

Efecto de la deshidratación de desechos de tomate en el contenido de compuestos fenólicos, carotenoides y capacidad antioxidante

Effect of dehydration of tomato waste on the content of phenolic compounds, carotenoids and antioxidant capacity

Julio Cesar Armenta-Gorosave^a  armenta.julio@uabc.edu.mx; Vianey Méndez-Trujillo^{a*}  vianey.mendez.trujillo@uabc.edu.mx;
Daniel González-Mendoza^b  danielg@uabc.edu.mx; Daniela Guadalupe González-Valencia^a  dgonzalez18@uabc.edu.mx;
Carlos Olvera-Sandoval^a  olvera.carlos@uabc.edu.mx;

^aUniversidad Autónoma de Baja California, Mexicali-México. Facultad de Medicina e Instituto de Ciencias Agrícolas.

*Autor de correspondencia: vianey.mendez.trujillo@uabc.edu.mx

Recibido: 23/07/2023 Aceptado: 05/10/2023

Citar, APA: Armenta-Gorosave, J. C., Méndez-Trujillo, V., González-Mendoza, D., González-Valencia, D. G. y Olvera-Sandoval, C. (2023). Efecto de la deshidratación de desechos de tomate en el contenido de compuestos fenólicos, carotenoides y capacidad antioxidante. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10 (2), 67–75. <https://doi.org/10.23850/24220582.5780>

Resumen En México, el desperdicio de tomates puede relacionarse con la deficiencia en la cadena de transporte y almacenaje, bajos estándares de calidad del producto, deficiencias en la exhibición del producto y fallas en la coordinación con proveedores. Estos factores contribuyen al desperdicio de tomate para su consumo por no cumplir con los estándares impuestos por los mercados de alimentos y el consumidor final. No obstante, los desperdicios de tomate pueden ser revalorizados y ser una fuente de fitoquímicos con relevancia nutricional. El objetivo del presente estudio fue identificar el efecto de la temperatura de secado de frutos de tomate considerados de desperdicio evaluando su capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, carotenoides, azúcares reductores, proteínas, humedad y cenizas. Se realizaron tres tratamientos para medir el efecto del secado a 24, 48 y 72 horas a tres temperaturas diferentes 50, 60 y 70 °C en las muestras de frutos de tomate colectadas. Los resultados mostraron que el tratamiento de secado a 50 °C por 72 horas arrojó los mayores valores de proteínas (45,3 g/kg) y azúcares reductores (196 mg/g). Por su parte el tratamiento de 70 °C mostró incrementos en compuestos fenólicos (48,12 mg/g), licopeno (2503 µg/g) y β-caroteno (31,84 µg/g) a las 24 horas de secado. Estos resultados indicaron que al exponer la biomasa de tomate a una temperatura de 70 °C por 24 horas correspondiente al Tratamiento (T4 - 1), se produjo una mayor biosíntesis de compuestos bioactivos que podrían ser empleados en la formulación de nuevos productos alimenticios, por ejemplo, en la elaboración de tortillas.

Palabras clave: tomate, deshidratación, carotenos, capacidad antioxidante.

Abstract In Mexico, tomato waste can be due to factors such as deficiencies in transportation and storage, product quality standards, deficiencies in product display, and failures in coordination with suppliers. These factors contribute to the waste of tomatoes for consumption due to not meeting the standards imposed by food markets and the final consumer. However, tomato waste can be revalued and encourage its use due to the presence of phytochemicals of nutritional relevance. The aim of this experiment was to identify the antioxidant capacity, phenolic compounds, carotenoids, reducing sugars, proteins, moisture and ashes in tomato fruits considered waste by food markets. Three treatments were carried out that consisted of evaluating the drying effect at 24, 48 and 72 hours at three different temperatures 50, 60 and 70 °C in the collected tomato fruit samples. The results showed that the drying treatment at 50 °C for 72 hours showed higher values of proteins (45,3 g/kg) and reducing sugars (196 mg/g). For its part, the 70 °C treatment showed the highest levels of polyphenolic compounds (48,12 mg/g), lycopene (2503 µg/g) and β-carotene (31,84 µg/g) after 24 hours of drying. These results indicate that the treatment of tomato biomass at 70 °C for 24 hours corresponding to Treatment (T4 - 1), promotes a greater biosynthesis of bioactive compounds that could be used in the formulation of new food products, for example in the elaboration of tortillas.

