreelakshmi, Y., Sharma, R., 2015. A rapid and sensitive method for determination of carotenoids in plant tissues by high performance liquid chromatography. Plant Methods 11, 5. https://doi.org/10.1186/s13007-015-0051-0

Han, X., Shen, T., Lou, H., 2007. Dietary polyphenols and their biological significance. Int. J. Mol. Sci. 8, 950–988. https://doi.org/10.3390/i8090950

Hanson, P.M., Yang, R., Wu, J., Chen, J., Ledesma, D., Tsou, S.C.S., Lee, T.-C., 2004. Variation for antioxidant activity and antioxidants in tomato. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 129, 704–711. https://doi.org/10.21273/JASHS.129.5.0704

Heuvelink, E.P., 2005. Tomatoes, 2nd ed. CABI Publishing.

ISO, 2007. ISO 8589:2007 - Sensory analysis - General guidance for the design of test rooms.

Kun, Y., Ssonko Lule, U., Xiao-Lin, D., 2006. Lycopene: Its properties and relationship to human health. Food Rev. Int. 22, 309–333. https://doi.org/10.1080/87559120600864753

Lee, S.K., Kader, A.A., 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biol. Technol. 20, 207–220. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2

Lenucci, M.S., Cadinu, D., Taurino, M., Piro, G., Dalessandro, G., 2006. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. J. Agric. Food Chem. 54, 2606–2613. https://doi.org/10.1021/jf052920c

Leonardi, C., Ambrosino, P., Esposito, F., Fogliano, V., 2000. Antioxidative activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes. J. Agric. Food Chem. 48, 4723–4727. https://doi.org/10.1021/jf000225t

López-Camelo, A.F., Gómez, P.A., 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. Hortic. Bras. 22, 534–537. https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000300006

Luthria, D.L., Mukhopadhyay, S., Krizek, D.T., 2006. Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. J. Food Compos. Anal. 19, 771–777. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.04.005

Martí, R., Roselló, S., Cebolla-Cornejo, J., 2016. Tomato as a source of carotenoids and polyphenols targeted to cancer prevention. Cancers (Basel). 8, 58. https://doi.org/10.3390/cancers8060058

Martínez-Hernández, G.B., Artés-Hernández, F., Colares-Souza, F., Gómez, P.A., García-Gómez, P., Artés, F., 2013. Innovative cooking techniques for improving the overall quality of a kailan-hybrid broccoli. Food Bioprocess Technol. 6, 2135–2149. https://doi.org/10.1007/s11947-012-0871-0

Martínez-Hernández, G.B., Boluda-Aguilar, M., Taboada-Rodríguez, A., Soto-Jover, S., Marín-Iniesta, F., López-Gómez, A., 2016. Processing, packaging, and storage of tomato products: influence on the lycopene content. Food Eng. Rev. 8. https://doi.org/10.1007/s12393-015-9113-3

Martínez-Hernández, G.B., Gómez, P.A., Pradas, I., Artés, F., Artés-Hernández, F., 2011. Moderate UV-C pretreatment as a quality enhancement tool in fresh-cut Bimi® broccoli. Postharvest Biol. Technol. 62, 327–337. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.06.015

Mayne, S.T., 1996. Beta-carotene, carotenoids, and disease prevention in humans. FASEB J. 10, 690–701.

Naidu, K.A., 2003. Vitamin C in human health and disease is still a mystery? An overview. Nutr. J. 2, 7. https://doi.org/10.1186/1475-2891-2-7

Navarro, J.M., Garrido, C., Carvajal, M., Martinez, V., 2002. Yield and fruit quality of pepper plants under sulphate and chloride salinity. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 77, 52–57. https://doi.org/10.1080/14620316.2002.11511456

Petersen, K.K., Willumsen, J., Kaack, K., 1998. Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 73, 205–215. https://doi.org/10.1080/14620316.1998.11510966

Poovaiah, B.W., Glenn, G.M., Reddy, A.S.N., 2011. Calcium and fruit softening: Physiology and biochemistry, in: Horticultural Reviews. John Wiley & Sons, Inc., pp. 107–152. https://doi.org/10.1002/9781118060834.ch4

Raffo, A., Malfa, G. La, Fogliano, V., Maiani, G., Quaglia, G., 2006. Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (Lycopersicon esculentum cv. Naomi F1). J. Food Compos. Anal. 19, 11–19. https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2005.02.003

Rouphael, Y., Cardarelli, M., Bassal, A., Leonardi, C., Giuffrida, F., Colla, G., 2012. Vegetable quality as affected by genetic agronomic and environmental factors. J. Food, Agric. Environ. 10, 680–688.

Rouphael, Y., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E., 2008. Yield, mineral composition, water Relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation, HORTSCIENCE.

Sams, C.E., 1999. Preharvest factors affecting postharvest texture. Postharvest Biol. Technol. 15, 249–254. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00098-2

Shi, J., Le Maguer, M., 2000. Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 40, 1–42. https://doi.org/10.1080/10408690091189275

Shinohara, Y., 1987. Growing conditions and quality of vegetables— Effect of light and fertilizer conditions on the ascorbic acid content of vegetables. Agr. For. Sci. 3, 61–156.

Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. Am. J. Enol. Vitic. 16, 144–158.

Sonneveld, C., Van der Burg, M.M., 1991. Sodium chloride salinity in fruit vegetable crops in soilless culture. Netherlands J. Agric. Sci. 39, 115–122.

Stevens, M.A., Kader, A.A., Albright, M., 1979. Potential for increasing tomato flavor via increased sugar and acid content. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 104, 40–42.

Toor, R.K., Savage, G.P., Heeb, A., 2006. Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant

components of tomatoes. J. Food Compos. Anal. 19, 20–27. https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2005.03.003

Vanderslice, J.T., Higgs, D.J., Hayes, J.M., Block, G., 1990. Ascorbic acid and dehydroascorbic acid content of foods-as-eaten. J. Food Compos. Anal. 3, 105–118. https://doi.org/10.1016/0889-1575(90)90018-H

Zapata, S., Dufour, J.P., 1992. Ascorbic, dehydroascorbic and isoascorbic acid simultaneous determinations by reverse phase ion interaction HPLC. J. Food Sci. 57, 506–511. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05527.x