

TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas

ISSN: 1405-888X

ISSN: 2395-8723

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de
Estudios Superiores, Plantel Zaragoza

Perales-Vázquez, Guadalupe del Carmen; Mercado-Mercado,
Gilberto; Rosa, Laura A. de la; Sáyago-Ayerdi, Sonia G.

Bioaccesibilidad y cinética de liberación *in vitro* de compuestos
fenólicos en algunas salsas de la cocina mexicana

TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas, vol. 23, e200200205, 2020
Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores, Plantel Zaragoza

DOI: 10.22201/fesz.23958723e.2020.0.205

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43266574008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

PUBLICACIÓN CONTINUA

ARTÍCULO ORIGINAL

© 2020 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 23: 1-9, 2020.
DOI: [10.22201/fesz.23958723e.2020.0.205](https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.205)

Bioaccesibilidad y cinética de liberación *in vitro* de compuestos fenólicos en algunas salsas de la cocina mexicana

Guadalupe del Carmen Perales-Vázquez¹, Gilberto Mercado-Mercado²,
Laura A. de la Rosa² y Sonia G. Sáyago-Ayerdi^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tepic, Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, Av. Tecnológico #2595, Tepic 63175, Nayarit, México.

²Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Ciencias Biomédicas, Depto. de Ciencias Químico Biológicas, Ciudad Juárez 32310, México.

E-mails: *sonia.sayago@gmail.com; ssayago@ittepic.edu.mx

RESUMEN

Las salsas en la cocina mexicana son consideradas un complemento fundamental de todos los platillos. En este trabajo se prepararon cuatro tipos de salsas mexicanas (SM): salsa roja cruda (SRCr), salsa roja cocinada (SRC), salsa verde cruda (SVCr) y salsa verde cocinada (SVC), se evaluó el porcentaje de bioaccesibilidad (%BA) y la velocidad de liberación de los compuestos fenólicos (CF) presentes en las SM. Se identificaron y cuantificaron por HPLC-MS los CF liberados de las SM en las diferentes etapas de un modelo de digestión *in vitro*. El %BA fue del 50% para la SRCr y hasta 62% para la SRC, valores semejantes presentaron la SVC y la SVCr. En la fracción intestinal se identificaron compuestos como catequina y galocatequín galato en los cuatro tipos de SM. La velocidad de liberación de los CF más alta fue de 3.70 mg EAG/min en la SRC y 2.16 mg EAG/min en la SVC. Los resultados sugieren una rápida liberación de los CF en ambas salsas rojas, sin embargo, esto no afecta la liberación final de los CF. Evaluar la BA de los CF de diferentes alimentos permite conocer cuántos y cuáles son los CF que potencialmente pueden estar biodisponibles en el organismo.

Palabras Clave: salsas mexicanas, bioaccesibilidad, cinética de liberación, compuestos fenólicos, modelo de digestión *in vitro*.

Bioaccessibility and *in vitro* kinetics release of phenolic compounds in some Mexican cuisine sauces

ABSTRACT

The sauces in Mexican cuisine are considered as a fundamental complement for all dishes. In this work, four types of Mexican sauces (SM) were prepared: raw red sauce (SRCr), cooked red sauce (SRC), raw green sauce (SVCr), and cooked green sauce (SVC). The bioaccessibility percentage (% BA) and release rate of the phenolic compounds (CF) present in the SM was evaluated. CF released from the SM were identified and quantified by HPLC-MS in different stages of an *in vitro* digestion model. The % BA was ranged from 50% for the SRCr up to 62% for the SRC, similar values were obtained for SVC and SVCr. In the intestinal fraction, compounds such as, catechin and galocatequin gallate were identified in the four types of SM. The highest PC release rate was 3.70 mg GAE/min in the SRC and 2.16 mg GAE/min in the SVC. These results suggest a rapid release of the CF in both red sauces, however, this does not affect the final CF release. Evaluation % BA of CF from different foods allows us to know how many and which are the PC that can be potentially bioavailable in the body.

Key words: mexican sauces, bioaccessibility, release kinetics, phenolic compounds, *in vitro* digestion model.

INTRODUCCIÓN

Las salsas mexicanas (SM) forman parte de la gastronomía de la cultura mexicana por su sabor y por ser utilizadas para condimentar los platillos (Rivas, 1991). Hoy en día, las SM son reconocidas mundialmente, ya que forman parte importante de la cocina mexicana, aceptada en 2010 en la lista representativa del patrimonio cultural e inmaterial de la humanidad (Gálvez & Salinas, 2015). Existe una gran variedad y formas de preparar las salsas, y sus variedades, algunos ejemplos son la SM roja, SM verde, SM de chile de árbol, SM de chile chipotle, entre muchas más (Holtz & Escalante, 2012).