Keywords: tomato, dehydration, carotenoids, antioxidant activity.

Introducción

El tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) es un fruto que se destaca por su contenido nutricional ya que contiene compuestos fenólicos, carotenoides, potasio, vitaminas A, E y C, fibra. Además, representa una fuente valiosa de compuestos bioactivos, destacando los compuestos fenólicos, carotenoides como el licopeno, B-caroteno (provitamina A), vitaminas y glicoalcaloides que muestran actividades antioxidantes, antiinflamatorias, antitumorales y anti carcinogénicas (Chaudhary *et al.*, 2018). Lo cual lo convierte en uno de los frutos más consumidos en la dieta humana (Sengkhamparn y Phonkerd, 2019). La producción agropecuaria en México representa el 3,4 % del PIB (Producto Interno Bruto) nacional (INEGI, 2007), donde México aporta el 1,7 % de la producción mundial de tomate, y contribuye con el 19 % de volumen de las exportaciones a nivel mundial, ubicándolo por encima de España y Países Bajos (Montaño-Mendez *et al.*, 2021). México se destaca por ser pionero en la domesticación del tomate y gracias a la colonización, las semillas fueron introducidas en diferentes partes del mundo donde fue adoptado como uno de los mayores cultivos de importancia agrícola (Peralta y Spooner, 2007).

A nivel mundial, la producción de tomate ha tenido un impulso resultado de la demanda por la industria alimentaria de países principalmente europeos. Esto ha generado que se tenga un incremento de 3,1 %, pasando de 184 millones de toneladas en el 2018 a 221 millones de toneladas entre 2019 y 2024 (Coelho *et al.*, 2023). No obstante, alrededor del 10 % de la producción total de tomate no cumple con los requisitos de los clientes, lo que genera pérdidas esenciales durante la cosecha y su procesamiento (Coelho *et al.*, 2019). Las principales causas de estas pérdidas pos-cosecha se asocian con daños externos durante su colecta y manejo; condiciones de almacenamiento que afectan sus características fisicoquímicas y calidad, tiempo

de almacenamiento, y el cultivar o variedad de tomate cosechado (Abera *et al.*, 2020).

A nivel internacional, se desperdicia aproximadamente una tercera parte del total de los alimentos producidos, a pesar de que estas pérdidas ocurren a lo largo de toda la cadena de suministro de alimentos (eg., tomate), los supermercados tienen una contribución importante a la generación de residuos en las ciudades (Schanes *et al.*, 2018). El consumo de tomate fresco involucra la generación de residuos, ya sea por la presencia de daños biológicos o mecánicos durante su transporte o almacenamiento. Cuando los tomates no cumplen con valores de calidad del mercado son desechados representando un problema ambiental. No obstante, estos residuos también pueden ser ricos en compuestos bioactivos, los cuales podrían ser incluidos en la formulación alimentos como pastas, productos cárnicos, mermeladas o de panificación (Szabo *et al.*, 2018).

Por lo que, la revalorización de los tomates que no cumplen con las condiciones de calidad del mercado para su venta representa una alternativa para obtener fitoquímicos, que pueden ser empleados en la elaboración de productos alimenticios. Que podrían contribuir a la salud del consumidor y a la disminución de residuos alimenticios en el ambiente. De tal forma que el objetivo de esta investigación consistió en evaluar la variación en composición de compuestos fenólicos, carotenoides, capacidad antioxidante y proteínas en tomates deshidratados a 50, 60 y 70 °C por 24, 48 y 72 horas.

Material y Métodos

Obtención de las muestras

Se colectaron frutos de tomate considerados de desecho, los cuales presentaban daño mecánico y alto grado de madurez (haciéndolos inviables

para el consumidor). Los desechos de tomates fueron obtenidos a partir de 5 mercados ubicados en la ciudad de Mexicali Baja California, durante los meses de agosto a diciembre del 2022.

Proceso de deshidratación

Los desechos de tomate de la variedad saladette procedentes de cada mercado fueron mezclados y cortados en rodajas homogéneas con un grosor de 0.5 cm, sin semillas. Posteriormente, se pesaron 500 gramos de biomasa en charolas de aluminio para su secado. Finalmente, las muestras por triplicado fueron deshidratadas a peso constante empleando nueve tratamientos con variaciones de temperatura y tiempo: 50°C-24 (T1-1), 50°C-48 h (T1-2) y 50°C-72 h (T1-3); 60°C-24 h (T2-1), 60°C-48 h (T2-2) y 60°C-72 h (T2-3); 70°C-24 h (T3-1), 70°C-48 h (T3-2) y 70°C-72h (T3-3), respectivamente. Finalizado cada tratamiento se colectaron 5 gramos y se almacenaron a -70 °C para análisis posteriores.

