

Variación estacional del contenido de licopeno en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de salinidad y exceso de boro en el valle de Lluta, norte de Chile

Seasonal variation of lycopene content in tomato (Solanum lycopersicum L.) under conditions of salinity and excess boron in the Lluta valley, northern Chile

Fabiola Astorga¹, Nancy Luna¹, Gisell Gómez¹, Wladimir Esteban¹,
Patricia Pacheco¹, Yeny Angel¹ y Elizabeth Bastías¹

RESUMEN

Los antioxidantes, entre los que se encuentra el licopeno, son compuestos cuya función primordial en nuestro organismo es proteger o reducir los riesgos del daño oxidativo causado por radicales libres, relacionados con enfermedades como el cáncer o las afecciones cardíacas. En nuestro trabajo, se evaluó el contenido de este fitonutriente en frutos de tomate Naomi y "Poncho Negro", durante dos temporadas (verano e invierno-primavera), observándose un incremento de sus niveles en ambas variedades durante la temporada invierno-primavera, con un posible efecto varietal y de las temperaturas, en el contenido de este pigmento en los frutos.

Palabras clave: Antioxidante, licopeno, tomate, valle de Lluta.

ABSTRACT

Antioxidants, including lycopene, are compounds whose primary function in our body is to protect or reduce the risks of oxidative damage caused by free radicals, related to diseases such as cancer or heart conditions. In our study, the content of this phytonutrient was evaluated in Naomi and "Poncho Negro" tomato fruit, during two seasons (summer and winter-spring), with an increase of their levels in both varieties during the winter-spring season, with a possible varietal effect and the temperatures, on the content of this pigment in the fruits.

Key words: Antioxidant, lycopene, tomato, Lluta valley.

Introducción

El valle de Lluta, ubicado al norte de Chile, se caracteriza por presentar altos niveles de salinidad y boro (B) en el suelo y agua de riego (Torres y Acevedo, 2008), factores limitantes de su diversificación productiva. Considerando esta problemática, la agricultura en este valle se ha basado, principalmente, en el uso de variedades locales tolerantes a estas condiciones, entre las que se encuentran el maíz "lluteño" y el tomate "Poncho Negro" (Bastías *et al.*, 2011). Este último cultivo, es considerado uno de los más importantes en cuanto a producción mundial (Abushita *et al.*, 2000), y regional (ODEPA, 2004) para consumo fresco, tanto

en campo abierto como invernadero (Li *et al.*, 2016). Dentro de su composición nutricional, se destaca como una importante fuente de antioxidantes, tales como vitamina C y licopeno, compuestos que aportan beneficios para la salud del ser humano, en la protección del daño oxidativo, reduciendo riesgos asociados con el cáncer y la prevención de enfermedades cardiovasculares (Story *et al.*, 2010). Una combinación de interacciones diferentes le dan los atributos de calidad que incluyen la apariencia (color, tamaño, forma, defectos), sabor (sólidos solubles totales, azúcar, ácidos orgánicos), valor nutricional (licopeno, vitamina C, minerales) y cualidades de almacenamiento (Kader, 1986 y Wang *et al.*, 2011).

¹ Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Tarapacá. Arica, Chile.

* Autor por correspondencia: ebastias@uta.cl

El licopeno, es el principal carotenoide y un potente antioxidante, presente en el tomate (Silva, 2012), cuyo contenido depende de factores genéticos, temperatura, disponibilidad de agua, luz, cultivares utilizados y del estado de maduración del fruto, con niveles que se incrementan significativamente en estados más avanzados de madurez (Palomo *et al.*, 2010). Respecto a las temperaturas, en Brasil, se encontró 0,25 mg de licopeno/100 g en invierno con un incremento de su síntesis en el verano con valores de 0,85 mg/100 g de licopeno (Rodríguez-Amaya, 1999). Teniendo conocimiento de las condiciones ambientales típicas de zonas hiper-áridas presentes en el valle de Lluta y de “Poncho Negro”, un tomate que se ha adaptado a estas condiciones hace más de 50 años, convirtiéndose en una variedad local, se planteó evaluar el contenido de licopeno de este tomate junto a un híbrido comercial, muy requerido por el mercado regional y nacional, cultivados en diferentes estaciones del año.