Los principales ingredientes que se utilizan para preparar las SM son jitomate (*Lycopersicum esculentum*), tomate (*Physalis ixocarpa*), cilantro (*Coriandrum sativum*), cebolla (*Allium cepa*), ajo (*Allium sativum*) y chile (*Capsicum annuum*). Estos ingredientes son fuente de compuestos fenólicos (CF). Los CF que se han identificado en estos ingredientes son ácidos fenólicos, flavonoides y capsaicinoides (Liguori *et al.*, 2017; Nagella, Thiruvengadam, Ahmad, Yoon & Chung, 2014; Elbadrawy & Sello, 2016; Oganesyan, Nersesyan & Parkhomenko, 2007). Los CF son metabolitos secundarios que se encuentran en la mayoría de las frutas y vegetales, los cuales intervienen en funciones de protección (Manach, Scalbert, Morand, Rémésy & Jiménez, 2004). Dentro de sus beneficios se encuentran sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias, hepatoprotectoras, quimiopreventivas, vasodilatadoras entre otras (Nagella *et al.*, 2014). Sin embargo, estos beneficios dependen de lo disponible o bioaccesibles que estos compuestos se encuentren al momento de ser digeridos para ser absorbidos (Bohn, 2014). La bioaccesibilidad (BA) se refiere a la liberación de los CF dentro de la matriz alimentaria por acción de las enzimas digestivas y que permite que se encuentren disponibles para una posterior absorción gastrointestinal (Saura-Calixto, Serrano & Goñi, 2007). De tal manera, que la BA depende de la matriz de los alimentos, las uniones de las macromoléculas y de las condiciones fisiológicas de las personas (Sensoy,

2014). La fibra dietética (FD) se conforma de polímeros de carbohidratos no amiláceos que tienen funciones estructurales en las plantas y forma parte importante de la mayoría de los alimentos. La FD presenta interacciones con los CF mediante enlaces no covalentes como fuerzas electrostáticas, enlaces puente hidrógeno y fuerzas de Van der Waals (Quirós-Sauceda *et al.*, 2014). Por ello, más allá de conocer la cantidad de los CF que pueden estar presentes en un alimento, hoy en día existe el interés por conocer cuáles y cuántos de estos compuestos pueden encontrarse bioaccesibles. De ahí que el objetivo de este trabajo fue tanto evaluar la BA de los CF en salsas de la cocina mexicana, así como identificar la cinética de liberación de los CF en algunas SM.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la muestra

Se prepararon cuatro formulaciones de SM donde se utilizó jitomate, tomate, cebolla, ajo, cilantro y chile, que fueron adquiridos en un mercado local de Tepic, Nayarit, México. Los ingredientes fueron previamente lavados, desinfectados y divididos en cuatro grupos, dos de salsas rojas (SR); una de ellas cruda (SRCr) y otra cocinada (SRC) y, otros dos de salsas verdes (SV), una cruda (SVCr) y una cocinada (SVC). Para las salsas cocinadas (SRC y SVC), el jitomate y el tomate se sometieron a cocción (100 °C, 5 min) y posteriormente se adicionaron el resto de los ingredientes para ser homogenizados en conjunto en una licuadora (40s) sin la adición de agua. Así mismo, en las salsas SRCr y SVCr los ingredientes solamente fueron finamente picados y mezclados con una pala de madera. Para la preparación de las SM se siguieron las recetas culinarias de Escobedo-Avellaneda, Pérez-Pérez, Bárcenas-Pozos, Guerrero-Beltrán & Welti-Chanes (2013) donde se utilizaron las cantidades que se presentan en la Tabla I. Finalmente, las cuatro formulaciones fueron congeladas (-80 °C) para ser liofilizadas (0.035 MBA, -57 °C, LABCONCO, Freezone, EE.UU.), homogenizadas (Nutribullet, NBR-0804B, EE.UU.), tamizadas (0.5 µm) y almacenadas en recipientes herméticos a -20 °C hasta su análisis.

Tabla I. Formulaciones de las salsas mexicanas (SM) (g/100g bh).¹

Ingredientes	Salsa roja cocinada (SRC)	Salsa roja cruda (SRCr)	Salsa verde cocinada (SVC)	Salsa verde cruda (SVCr)
Cilantro	3.39	3.39	3.06	3.06
Cebolla 'Blanca'	14.37	14.37	19.97	19.97
Tomate	n.a	n.a	79.52	79.52
Jitomate 'Saladette'	77.33	77.33	n.a	n.a
Ajo 'Blanco'	0.39	0.39	0.35	0.35
Chile 'Serrano'	3.54	3.54	3.19	3.19
Sal	0.98	0.98	0.88	0.88

¹Valores son la media ± error estándar (n = 3). Letras diferentes en cada columna muestran diferencia estadística (p < 0.05).

Evaluación de la bioaccesibilidad (%BA) de compuestos fenólicos (CF) de las SM en un modelo de digestión *in vitro*

Las SM liofilizadas se sometieron a un modelo de digestión *in vitro* siguiendo la metodología propuesta por Blancas-Benítez, Pérez-Jiménez, Montalvo-González, González-Aguilar & Sáyago-Ayerdi (2018). Las muestras se mezclaron con α -amilasa salival (A0521, Sigma Aldrich) a 37 °C durante 2 min. Luego, se adicionó pepsina (300 mg/mL, pH 1.5, P-7000, Sigma Aldrich) a 37 °C por 1h; considerándolos como los CF presentes en la fracción gástrica (FG). Posteriormente, se llevó a cabo la digestión intestinal donde se adicionó pancreatina de páncreas porcino (5 mg/mL, pH 6.9, P-1750, Sigma Aldrich) durante 6 h y α -amilasa de páncreas porcino (120 mg/mL, pH 6.9, A-6255, Sigma Aldrich) durante 16 h a 37 °C, posterior a ese tiempo se evaluaron los CF presentes en la fracción intestinal (FInt). Después de las hidrólisis, las muestras se centrifugaron para obtener la fracción indigestible soluble (FIS, en el sobrenadante) e insolubles (FII, en el precipitado). El sobrenadante se dializó (D9652, 12-14 KDa, Sigma Aldrich) durante 48 h para simular el transporte pasivo del intestino. Posterior a la dialización, se determinaron los CF asociados a la FIS, que fueron los que no pasaron a través de la membrana de diáisis. El precipitado se utilizó para determinar los CF asociados a la FII. Los CF de cada una de las etapas de la digestión se sometieron a una extracción de acuerdo a la metodología propuesta por Pérez-Jiménez *et al.* (2008) y posteriormente se cuantificaron los fenoles solubles totales (FST) como se describe en uno de los párrafos anteriores. A partir de los datos obtenidos, se determinó el porcentaje de BA (%BA) usando la Ecuación (1):

$$\%BA = \frac{(CF\ FInt) - (CF\ FIS)}{(CF\ FInt) + (CF\ FII)} \times 100 \quad (1)$$