Cuantificación de compuestos fenólicos

La cuantificación del contenido de compuestos fenólicos de cada tratamiento fue realizada por triplicado, empleando la técnica de Folin-Ciocalteu (1927) con las modificaciones propuestas por Gonzalez-Mendoza *et al.* (2015). La concentración de compuestos fenólicos se expresó en equivalentes de ácido gálico (mg EAG/g de base seca), usando una curva de calibración con ácido gálico.

Determinación de licopeno y β -caroteno

Los carotenoides rojos y amarillos fueron cuantificados de acuerdo con Rodriguez-Maturino *et al.* (2015). Para tal fin se mezclaron 250 mg de cada tratamiento con 50 mL de acetona e incubadas por 60 min en ausencia de luz. Finalizado el tiempo de incubación se procedió al registro de la absorbancia de licopeno a una longitud de onda de 508 nm y 450 nm para la determinación de β -carotenos. Empleando la fórmula propuesta por Maqsood *et al.* (2015)

para licopeno y la fórmula propuesta por Aremu y Nweze (2017), para β -caroteno.

Determinación de capacidad antioxidante

La actividad antioxidante de cada tratamiento se determinó siguiendo la metodología propuesta por Méndez-Trujillo y González-Mendoza (2021). Previamente se realizó una mezcla de 0,025 mg de DPPH (1,1 difenil-2 picrilhidracilo) en 100 mL de metanol. Posteriormente se mezclaron 500 mg de cada tratamiento de tomate con 1 mL de la solución metanólica de DPPH. Las muestras fueron incubadas por 30 min a temperatura ambiente (25 °C) en completa oscuridad. Al finalizar el periodo de incubación se registraron las lecturas de cada tratamiento en un espectrofotómetro a 517 nm. La actividad antioxidante se realizó por triplicado y se analizó usando la **Ecuación 1**:

Ecuación 1.

Inhibición de DPPH (%) = [(AControl - Amuestra/AControl) × 100].

Donde: A control es la absorbancia de la reacción del DPPH en agua y Amuestra es la absorbancia de la reacción del DPHH en presencia de las muestras de tomate.

Cuantificación de azúcares reductores

La determinación de azúcares reductores de cada tratamiento se realizó siguiendo la metodología propuesta por González-Mendoza *et al.* (2022). Para tal fin 1000 mg de cada tratamiento se mezcló con 10 mL de H₂SO₄ a 1,25 % y se sometió a 120 °C a 15 libras de presión por 30 min. Finalizado, el periodo de incubación, se determinó el contenido de azúcares reductores, mediante la lectura al espectrofotómetro a una longitud de onda de 315nm de la mezcla de reacción de 300 μ L de sobrenadante de cada tratamiento con 1000 μ L H₂SO₄ concentrado. Los análisis se realizaron pro triplicado y se reportaron como mg/g de azúcares reductores equivalentes de glucosa de la muestra en base seca.

Cuantificación de proteínas

La cuantificación de proteínas en cada tratamiento se realizó por triplicado empleando la técnica propuesta Rosa *et al.* (2020). Por lo cual, se mezclaron 1000 mg de muestra de tomate con 5 mL de una solución amortiguadora de fosfatos (100 mM a pH 6,5). El sobrenadante de la mezcla anteriormente indicada se obtuvo por centrifugación a 10,000 rpm por 3 min empleando una centrifuga refrigerada a 6 °C. La determinación de la proteína se realizó mezclando 100 µL del extracto proteico de cada tratamiento con 1000 µL de reactivo de Bradford dejando en oscuridad por 30 min a 30 °C. Culminado el periodo de incubación, las muestras fueron analizadas con espectrofotómetro empleando una longitud de onda de 595nm. Los valores obtenidos se expresaron en g/kg.

Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con tres repeticiones, considerando como unidad experimental

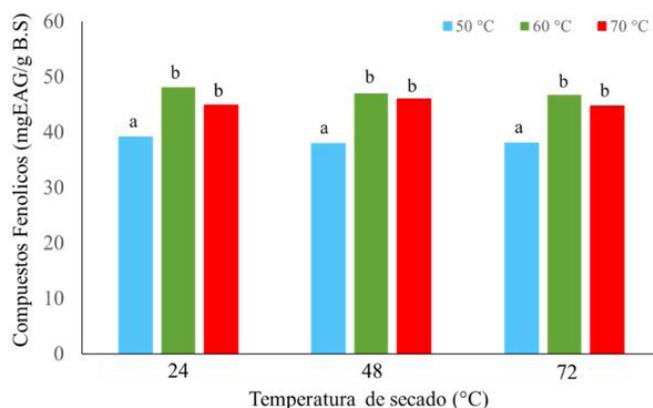
muestras de tomate desechado equivalentes a 500 gr de peso fresco, sin semillas. Nueve tratamientos fueron obtenidos a partir de las combinaciones de temperatura de secado (50, 60 y 70 °C) y tiempo (24, 48 y 72 horas) utilizado durante el secado y 5 gramos de cada tratamiento a peso constante se empleó para los análisis de proteínas, azúcares reductores, porcentaje de humedad y de cenizas, compuestos fenólicos totales, licopeno, β-caroteno y capacidad antioxidante. Cada variable se sometió a una prueba de ANOVA de una sola vía y análisis de Tukey, usando el paquete estadístico “IBM SPSS Statistics 25”.

Resultados y discusión

En la presente investigación, se observó que los tratamientos (T2 al T3) evaluando temperaturas y tiempo de (60 y 70 °C) a (24, 48 y 72 h), mostraron cambios significativos en el contenido de compuestos fenólicos en comparación con la temperatura de 50°C en los tres tiempos de secado (Figura 1).

Figura 1

Efecto de las temperaturas y tiempo de secado del tomate en el contenido de compuestos fenólicos.



Analizando la variable de compuestos fenólicos evidenciamos que el incremento de estos compuestos ocurre a temperaturas mayores de 50 °C y que este incremento no es dependiente de la temperatura de secado. Los tratamientos T2 (48 mg EAG/g B.S.) y T3 de secado (48 mg EAG/g

B.S.) mostraron valores superiores a los obtenidos con los T1 (40 mg EAG/g B.S.). Lo anterior podría estar relacionado con un proceso de ruptura de las estructuras celulares a temperaturas mayores de 50 °C, que permiten a los compuestos fenólicos tener mayor biodisponibilidad

(Gómez-Maqueo *et al.*, 2020). Estos resultados coinciden con lo observado Harini *et al.* (2019) quienes reportan un incremento del contenido de compuestos fenólicos a 60 °C por 4 horas de secado con respecto a temperaturas menores. Por su parte, Kim y Chin (2016), registraron mayores valores en el contenido de compuestos fenólicos a medida que se incrementaba el tiempo de secado en el rango de 60 y 70 °C. Estos resultados nos permiten concluir que el factor temperatura y tiempo son variables que inciden significativamente en la biodisponibilidad de compuestos fenólicos.

Evaluando la presencia de licopeno, el tratamiento (T3 - 1) a 70 °C por 24 h registró los mayores valores (2503 µg/g de base seca) así como para el β-caroteno (31,84 µg/g de base seca), en comparación con los tratamientos restantes analizados (Tabla 1). Por lo que los valores obtenidos en el presente estudio podrían ser resultado del proceso de una mayor biosíntesis de estos compuestos por efecto de las diferentes temperaturas y tiempos de secado empleados (Gómez-Maqueo *et al.*, 2020). Al respecto Palmero *et al.* (2014) indican que temperaturas de 60 y 70 °C pueden estimular el incremento

de licopeno y β-caroteno en el tomate, derivado de un incremento en la biosíntesis que permiten su disponibilidad. En este sentido Jorge *et al.* (2018) mencionan que la temperatura de 70 °C por 24 h, estimula la biosíntesis de licopeno y β-caroteno comparado con temperaturas de 60 °C o menores. Similares resultados fueron reportados por Mendelová *et al.* (2020) quienes observaron una concentración de 1268,5 µg/g de base seca de carotenoides a 70 °C por 17 h. Por su parte, Ibrahim *et al.* (2017) y Moreno y Díaz (2017) reportaron que a una temperatura de 60 °C durante aproximadamente 48 h no se estimula la producción de carotenoides en tomate.