Materiales y métodos

Sitio del experimento

Se realizó al aire libre, durante dos estaciones del año (temporada 1: cosecha de frutos realizada en el verano del 2013 (103 Días Después de Trasplante (DDT)) y temporada 2: cosecha de frutos realizada en invierno-primavera del año 2014 (112 DDT)) en la parcela experimental de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Tarapacá, km 19, sector Rosario del valle de Lluta, en una superficie de 972 m².

El registro meteorológico de las variables temperatura (°C) y humedad relativa (%) de

los meses de estudio (Tabla 1) se obtuvo de las estaciones en línea de la Red Agrometeorológica (Agromet) del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Diseño experimental y tratamientos

Semillas de tomate Naomi y “Poncho Negro” fueron sembradas en speedling de 135 celdas con sustrato de perlita y vermiculita en relación 1:1. Alcanzado los 15 cm las plántulas fueron trasplantadas a campo utilizando un marco de plantación de 0,3 x 1,2 m, siendo fertirrigadas diariamente de acuerdo a las características de suelo, agua y fenología del cultivo. La conductividad eléctrica (CE) del suelo fue de 8,2 mS/cm, mientras que el agua de riego presentaba 2,56 mS/cm de CE; sodio: 687,45 mg/L, cloruros: 1.312,43 mg/L y boro: 27,62 mg/L. Se consideró un diseño de 4 bloques con 2 tratamientos (dos variedades de tomate: Naomi y “Poncho Negro”) y 5 repeticiones en 4 hileras de 27 m lineales.

Cuantificación de licopeno: Frutos de tomate Naomi y “Poncho Negro” fueron cosechados del racimo N° 5, estado de madurez 7, según carta de colores y calibres para tomates larga vida Agronueve (Comercial Agronueve S.A.). Para la extracción de licopeno, se utilizó la metodología descrita por Cardona *et al.* (2006). Las muestras compuestas de frutos (cáscara, pulpa y semilla) obtenidas de cada bloque, se cortaron en pequeños trozos y fueron depositadas en bandejas de aluminio introducidas para su secado, en estufa Memmert a 55 °C por 10 días. Una vez secas, fueron molidas, colocadas en papel filtro (5 gr) y sometidas a extracción con hexano utilizando equipo Soxhlet. Posteriormente, se determinó la absorbancia y concentración del

Tabla 1. Registro meteorológico del sector de estudio.

Mes	Temporada 1 (Verano)			Mes	Temporada 2 (Invierno-primavera)		
	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Humedad Relativa (%)		Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Humedad Relativa (%)
Octubre 2013	9,5	25,0	70,8	Mayo 2014	7,1	23,9	71,9
Noviembre 2013	7,9	27,3	67,0	Junio 2014	6,1	21,8	75,9
Diciembre 2013	11,5	28,5	62,9	Julio 2014	5,0	24,2	76,6
Enero 2014	13,8	30,9	57,3	Agosto 2014	6,5	25,6	76,7
Promedio	10,7	27,9	64,5	Promedio	6,2	23,9	75,3

Fuente. Red Agrometeorológica (Agromet). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 2017.

licopeno, mediante espectrofotómetro de absorción molecular (Genesys 2) a la longitud máxima del pigmento (460 nm). Para su cuantificación se utilizó la ecuación:

$$\mu\text{g/ml licopeno} = \frac{Y}{0,1854}$$

Con:

$Y = mx + b$, Dónde: Y= absorbancia; m= pendiente; x= concentración de licopeno; b= intersección.

Para estimar el rendimiento de ambos tratamientos, se marcaron 5 plantas al azar, cuantificando el número de frutos desde el 1° a 5° racimo para luego ser pesados y calibrados según carta de colores de Agronueve.

Análisis de datos

Se aplicó un diseño de bloques con dos tratamientos y cinco repeticiones. Se realizó un análisis descriptivo, utilizando el programa estadístico SPSS versión 22/PC (2013) y la prueba T Student con $p \leq 0,05$ (95%).

Resultados

Contenido de Licopeno

El contenido de licopeno en frutos de Naomi cosechados del quinto racimo, durante la temporada 1 (verano) alcanzó los 107 mg/100 g

de muestra seca, mientras que en “Poncho Negro” los valores promedio fueron de 135 mg/100 g de muestra seca. En la temporada 2 (invierno-primavera), se observó un incremento en la síntesis de este pigmento en ambas variedades mostrando mayores niveles en “Poncho Negro” (273 mg/100 g de muestra seca), respecto al híbrido comercial Naomi (172 mg/100 g de muestra) (Figura 1). El incremento del contenido de licopeno en la temporada 2 fue aproximadamente un 38% de Naomi y un 50% en “Poncho Negro”, respecto a la temporada 1.