Donde: CF FInt= los CF liberados en la fracción intestinal; CF FIS= los CF asociados con la fracción indigestible soluble y CF FII= los compuestos asociados a la fracción indigestible insoluble.

Evaluación de la cinética de liberación *in vitro* de los CF en las SM

Para evaluar la cinética de liberación de los CF se siguió la siguiente metodología (Mercado-Mercado, Montalvo-González, González-Aguilar, Álvarez-Parrilla & Sáyago-Ayerdi, 2018); las muestras liofilizadas de las SM (300 mg c/u) se mezclaron con 30 μ L de la enzima α -amilasa salival (A0521, Sigma Aldrich) en 270 μ L de tampón de fosfato (0.05 M, pH 6.9), se incubó 2 min a 37 °C. Posteriormente, esto se llevó a 37 °C durante 1 h con 10 mL de tampón de HCl-KCl (0.05 M, pH 1.5) y 0.2 mL de solución de pepsina (300 mg/mL, P-7000, \geq 250 unidades/mg, Sigma Aldrich). Después, se ajustó el pH a 6.9 y las muestras se transfirieron a bolsas de diáisis de celulosa (D9652, 12-14 KDa, Sigma Aldrich). Se añadió 1 mL de α -amilasa pancreática (120 mg/mL, A-6255,

Sigma) y se ajustó el volumen a 30 mL. Las membranas se colocaron en un recipiente de vidrio con 200 mL de tampón de fosfato (0.05 M, pH 6.9) a 37 °C. Las muestras se incubaron durante 3 h con agitación continua. A intervalos de 30 min, se tomaron alícuotas de 1 mL del dializado a los que se les cuantificó los fenoles solubles totales (FST) y se identificaron los CF liberados por medio de HPLC-DAD-MS. Los parámetros cinéticos de la liberación de los CF durante la digestión *in vitro*, fueron determinados con la Ecuación (2):

$$V_f = \sum \frac{\Delta C}{\Delta T} \quad (2)$$

Donde: ΔC = es la diferencia de la concentración del CF inicial y la concentración del CF final, ΔT = es la diferencia de tiempo específico con el tiempo inicial, V_f = es la tasa final de liberación de los CF durante la cinética de liberación (mg EAG/min).

Cuantificación de los fenoles solubles totales (FST) de las SM

El contenido de FST de los extractos de las fracciones digeridas y la cinética de liberación de los CF fue determinada por el método descrito por Montreau (1972), con ligeras modificaciones (Álvarez-Parrilla, de la Rosa, Amarowicz & Shaidi, 2010). La reacción se midió en un lector de microplacas de 96 pocillos (Bio-Tek®, Synergy HT, Winooski, VT, EE. UU.) a una longitud de onda de 750 nm, utilizando el software Gen5. El ácido gálico se utilizó como estándar (0.0125-0.2 mg/ml, $R^2 \geq 0.9997$) y los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico (g EAG / 100 g bs).

Identificación de compuestos fenólicos (CF) por HPLC-DAD-MS de SM

La identificación de los CF se llevó a cabo por el método propuesto por Blancas-Benítez, Montalvo-González, González-Aguilar & Sáyago-Ayerdi (2019). Se utilizó un sistema HPLC Agilent Serie 1260 (Agilent Technologies, Santa Clara, CA., EE. UU.), equipado con un detector de matriz de diodos UV-Vis (DAD). Las muestras (SVC, SVCr, SRC y SRCr) se inyectaron (10 μ L, velocidad de flujo 0.4 mL/min) en una columna Poroshell 120 EC-C18 (4.6 mm x 150 mm, tamaño de partícula 2.7 μ m, Agilent Technologies). Los eluentes para la identificación de CF fueron ácido fórmico (0.1% v/v, eluente A) y acetonitrilo (100%, eluente B). La separación de los picos de los CF se realizó de la siguiente manera: 0 min, 5% de B; 10 min, 23% de B; 15 min, 50% de B; 20 min, 50% de B; 23 min, 100% de B; 25 min, 100% de B; 27 min, 5% de B y 30 min, 5% de B. La detección se realizó a 280-320 nm. Para el análisis de detección en el espectrofotómetro de masas (MS). Se utilizó un CL/MS cuadrupolo Agilent 6120 equipado con una interfaz de ionización por electropulverización en modo de ionización negativa con las siguientes condiciones: flujo de gas de secado (N2), 13.0 l/min; presión del nebulizador, 40 psi; temperatura

de secado del gas, 350 °C; y voltaje capilar, 3,500 V. El análisis de los datos se realizó usando el software OpenLab CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies, Santa Clara, CA., EE. UU.).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa STATISTICA, versión 10. Las diferencias en las variables de respuesta se evaluaron mediante un análisis de varianza con un $\alpha = 0.05$, seguida de una prueba de Fisher LSD para comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Digestión *in vitro* y %BA de los CF en SM