Es importante indicar que los carotenoides, pueden disminuir su capacidad antioxidante por acción del tiempo y temperatura a la que se encuentren expuestos, resultado de una ruptura oxidativa o isomerización en su estructura (Nikita *et al.*, 2021). Lo anterior se observó en las muestras tratadas a 70 °C a 48 y 72 horas, donde posiblemente factores como la isomerización y la oxidación afectaron de forma simultánea la disminución del contenido de licopeno y de β-caroteno (Tabla 1).

Tabla 1

Resultados de composición de compuestos bioactivos de polvo de tomate.

Tratamientos	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (horas)	Licopeno (µg/g B.S)	β-caroteno (µg/g B.S)	%inhibición de DPPH
T1 - 1	50	24	1077 ± 23,20 d	19,43 ± 0,10 d	50,00 ± 1,70 a
T1 - 2	50	48	1155 ± 98,87 d	24,18 ± 0,30 c	56,44 ± 2,94 a
T1 - 3	50	72	1475 ± 189,9 c	18 ± 0,76 d	48,60 ± 1,43 a
T2 - 1	60	24	1329 ± 2,88 c	20,41 ± 1,84 d	28,50 ± 2,62 c
T2 - 2	60	48	1865 ± 20,43 b	26,35 ± 0,32 b	26,80 ± 0,28 c
T2 - 3	60	72	1530 ± 29,26 c	23,45 ± 0,45 c	25,16 ± 0,65 c
T3 - 1	70	24	2503 ± 62,83 a	31,84 ± 0,25 a	24,17 ± 1,35 c
T3 - 2	70	48	1861 ± 58,99 b	28,21 ± 1,94 b	ND
T3 - 3	70	72	1927 ± 68,69 b	26,01 ± 1,15 b	ND

Nota. B.S. (base seca), ND (no se detectó). Valores de media ± desviación estándar de 3 réplicas, letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (p < 0,05).

Diversos estudios indican que el tomate se puede considerar como un alimento funcional, debido a la presencia de compuestos fenólicos, vitamina E, licopeno, ácido ascórbico y

carotenoides con actividad antioxidante que tienen un efecto preventivo contra algunas enfermedades degenerativas (Gümüşay *et al.*, 2015).

Respecto al efecto sobre la actividad antioxidante, los resultados mostraron que el incremento de temperaturas redujo la actividad antioxidante de las muestras de tomate deshidratado (Tabla 1). Siendo las muestras deshidratadas a 50 °C por 24 horas (o tratamiento T1-1) las que presentaron los mayores valores de actividad antioxidante. El menor porcentaje de inhibición se registró con el tratamiento térmico de 70 °C (T3). Generalmente, la deshidratación puede provocar la degradación de compuestos bioactivos afectando la actividad antioxidante y modificando el valor nutricional del tomate (Nikita *et al.*, 2021) en este aspecto nuestros resultados mostraron que la pérdida de humedad en todos los tratamientos fue de 94.74 % de pérdida de humedad. Azeez *et al.* (2019) y Lutz *et al.* (2015) indican que los rangos de secado entre 45 y 55 °C son los más adecuados para conservar la actividad antioxidante en frutos de tomate ya que se mantiene la integridad de los compuestos bioactivos como licopeno, compuestos fenólicos y otros carotenoides.

Nuestros resultados son consistentes con lo reportado por Nour *et al.* (2018), quienes al evaluar la deshidratación de tomates a 60 °C registraron que su piel proporcionaba la mayor concentración de compuestos fenólicos. También, es importante considerar que las técnicas para medir la actividad antioxidante pueden dar resultados diferentes, debido a las reacciones bioquímicas que participan en las metodologías (Vazquez-Ovando *et al.*, 2022), lo cual podría influir en los resultados reportados en el presente estudio comparado con los reportados en literatura. Sin embargo, se debe considerar que la variación en la capacidad antioxidante depende de factores como las técnicas de secado, carotenoides que se producen durante la degradación de los componentes celulares durante el secado y el cultivar de tomate empleado (Barros *et al.*, 2012; Espin *et al.*, 2016; Luna-Guevara *et al.*, 2020; Coelho *et al.*, 2023).

Tabla 2

Resultados de composición proximal de polvo de tomate.