Rendimiento

El rendimiento obtenido (Figura 2), durante la temporada 1 (verano) fue de 45980 ha⁻¹ en Naomi y 40835 kg ha⁻¹ en “Poncho Negro”, mientras que en la temporada 2 (invierno-primavera) los rendimientos alcanzaron los 60274 kg ha⁻¹ y 58822 kg ha⁻¹, respectivamente.

Discusión

Contenido de licopeno

El licopeno, es un carotenoide cuyas tasas se incrementan desde el estado verde inmaduro hasta la maduración total del fruto. En su menor o mayor síntesis estarían involucrados principalmente el factor varietal (Kotiková *et al.*, 2009) y ambiental (radiación solar y temperatura) (Toor *et al.*, 2006). Según Luna-Guevara y Delgado-Alvarado (2014) los precursores del licopeno serían inhibidos por

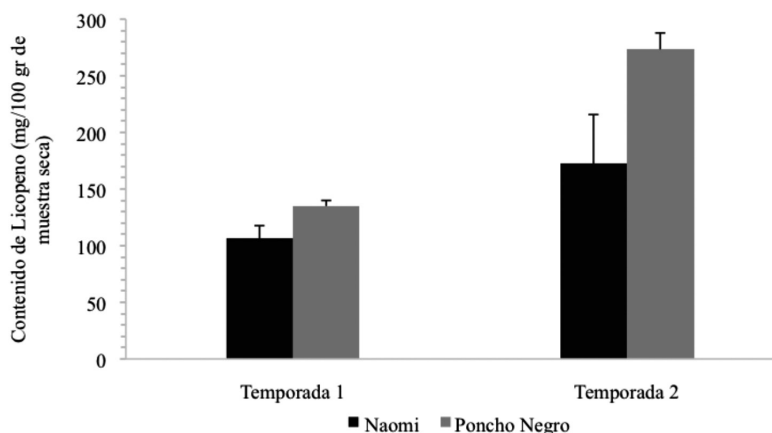


Figura 1. Contenido de licopeno (mg/100 g de muestra seca) en tomate Naomi y “Poncho Negro”, Temporada 1 y Temporada 2. Sector Rosario, valle de Lluta.

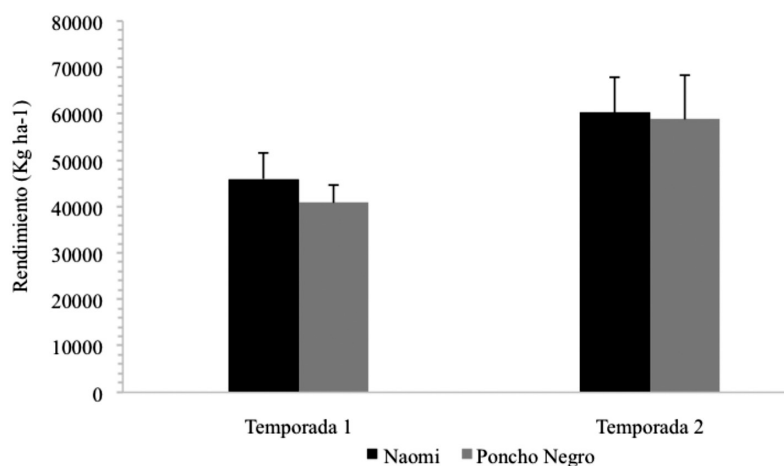


Figura 2. Rendimiento de tomate Naomi y "Poncho Negro", Temporada 1 y Temporada 2. Sector Rosario, valle de Lluta.