En la Tabla II se muestran los resultados de la BA *in vitro* de los CF en las SM. En esta Tabla se observa que los CF liberados durante la FG no presentaron diferencias estadísticas entre las distintas SM ($p < 0.05$). Dentro de los factores que afectan la liberación de los CF de la matriz del alimento se encuentran, la distribución y tamaño de la partícula, la morfología de la muestra y la estabilidad durante el almacenamiento (Zhong *et al.*, 2019). Además, los cambios de temperatura durante la cocción pueden modificar las paredes celulares de los vegetales, lo que facilita la liberación de los CF (Mercado-Mercado *et al.*, 2015). Así mismo, los movimientos peristálticos, el pH ácido y la acción de la pepsina son factores que favorecen la liberación de los CF (Bohn, 2014). Estudios previos en manzanas han reportado datos de 0.86 g EAG/100gbs de CF en la fase gástrica. En las SM esta liberación fue mayor con valores de hasta 1.50 g EAG/100g bs en la FG (Tabla II). Esta rápida liberación de los CF en el estómago puede maximizar el potencial de absorción en el duodeno y aportar un beneficio a la salud (Bouayed, Hoffmann & Bohn, 2011). Además, la α -amilasa salival puede favorecer la liberación de los CF (Fernández-García, Carvajal-Lérida & Pérez-Gálvez, 2009).

Por otro lado, en la FInt se observaron diferencias significativas entre las SVCr y SRCr, sin embargo, las SVC y las SRC no presentaron diferencia entre sí (Tabla II). El contenido de FST en la FInt aumentó con respecto a la FG, esto se debe a la acción enzimática de la pancreatina y α -amilasa, las cuales actúan conjuntamente en la hidrólisis de los constituyentes en la matriz alimentaria (Bohn, 2014; Blancas-Benítez *et al.*, 2019). En ese sentido, la SRCr presentó una menor liberación de CF en comparación con la SVCr, esto puede deberse a que la pared celular del jitomate crudo no permite que los CF sean liberados fácilmente y es muy diferente a si está cocinado (Georgé *et al.*, 2011). De tal manera, que algunos CF se liberan más rápido en forma de agliconas que aquellos que están glucosilados y éstos pueden absorberse mejor en el intestino delgado por difusión pasiva y transporte facilitado (Bouayed, Deuber, Hoffmann & Bohn, 2012). La FIS y la FII fueron analizadas para la cuantificación e identificación de los CF asociados a estas fracciones. En las cuatro SM el contenido de los CF asociados a las FIS y FII fue menor que los CF liberados en la FG y la FInt (Tabla II). En la FII se observó un valor más alto que en la FIS, donde la SVC obtuvo mayor contenido 0.65 g EAG/100g bs (Tabla II). Cabe resaltar que las interacciones entre los CF con los componentes de la pared celular de la planta (celulosa, hemicelulosa, pectinas) desempeñan un papel importante en el control de la liberación de los CF en el tracto gastrointestinal (Phan *et al.*, 2015). Los CF que se encuentran en ambas fracciones indigestibles (FIS y FII) se relacionan a los compuestos asociados a la matriz del alimento como son la FD, proteínas y minerales, los cuales, pueden llegar al colon y ser utilizados como sustrato de la microbiota (Bohn, 2014).

Porcentaje de bioaccesibilidad (%BA) de los CF en SM

El %BA de los CF en las SM fue del 50 a 62% (Tabla II). Se han reportado para ingredientes aislados como el chile italiano un %BA entre 50-80% (Juáñiz *et al.*, 2016) y entre 70% a 80%

Tabla II. Contenido de fenoles solubles totales (FST) en las fracciones de la digestión *in vitro* y porcentaje de bioaccesibilidad (%BA) de CF en la salsa roja cocinada (SRC), salsa roja cruda (SRCr), salsa verde cocinada (SVC) y salsa verde cruda (SVCr).¹

FST (g EAG/100 g bs)	SRC	SRCr	SVC	SVCr
CF Bioaccesibles				
Fracción gástrica (FG)	1.41 ± 0.12 ^a	1.47 ± 0.03 ^a	1.50 ± 0.35 ^a	1.43 ± 0.16 ^a
Fracción intestinal (FInt)	1.92 ± 0.85 ^b	1.59 ± 0.30 ^c	1.89 ± 0.44 ^b	2.04 ± 0.52 ^a
CF No bioaccesibles				
Fracción indigestible soluble (FIS)	0.41 ± 0.25 ^a	0.47 ± 0.23 ^a	0.41 ± 0.09 ^a	0.46 ± 0.05 ^a
Fracción indigestible insoluble (FII)	0.49 ± 0.86 ^c	0.62 ± 0.92 ^b	0.65 ± 0.68 ^a	0.51 ± 0.84 ^c
CF Bioaccesibles (%BA) ²	62.24 ^a	50.20 ^c	57.82 ^b	61.43 ^a

¹Los valores representan la media ± error estándar (n = 3). Diferentes letras minúsculas en la misma fila indican una diferencia significativa entre los 4 tipos de salsas ($p < 0.05$).