Tratamientos	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (horas)	Proteína (g/kg B.S)	Azúcares reductores (mg/100 g B.S)
T1 - 1	50	24	41,9 ± 0,04 b	112,7 ± 7,25 a
T1 - 2	50	48	47,7 ± 0,26 a	158,4 ± 3,02 b
T1 - 3	50	72	45,3 ± 0,27 a	196,4 ± 5,01 c
T2 - 1	60	24	43,6 ± 0,26 a	164,8 ± 16,37 b
T2 - 2	60	48	36,9 ± 0,32 c	159,3 ± 12,21 b
T2 - 3	60	72	31,9 ± 0,19 c	152,2 ± 5,12 b
T3 - 1	70	24	31,1 ± 0,53 c	160,00 ± 8,05 b
T3 - 2	70	48	30,8 ± 0,46 c	158,40 ± 1,58 b
T3 - 3	70	72	30,9 ± 0,38 c	156,00 ± 5,64 b

Nota. B.S. (base seca), ND (no se detectó). Valores de media ± desviación estándar de 3 réplicas, letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Por otra parte, el análisis proximal de proteínas y azúcares reductores en las muestras deshidratadas (Tabla 2), mostró que el contenido de proteínas decrece con el incremento de las temperaturas empleadas y los tiempos de exposición. En este estudio, al usar una temperatura de 70 °C (T3) se presentó una disminución significativa de proteínas con respecto a los tratamientos (T1 y T2) o (60 y 50 °C) en diferentes tiempos de secado (Tabla 2).

Nuestros resultados fueron significativamente menores a los reportados por Nour *et al.* (2018) quienes obtuvieron valores de 189,2 g/kg. La variación en los niveles de proteína cruda podría estar asociado con el contenido de semilla (Nour *et al.*, 2018). Futuros estudios deberán ser encaminados a evaluar el aporte de estas semillas en el proceso de obtención de tomate deshidratado.

En contraste, el contenido de azúcares reductores presentó un incremento significativo con el tratamiento de 50 °C durante 72 horas en comparación con las otras temperaturas (Tabla 2). De acuerdo con Leyva *et al.* (2014), los azúcares reductores más abundantes son la glucosa y la fructuosa, incluyendo trazas de sucrosa en algunos frutos inmaduros. Este dato es relevante debido a que los frutos secos pueden contener un mayor nivel de carbohidratos que puede ser un factor de riesgo en el consumidor incrementando así el riesgo de enfermedades cardiometabólicas (Sullivan *et al.*, 2020). En consecuencia, estudios a futuro deberán evaluar el efecto de las temperaturas y tiempo de secado en carbohidratos y proteínas presentes en tomate de desecho deshidratado.

Conclusiones

En el presente estudio la temperatura de 70 °C con un tiempo de secado de 24 horas, mostró que es posible obtener un polvo de tomate deshidratado con valores de compuestos bioactivos significativamente superior que al emplear temperaturas iguales a 50 y 60 °C.

Futuros estudios en frutos de tomate de desecho deberán enfocarse en determinar la influencia de las semillas del fruto en el contenido de proteínas. Así como la relación entre variedad de tomate de desecho en el Noroeste de México y el contenido de compuestos bioactivos.

Finalmente, se demostró que los tomates considerados de desecho pueden ser revalorizados en la industria alimentaria y reducir la generación de residuos orgánicos al ambiente, debido al potencial de compuestos biológicos (antioxidantes, compuestos fenólicos y carotenoides) que exhiben.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Baja California, y Conahcyt, por la financiación de este proyecto.