debajo de los 12°C y por encima de los 32°C, siendo el intervalo de los 22 y 25°C, el más favorable para la producción de este pigmento. En evaluaciones realizadas por Raffo *et al.* (2006) en tomates cherry cv Naomi F1, cultivados y cosechados en diferentes épocas del año, se observó una reducción significativa de licopeno durante la época de verano. En nuestro estudio, la media de las temperaturas máximas, durante los meses de activo desarrollo del cultivo, estuvieron entre los 27,9 °C durante la temporada 1 (verano), y 23,9 °C durante la temporada de invierno-primavera (temporada 2) (Tabla 1), fluctuaciones que tendrían incidencia en la variación del contenido de licopeno, con un descenso significativo durante la temporada 1, cuando la temperatura promedio mensual máxima superó crecientemente los 25,0 °C (Tabla 1). Similar comportamiento fue observado en diferentes variedades de tomate en Hungría donde los niveles de licopeno fueron bajos (entre 0,864 mg/100 g y 10,010 mg/100 g) (Csambalik *et al.*, 2017) incluso en variedades mejoradas para mostrar un alto nivel de licopeno, con valores menores (20-25 mg/100 g) en la época de verano (Lahoz *et al.*, 2016). Esto coincidiría con lo mencionado por Brandt *et al.* (2006) quienes mencionan que con temperaturas superiores a los 30-35 °C, algunos cultivares reducen drásticamente el contenido de este pigmento. Por otra parte, durante ambas temporadas, se observó un mayor contenido de licopeno (Figura 1) en "Poncho Negro" variedad adaptada a las condiciones de salinidad del valle de Lluta, sumándose a la temperatura y radiación,

un posible efecto varietal, que podría explicar la mayor acumulación de este antioxidante en sus frutos. Guil-Guerrero y Reboloso-Fuentes (2009), evaluaron 8 variedades de tomate en España, entre las que se encontraba la variedad Raf, cultivada en condiciones salinas y con atributos similares a "Poncho Negro", observando en esta variedad, una mayor síntesis de licopeno que en las variedades híbridas conjuntamente evaluadas.

Rendimiento

Al comparar los rendimientos obtenidos entre la variedad Naomi y "Poncho Negro", en la temporada de primavera-verano, no se observaron diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) de la variable estudiada. Similares resultados se presentaron al comparar los rendimientos entre ambas variedades (Naomi y "Poncho Negro") durante la temporada de invierno. Por otra parte, al analizar el rendimiento de la variedad Naomi cultivada en la temporada 1 (verano) y Naomi cultivada en la temporada 2 (invierno-primavera) los resultados indicaron la existencia de diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) en el rendimiento logrado en ambas temporadas, con una baja importante del rendimiento durante la temporada de verano, condición que se repite para el caso de "Poncho Negro" el cual presentó diferencias estadísticas en el rendimiento alcanzado en ambas temporadas de evaluación, lo que mostraría la diferencia estacional y la influencia de factores como la temperatura en el rendimiento de ambas variedades. Estudios mencionan la relación directa

que existiría entre la limitación de la producción del cultivo, la salinidad y las temperaturas sobre los 29 °C, con efectos negativos sobre el crecimiento, número y calidad de los frutos (Hazra *et al.*, 2007).

Un mayor rendimiento de Naomi (2,888 y 3,785 kg MS ha⁻¹), fue observado durante ambas temporadas de cultivo pero con una menor síntesis total de licopeno (3,09 kg/ha en la temporada 1 y 6,51 kg/ha en la temporada 2). Por su parte, “Poncho Negro” a pesar de alcanzar menores rendimientos (2,564 kg MS ha⁻¹ y 3,694 kg MS ha⁻¹), logró sintetizar un mayor contenido de licopeno con una producción de 3,46 kg/ha en la temporada 1 y 10,08 kg/ha en la temporada 2 en la misma superficie y condiciones de cultivo que el híbrido comercial evaluado lo que podría indicar una mayor influencia varietal en la síntesis de licopeno.

CONCLUSIÓN

La temperatura y su oscilación estacional serían fundamentales en la síntesis de licopeno

en ambas variedades, no descartándose el factor genético (varietal), en el caso de la variedad “Poncho Negro”, en la obtención de mayores contenidos de este pigmento. Al comparar el rendimiento entre “Naomi” y “Poncho Negro” en verano, y “Naomi” y “Poncho Negro” en invierno-primavera no se observaron diferencias significativas de los resultados. Por otra parte, los rendimientos de ambas variedades fueron mayores durante la temporada 2 (invierno-primavera) respecto a la temporada 1 (verano), existiendo una posible influencia de la temperatura en la productividad de ambas variedades, siendo notoriamente invierno-primavera la mejor estación en cuanto a producción. Una mayor síntesis total de licopeno por superficie fue observada en la variedad “Poncho Negro”, respecto al híbrido comercial evaluado.