²%Bioaccesibilidad = $\frac{(CF_{Int} - CFFIS)}{(CF_{Int} + CFFII)} \times 100$

Donde, CFInt; CF en la fracción intestinal, CF-FIS, CF en la fracción indigestible soluble, CF-FII, CF en la fracción indigestible insoluble.

en jitomate (Kamiloglu *et al.*, 2014). Al parecer el combinar los ingredientes entre sí, tuvo un efecto de disminución de este %BA. Para el caso de la SRC el cocinado promovió una mayor liberación de CF; por el contrario, en la SVC el cocinado promovió un menor %BA. El efecto del proceso de cocción del jitomate es un factor en la liberación de los CF, debido a que el procesamiento térmico altera las membranas y las paredes celulares, como se ha reportado en estudios con jitomates (Georgé *et al.*, 2011). Kamiloglu, Boyacioglu & Capanoglu (2013) reportaron un aumento de CF como el ácido clorogénico y la naringenina en jitomates cuando se sometieron a una cocción. En ese sentido, en estudios previos se han identificado más compuestos en jitomate que en tomate de cáscara, destacando el ácido gálico y vanílico, rutina y quer cetina respectivamente. Además, los resultados para la SVC podrían atribuirse a la presencia de galocatequín galato. Estudios recientes han reportado que algunos CF liberados durante el proceso de digestión, pueden inhibir la actividad de la α -amilasa, lo que impide la hidrólisis de otros enlaces glucosídicos que mantienen los CF, lo que reduce como consecuencia el %BA (Wu *et al.*, 2018).

Identificación de los compuestos fenólicos liberados en cada etapa de la digestión *in vitro* de las SM

En el Tabla III se muestran los CF identificados en cada fase de la digestión *in vitro* de las SM. Se encontraron

ciertas diferencias entre las etapas de la digestión. En la FG se identificaron ácido clorogénico y ácido gálico, sin embargo, durante la FInt ya no fueron identificados. Esto puede deberse a los cambios estructurales que presentan los CF por los cambios de pH en cada fase de la digestión (pH ácido en FG y pH alcalino en la FInt) y los procesos enzimáticos durante el proceso de digestión. Se ha reportado una absorción del ácido gálico y ácido clorogénico en el tracto gastrointestinal dentro de la primera y segunda hora después de su ingesta (Lafay & Gil-Izquierdo, 2008). Farrell, Dew, Poquet, Hanson & Williamson (2011), reportaron una propuesta de biotransformación del ácido clorogénico mediante una esterasa gástrica probablemente presente en la membrana apical, liberando así ácidos hidroxicinámicos, los cuales se difunden pasivamente a través de la superficie celular. Por otro lado, en la FInt se identificaron CF que no se identificaron en la FG (Tabla III), por lo tanto la acción de las enzimas intestinales podrían ser responsables de esta liberación (Blancas-Benítez *et al.* 2018). Sin embargo, el ácido vanílico y sináptico fueron los únicos que se identificaron en la fracción no bioaccesible. La presencia de catequina, galocatequina y el ácido sináptico en la FInt se reportaron en estudios previos en cilantro y cebolla, los cuales pueden ser la fuente de estos CF (Oganesyan *et al.*, 2007, Simin *et al.*, 2013, Liguori *et al.*, 2017). El ácido *p*-hidroxibenzoico, la galocatequín galato y el ácido

Tabla III. Compuestos fenólicos (CF) liberados en cada etapa de la digestión *in vitro* en la salsa roja cocinada (SRC), salsa roja cruda (SRCr), en la salsa verde cocinada (SVC) y en la salsa verde cruda (SVCr).¹

Etapa de la digestión	CF	m/z (-)	MS Área			
			SRC	SRCr	SVC	SVCr
Fracción gástrica	Ácido Gálico	169	1601.55 \pm 119.6 ^a	709.55 \pm 111.36 ^b	1819.95 \pm 214.04 ^a	550.5 \pm 19.37 ^b
	Ácido Clorogénico	353	2963.5 \pm 228.09 ^b	23082.0 \pm 3891.1 ^a	1961.8 \pm 510.53 ^c	2638.45 \pm 519.3 ^b
	Catequina	289	44954 \pm 404.60 ^b	67089 \pm 3584.46 ^a	45218.6 \pm 2840.7 ^b	39608.8 \pm 2182.3 ^c
	Galocatequina	305	12149.15 \pm 202.5 ^d	14502.05 \pm 142.3 ^c	26380.7 \pm 587.04 ^a	19907.9 \pm 1020.2 ^b
	Galocatequina Galato	457	n.d. ^b	n.d. ^b	5816.5 \pm 79.19 ^a	n.d. ^b
Fracción intestinal	Ácido <i>p</i> -Hidroxibenzoico	137	n.d. ^b	n.d. ^b	3711.78 \pm 78.04 ^a	n.d. ^b
	Catequina	289	48420.2 \pm 8204.3 ^a	42562.3 \pm 5251.3 ^a	22078.5 \pm 678.18 ^b	19771.95 \pm 3.18 ^b
	Galocatequina	305	10806.4 \pm 737.22 ^a	8218.1 \pm 623.66 ^b	4516.2 \pm 888.26 ^c	7564.85 \pm 619.49 ^b
	Galocatequín Galato	457	n.d. ^b	n.d. ^b	5857.45 \pm 468.31 ^a	n.d. ^b
	Ácido Protocatéquico	153	n.d. ^b	n.d. ^b	24972.6 \pm 1245.35 ^a	n.d. ^b
	Ácido Vanílico	167	n.d. ^b	n.d. ^b	202350.9 \pm 3624.0 ^a	21087 \pm 3135.45 ^a
	Ácido Sináptico	223	4123.1 \pm 375.61 ^b	5845.25 \pm 129.89 ^a	4456.2 \pm 17.25 ^b	639.2 \pm 64.06 ^c
Fracción no bioaccesible	Ácido Vanílico	167	8724.95 \pm 12.79 ^b	7846.08 \pm 59.55 ^c	11336.7 \pm 444.20 ^a	2674.5 \pm 400.29 ^d
	Ácido Sináptico	223	6127.1 \pm 870.58 ^b	9857.2 \pm 582.09 ^a	4357.4 \pm 506.71 ^c	9088.95 \pm 35.85 ^a