Referencias

- Abera, G., Ibrahim, A.M., Forsido, S.F., & Kuyu, C.G. (2020). Assessment on post-harvest losses of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in selected districts of east shewa zone of Ethiopia using a commodity system analysis methodology. *Heliyon*, 6(4): e03749. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03749>
- Aremu, S., & Nweze, C. (2017). Determination of vitamin A content from selected Nigerian fruits using spectrophotometric method. *Bangladesh Journal Science and Industrial Research*, 52(2), 153-158. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v52i2.32940>
- Azeez, L., Adebisi, S.A., Oyedeji, A.O., Adetoro, R.O., & Tijani, K.O. (2019). Bioactive compounds' contents, drying kinetics and mathematical modelling of tomato slices influenced by drying temperatures and time. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(2), 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.03.002>
- Barros, L., Dueñas, M., Pinela, J., Carvalho, A.M., Santos, C.B., & Ferreira, I. (2012). Characterization and quantification of phenolic compounds in four tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) farmers' varieties in northeastern Portugal homegardens. *Plant Foods Human Nutrition*, 67(3), 229-234. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0307-z>
- Chaudhary, P., Sharma, A., Singh, B., & Nagpal, A.K. (2018). Bioactivities of phytochemicals present in tomato. *Journal Food Science Technology*. 55(8), 2833-2849. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3221-z>
- Coelho, M., Pereira, R., Rodrigues, A.S., Teixeira, J.A., & Pintado, M.E. (2019). Extraction of tomato by-products' bioactive compounds using ohmic technology. *Food Bioproducts Process*. 117, 329-339. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.08.005>
- Coelho, M.C., Rodrigues, A.S., Teixeira, J.A., & Pintado, M.E. (2023). Integral valorisation of tomato by-products towards bioactive compounds recovery: human health benefits. *Food Chemistry*. 140(1), 135319. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135319>
- Espin, S., Gonzalez-Manzano, S., Taco, V., Poveda, C., Ayuda-Durán, B., Gonzalez-Paramas, A.M., & Santos-Buelga, C. (2016). Phenolic composition and antioxidant capacity of yellow and purple-red ecuadorian cultivars of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry*, 194(1), 1073-80. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.131>
- Folin O, Ciocalteu V. (1927). Tyrosine and tryptophane in proteins. *Journal of Biological Chemistry*. 73(2), 627-648. https://developmentalbiology.wustl.edu/wp-content/uploads/2018/10/Folin_1927-2553row.pdf
- Gómez-Maqueo, A., Escobedo-Avellaneda, Z., & Welti-Chanes, J. (2020). Phenolic compounds

- in mesoamerican fruits—characterization, health potential and processing with innovative technologies. *International Journal of Molecular Sciences*, 7(21), 8357. <https://doi.org/10.3390/ijms21218357>
- González Mendoza, D., Tzintzun-Camacho, O., & Méndez-Trujillo, V. (2022). Determination of antioxidant activity and phenolic compounds in different Mexican craft beers. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 9(1), 46–54. <https://doi.org/10.23850/24220582.4713>
- González-Mendoza, D., Troncoso-Rojas, R., Ceceña Durán, C., Grimaldo-Juárez, O., Zamora-Bustillo, R., & Ruiz-Sánchez, E. (2015). Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante presentes en tres variedades de berenjena cultivadas en el valle de Mexicali, Baja California. *Idesia (Arica)*, 33(3), 17–21. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000300003>
- Gümüşay, Ö.A., Borazan, A.A., Ercal, N., & Demirkol, O. (2015). Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger. *Food Chemistry*, 173(15), 156–62. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.162>
- Harini, R., Muthal, T., Chidanand, D.V., & Sunil, C.K. (2019). Study on physiochemical quality characteristics of tomato slices dried using innovative drying system. *International Journal of Conservation Science*, 7(3), 4719–4723. <https://www.chemijournal.com/archives/2019/vol7issue3/PartBZ/7-3-613-865.pdf>
- Ibrahim, A., EL-Iraqi, M., Osman, T., & Hendawey, Y. (2017). Bio-engineering studies for tomato pomace powder production as a nutritional valuable material. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, Mansoura University*, 8(12), 671–680. <https://doi.org/10.21608/JSSAE.2017.38212>
- INEGI. (2007). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/>
- Jorge, A., Sauer Leal, E., Sequinel, R., Sequinel, T., Kubaski, E. T., & Tebcherani, S. M. (2018). Changes in the composition of tomato powder (*Lycopersicon esculentum* Mill) resulting from different drying methods. *Journal of food processing and preservation*, 42(5), e13595. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13595>
- Kim, H.S., & Chin, K.B. (2016). Effects of drying temperature on antioxidant activities of tomato powder and storage stability of pork patties. *Korean journal for food science of animal resources*, 36(1), 51–60. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.1.51>
- Leyva, R., Constán-Aguilar, C., Blasco, B., Sánchez-Rodríguez, E., Romero, L., Soriano, T., & Ruiz, J.M. (2014). Effects of climatic control on tomato yield and nutritional quality in Mediterranean screen house. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(1), 63–70. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6191>
- Luna-Guevara, M.L., González-Sánchez, T., Delgado-Alvarado, A., Ramos-Cassellis, M.E., Pérez-Luna, J.G., & Luna-Guevara, J.J. (2020). Study of the quality and antioxidant properties of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) under different postharvest and dehydration conditions. *Agro Productividad*, 13(9) <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1662>
- Lutz, M., Hernández, J., & Henríquez, C. (2015). Phenolic content and antioxidant capacity in fresh and dry fruits and vegetables grown in Chile. *CyTA - Journal of Food*, 13(4), 541–547. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1012743>
- Maqsood, S., Omer, I., & Eldin, A.K. (2015). Quality attributes, moisture sorption isotherm, phenolic content and antioxidative activities of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) as influenced by method of drying. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 7059–7069. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1827-y>
- Mendelová, A., Mendel, L., Fikselová, M., & Mareček, J. (2021). Carotenoid and antioxidant retention of the dehydrated tomato products affected by their different technological treatments. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(3), 409–412. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.10.3.409-412>
- Méndez-Trujillo, V., & González-Mendoza, D. (2021). Preliminary studies of bioactive compounds and color in Mexican red wines from Baja California region. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 8(1), 42–49. <https://doi.org/10.23850/24220582.3758>
- Montaño-Méndez, I.E., Valenzuela Patrón, I.N., & Villavicencio López, K.V. (2021). Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: análisis 2003–2017. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1185–1197. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2531>
- Moreno, G.D.C., & Díaz-Moreno, A.C. (2017). Effect of air drying process on the physicochemical, antioxidant, and microstructural characteristics of tomato cv. Chonto. *Agronomía Colombiana*, 35(1), 100–106. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n1.57727>
- Nikita, S.B., Shivanand S. S., Arun S. M., & Bhaskar N. T. (2021). Drying of tomatoes and tomato processing waste: a critical review of the quality aspects. *Drying Technology*, 39 (11), 1720–1744. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1910832>
- Nour, V., Panaite, T.D., Ropota, M., Turcu, R., Trandafir, I., & Corbu, R.B. (2018). Nutritional and bioactive compounds in dried tomato processing waste, CyTA - *Journal of Food*, 16(1), 222–229. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1383514>