Agradecimientos

Proyecto Convenio de Desempeño Educación Superior Regional UTA-1401(Arica-Chile). Proyecto FIA PYT-2010-0173.

Literatura Citada

- Abushita, A.; Daood, H.; Biacs, P.
2000. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *J. Agric. Food Chem*, 48: 2075-2081.
- Bastías, E.; Carvajal, M.; Martínez-Ballesta, M.; Pacheco, P.; Montoya, A.; Contreras, C.
2011. The effects of the combination of salinity and excess boron on the water relations of tolerant tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Poncho Negro, in relation to aquaporin functionality. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9 (2): 494-503.
- Brandt, S.; Zoltán, P.; Barna, É.; Lugasi, A.; Helyes, L.
2006. Lycopene content and color of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *J Sci Agric*, 86: 568-572.
- Cardona, E.; Ríos, L.; Restrepo, G.
2006. Extracción del carotenoide licopeno del tomate chonto (*Lycopersicon esculentum*). *VITAE*, 13 (2): 44-53.
- Csambalik, L.; Divéky-Ertsey, A.; Pusztai, P.; Boros, F.; Orban, C.; Kovács, S.; Gere, A.; Sipos, L.
2017. Multi-perspective evaluation of phytonutrients- Case study on tomato landraces for fresh consumption. *Journal of Functional Foods*, 33: 211-216.
- Guil-Guerrero, J.; Reboloso-Fuentes, M.
2009. Nutrient composition and antioxidant activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22: 123-129.
- Hazra, P.; Haque, S.; Sikder, D.; Peter, K.
2007. Breeding tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) resistant to high temperatura stress. *International Journal of Plant Breeding*, 1 (1): 31-40.
- Kader, A.
1986. Effect of post harvest handling procedures on tomato quality. *Acta Horti*, 190: 209-211.
- Kotiková, Z.; Hejtmánková, A.; Lachman, J.
2009. Determination of the influence of variety and level of maturity on the content and development of carotenoids in tomatoes. *Czech J. Food Sci*, 27: 200-203.
- Lahoz, I.; Pérez-de-Castro, A.; Valcárcel, M.; Macua, J.; Beltrán, J.; Roselló, S.; Cebolla-Cornejo, J.
2016. Effect of water deficit on the agronomical performance and quality of processing tomato. *Scientia Horticulturae*, 200: 55-65.
- Li, Y.; Niu, W.; Dyck, M.; Wang, J.; Zou, X.
2016. Yields and nutritional of greenhouse tomato in response to different soil aeration volumen at two depths of subsurface drip irrigation. *Scientific Reports*, 6 (39307): 1-10.
- Luna-Guevara, M.; Delgado-Alvarado, A.
2014. Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(1): 51-66.
- ODEPA
2004. Mercados agropecuarios. Oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA). Boletín N° 143. Junio 2004. 12 p.
- Palomo, I.; Moore-Carrasco, R.; Carrasco, G.; Villalobos, P.; Guzmán, L.
2010. El consumo de tomates previene el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y cáncer: Antecedentes epidemiológicos y mecanismos de acción. *IDESIA*, 28 (3): 121-129.

- Raffo, A.; La Malfa, G.; Fogliano, V.; Maiani, G.; Quaglia, G.
2006. Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *Journal of Food Composition and Analysis*, 19:11-19.
- Rodríguez-Amaya, D.
1999. Las fuentes de alimentos de América Latina de los carotenoides. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 49 (3): 74-84S1.
- Silva, J.
2012. Nutritional quality and health benefits of vegetables: A review. *Food and Nutrition Sciences*, 3: 1354-1374.
- Story, E.; Kopec, R.; Schwartz, S.; Harris, K.
2010. An update on the health effects of tomato lycopene. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, 1: 189-210.
- Toor, R.; Savage, G.; Lister, C.
2006. Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 1-10.
- Torres, A.; Acevedo, E.
2008. El problema de la salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. *IDESIA (Chile)*, 26 (3): 31-44.
- Wang, F.; Kang, S.; Du, T.; Li, F.; Qiu, R.
2011. Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments. *Agricultural Water Management*, 98: 1228-1238.