protocatéquico sólo se identificaron en la SVC (Tabla III). Aunque existen pocos estudios sobre el perfil de los CF presentes en el tomate verde, estos compuestos ya habían sido reportados para este fruto (Berni, Romi, Parrotta, Cai & Cantini, 2018; Raffo *et al.*, 2002), donde aparentemente el cocinado pudo promover la liberación de los CF.

Por otro lado, la mezcla de los ingredientes que conforman las SM influye en el contenido de los FST, en el %BA y, en el perfil de los mismos compuestos, ya que pueden formar matrices complejas entre los CF y otros componentes (fibra dietética, alcaloides, carotenoides), (Liu, 2007; Tomas *et al.*, 2018). De tal manera, cuando el jitomate y el tomate son sometidos a cocción, algunos CF quedan parcialmente liberados. Notablemente, en nuestro estudio el %BA aumentó en la SRC (Tabla II) y el perfil de los CF identificados fue similar (Tabla III), esto puede atribuirse a que los CF se encuentran en la parte interna del jitomate y al ser cocinado se liberan de las interacciones con los alcaloides (α -tomatina), flavonoides (rutina, naringenina, chalcona) y carotenoides (licopeno, α -caroteno), (Tomas *et al.*, 2018). En cambio, el contenido de FST y el %BA disminuyeron (Tabla II), pero el perfil de los CF aumentó en la SVC (Tabla III). Estos fenómenos pueden deberse a: a) los CF presentes en la cáscara se degradan u oxidan durante el proceso de cocción y por la fuerza mecánica al ser licuados (Rodríguez-Arredondo, Maldonado-Garfias, Sosa-Morales & Cerón-García, 2018), b) por el alto contenido de fibra dietética soluble e insoluble (Ostrzycka, Horowicz, Dobrzanski, Jankiewicz & Bokkowski, 1988), los CF están unidos por enlaces que hacen que se mantengan protegidos p.e. fibra dietética y, c) estos compuestos son mayormente liberados por la acción enzimática (Tabla III).

Cinética de liberación de los CF en las SM

En el estudio de BA se demostró que existe una cantidad importante de CF liberados de la matriz del alimento, por lo que surgió el interés de analizar la cinética de liberación de los CF de las SM. Los resultados de la determinación del contenido de FST durante la cinética de liberación de los CF se muestran en la Figura 1, donde se obtuvieron velocidades medias de liberación de hasta 3.70 mg de CF/min. El contenido de FST se incrementó con respecto al tiempo, para las SRCr y las SRC la liberación de los CF fue hasta 110 mg EAG/g bs en 180 minutos y 80 mg EAG/gbs para las SVCr y SVC en el mismo tiempo, en ese sentido las enzimas podrían estar liberando paulatinamente los CF de las SM, lo que indica que los CF podrían encontrarse potencialmente disponibles para ejercer un efecto benéfico para la salud (Tagliazucchi, Verzelloni, Bertolini & Conte, 2010). Las SRC y SRCr mostraron una velocidad de liberación mayor que las SVC y SVCr (Figura 1), por lo tanto, la matriz del alimento más que el proceso de cocción, influyó en la velocidad de

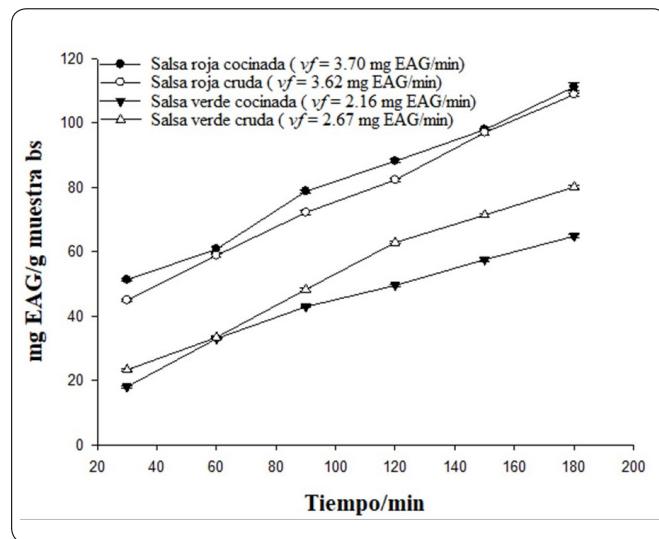


Figura 1. Cinética de liberación *in vitro* de los fenoles solubles totales liberados en la salsa roja cocinada (SRC), salsa roja cruda (SRCr), en la salsa verde cocinada (SVC) y en la salsa verde cruda (SVCr).

liberación de estos compuestos. En la Tabla IV se muestra la identificación de los CF durante los 180 min de la cinética de liberación. Algunos CF se liberan más rápido que otros como la galocatequina, el ácido *p*-hidroxibenzoico y el ácido sináptico. Estos tres CF coinciden con los identificados durante la digestión gastrointestinal en la BA *in vitro* (Tabla III). Además, las áreas relativas obtenidas de algunos CF van disminuyendo con respecto al tiempo y otros van aumentando con respecto al mismo. Durante los 180 min del estudio de liberación se identificaron tres compuestos para las SVC y SVCr, y cinco compuestos para las SRC y SRCr (Tabla IV).