- Palmero, P., Panozzo, A., Simatupang, D., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2014). Lycopene and β -carotene transfer to oil and micellar phases during in vitro digestion of tomato and red carrot based-fractions. *Food Research International*, 64(2), 831-838. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.08.022>
- Peralta, I.E., & Spooner, D.M. (2007). History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae) In: Razdan MK, Mattoo AK, editors. *Genetic improvement of solanaceous crops*. United States: Tomato, Science Publishers, Enfield; pp. 1-27
- Rodriguez-Maturino, A., Troncoso-Rojas, R., Sánchez-Estrada, A., González-Mendoza, D., Ruiz-Sánchez, E., Zamora-Bustillos, R., Ceceña-Duran, C., Grimaldo-Juarez, O., & Aviles-Marin, M. (2015). Antifungal effect of phenolic and carotenoids extracts from chiltepin (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) on *Alternaria alternata* and *Fusarium oxysporum*. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(1), 72-7. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2014.12.005>
- Rosa, G.P., Barreto, M.D.C., Pinto, D.C., & Seca, A.M. (2020). A Green and Simple Protocol for Extraction and Application of a Peroxidase-Rich Enzymatic Extract. *Methods and protocols*. 3(2), 25. <https://doi.org/10.3390/mps3020025>
- Schanes, K., Dobering, K., & Gözet, B. (2018). Food waste matters - A systematic review of household food waste practices and their policy implications. *Journal of Cleaner Production*, 182(1), 978-991. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.030>
- Sengkhampan, N., & Phonkerd, N. (2019). Phenolic compound extraction from industrial tomato waste by ultrasound-assisted extraction. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 639(1), 012040. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/639/1/012040>
- Sullivan, V.K., Petersen, K.S., & Kris-Etherton, P.M. (2020). Dried fruit consumption and cardiometabolic health: a randomised crossover trial. *The British Journal of Nutrition*, 124(9), 912-921. <https://doi.org/10.1017/S0007114520002007>
- Szabo, K., Cătoi, A.F., & Vodnar, D.C. (2018). Bioactive compounds extracted from tomato processing by-products as a source of valuable nutrients. *Plant Foods Hum Nutrition*, 73(4), 268-277. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0691-0>
- Vázquez-Ovando, A., Mejía-Reyes, J. D., García-Cabrera, K. E., & Velázquez-Ovalle, G. (2022). Antioxidant capacity: concepts, quantification methods and use for tropical fruits and derived products characterization. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 9(1), 9-33. <https://doi.org/10.23850/24220582.4023>