CONCLUSIONES

La matriz completa del ingrediente mayoritario de las salsas (jitomate o tomate) influyó en el %BA y perfil de los CF identificados durante la digestión gastrointestinal en las SM estudiadas. Las SRC y SVCr presentaron mayor porcentaje de bioaccesibilidad, con 62.24% y 61.43%, respectivamente. Catequina, galocatequina y el ácido sináptico fueron los principales CF que se identificaron en los 4 tipos de SM. Las SM pueden promover un efecto benéfico en la salud por el contenido de los CF procedentes de la combinación de los ingredientes que se usan en la elaboración de las mismas. Sin embargo, es necesario realizar estudios adicionales para evaluar la biodisponibilidad de estos compuestos o sus metabolitos en el organismo.

AGRADECIMIENTOS

Guadalupe del Carmen Perales Vázquez agradece el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México (CONACYT) por la beca otorgada 826985.

Tabla IV. Identificación de los compuestos fenólicos (CF) en la cinética de liberación en la salsa roja cocinada (SRC), salsa roja cruda (SRCr), en la salsa verde cocinada (SVC) y en la salsa verde cruda (SVCr).¹

Tiempo (min)	CF	MS Área				m/z(-)	Fórmula molecular
		SRC	SRCr	SVC	SVCr		
30	Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico	640.8±35.35 ^{Aa}	701±43.41 ^{Aa}	2410.4±383.3 ^{Ba}	1807.5±482.3 ^{Ba}	137	C ₇ H ₆ O ₃
	Ácido sináptico	1710.4±62.08 ^{Ba}	2902.6±513.9 ^{Cb}	1528.85±49.2 ^{Ba}	1073.1±17.81 ^{Ab}	223	C ₁₁ H ₁₂ O ₅
	Ácido cafeico	2521.8±350.0 ^{Ba}	1367.75±92.9 ^{Eb}	n.d.	n.d.	179	C ₉ H ₈ O ₄
	Miricetina	n.d.	751.2±75.66 ^{Aa}	n.d.	n.d.	317	C ₁₅ H ₁₀ O ₈
	Gallocatequina	3486.48±369.7 ^{Aa}	2089.5±66.46 ^{Ab}	2494.4±553.8 ^{Aa}	3708.8±247.9 ^{Ab}	305	C ₁₅ H ₁₄ O ₇
60	Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico	1361.3±98.99 ^{Ca}	1134.9±6.22 ^{Ab}	1505.2±126.8 ^{Aa}	1174.5±226.5 ^{Ba}	137	C ₇ H ₆ O ₃
	Ácido sináptico	1169.9±134.5 ^{Aa}	1675.05±108.2 ^{Bb}	2399.2±269.4 ^{Ca}	2355.2±84.07 ^{Ca}	223	C ₁₁ H ₁₂ O ₅
	Ácido cafeico	1338.3±133.4 ^{Aa}	608.5±28.56 ^{Cb}	n.d.	n.d.	179	C ₉ H ₈ O ₄
	Miricetina	n.d.	575.1±4.66 ^{Aa}	n.d.	n.d.	317	C ₁₅ H ₁₀ O ₈
	Gallocatequina	6519.9±380.4 ^{Ba}	4407.25±655.2 ^{Bb}	3568.6±714.4 ^{Ba}	6152.3±168.0 ^{Bb}	305	C ₁₅ H ₁₄ O ₇
90	Ácido sináptico	1154.0±48.8 ^{Aa}	1872.9±233.48 ^{Bb}	1687.3±7.77 ^{Ba}	2348.9±258.8 ^{Ca}	223	C ₁₁ H ₁₂ O ₅
	Ácido cafeico	2575.9±171.5 ^{Ba}	954±39.45 ^{Db}	n.d.	n.d.	179	C ₉ H ₈ O ₄
	Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico	1631.9±105.8 ^{Da}	2285.75±390.3 ^{Db}	1590±410.2 ^{Aa}	n.d.	137	C ₇ H ₆ O ₃
	Miricetina	n.d.	384.8±1.55 ^{Aa}	n.d.	n.d.	317	C ₁₅ H ₁₀ O ₈
	Gallocatequina	3733.3±282.5 ^{Aa}	6657.3±143.68 ^{Cb}	6310±624.7 ^{Da}	8013.9±1055.1 ^{Cb}	305	C ₁₅ H ₁₄ O ₇
120	Ácido sináptico	1809.8±181.9 ^{Ba}	1657.1±293.1 ^{Bb}	2736.6±179.6 ^{Ea}	2241.8±33.09 ^{Ca}	223	C ₁₁ H ₁₂ O ₅
	Ácido cafeico	1216.9±126.7 ^{Aa}	174.45±0.77 ^{Ab}	n.d.	n.d.	179	C ₉ H ₈ O ₄
	Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico	1039.45±5.58 ^a	2945.5±4.66 ^{Eb}	1085.05±27.9 ^{Aa}	n.d.	137	C ₇ H ₆ O ₃
	Miricetina	169.5±7.77 ^{Aa}	390.9±48.79 ^{Ab}	n.d.	n.d.	317	C ₁₅ H ₁₀ O ₈
	Gallocatequina	6602.7±344.7 ^{Ba}	8201.7±151.7 ^{Db}	9415.9±601.8 ^{Ea}	8104.1±1057.6 ^{Ca}	305	C ₁₅ H ₁₄ O ₇
150	Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico	1016.85±4.59 ^{Ba}	1593.65±214.1 ^{Ca}	1251.2±350.0 ^{Aa}	n.d. ^{Ab}	137	C ₇ H ₆ O ₃
	Ácido sináptico	2053.9±214.2 ^{Ba}	2008±57.98 ^{Ba}	2652.65±24.9 ^{Da}	3411.5±177.3 ^{Db}	223	C ₁₁ H ₁₂ O ₅
	Ácido cafeico	1371.55±143.0 ^{Aa}	389.3±7.77 ^{Bb}	n.d.	n.d.	179	C ₉ H ₈ O ₄
	Miricetina	457.65±93.55 ^{Ba}	679.55±82.80 ^{Bb}	n.d.	n.d.	317	C ₁₅ H ₁₀ O ₈
	Gallocatequina	8310.85±490.8 ^{Ca}	9228.8±193.46 ^{Da}	4544.4±555.2 ^{Ca}	12364.2±894.9 ^{Db}	305	C ₁₅ H ₁₄ O ₇
180	Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico	1888.7±156.5 ^{Ea}	3240.25±169.0 ^{Eb}	1358.2±192.3 ^{Aa}	1542.3±455.6 ^{Ba}	137	C ₇ H ₆ O ₃
	Ácido sináptico	1737.35±126.7 ^{Ba}	1285.95±163.9 ^{Aa}	1127.95±66.9 ^{Aa}	1553.6±147.3 ^{Ba}	223	C ₁₁ H ₁₂ O ₅
	Ácido cafeico	1403.9±29.41 ^{Aa}	419.3±2.40 ^{Bb}	n.d.	n.d.	179	C ₉ H ₈ O ₄
	Miricetina	193.65±40.37 ^{Ca}	406.25±5.44 ^{Cb}	n.d.	n.d.	317	C ₁₅ H ₁₀ O ₈
	Gallocatequina	10401.8±323.8 ^{Da}	13208.4±957.6 ^{Eb}	8959.3±109.6 ^{Ea}	10607.5±515.3 ^{Db}	305	C ₁₅ H ₁₄ O ₇

¹Las letras mayúsculas diferentes indican una diferencia significativa entre los tiempos de cinética en cada muestra, las letras minúsculas diferentes en la misma fila indican una diferencia significativa entre las muestras en cada tiempo cinético (p < 0.05); n.d., no detectado.

REFERENCIAS

- Álvarez-Parrilla, E., de la Rosa, L. A., Amarowicz, R. & Shahidi, F. (2010). Antioxidant activity of fresh and processed Jalapeno and Serrano peppers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **59**(1), 163-173. <https://doi.org/10.1021/jf103434u>.
- Berni, R., Romi, M., Parrotta, L., Cai, G. & Cantini, C. (2018). Ancient tomato (*Solanum lycopersicum* L.) varieties of Tuscany have high contents of bioactive compounds. *Horticulturae*, **4**, 51. [10.3390/horticulturae4040051](https://doi.org/10.3390/horticulturae4040051).
- Blancas-Benítez, F. J., Pérez-Jiménez, J., Montalvo-González, E., González-Aguilar, G. A. & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2018). *In vitro* evaluation of the kinetics of the release of phenolic compounds from guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *Journal of Functional Foods*, **43**, 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.02.011>.
- Blancas-Benítez, F. J., Montalvo-González, E., González-Aguilar, G. A. & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2019). Bioaccesibilidad y cinética de liberación *in vitro* de compuestos fenólicos en pulpas de guayaba (*Psidium guajava* L.) y guanábana (*Annona muricata* L.). TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, **22**, 1-7. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.169>.
- Bohn, T. (2014). Dietary factors affecting polyphenol bioavailability. *Nutrition Reviews*, **72**(7), 429-452. <https://doi.org/10.1111/nure.12114>.
- Bouayed, J., Deußer, H., Hoffmann, L. & Bohn, T. (2012). Bioaccessible and dialysable polyphenols in selected apple varieties following *in vitro* digestion vs. their native patterns. *Food Chemistry*, **131**(4), 1466-1472. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.030>.
- Bouayed, J., Hoffmann, L. & Bohn, T. (2011). Total phenolic, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of apple varieties: Bioaccessibility and potential uptake. *Food Chemistry*, **128**(1), 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.052>.
- Elbadrawy, E. & Sello, A. (2016). Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. *Arabian Journal of Chemistry*, **9**, 1010-1018. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.11.011>.
- Escobedo-Avellaneda, Z., Pérez-Pérez, C., Bárcenas-Pozoz, M. E., Guerrero-Beltrán, J. A. & Welti-Chanes, J. (2011). Analysis of the drying process of Mexican hot salsa using the characteristic curve model. *Journal of Food Processing and Preservation*, **37**(5), 441-448. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00662.x>.
- Farrell, T. L., Dew, T. P., Poquet, L., Hanson, P. & Williamson, G. (2011). Absorption and metabolism of chlorogenic acids in cultured gastric epithelial monolayers. *Drug Metabolism and Disposition*, **39**(12), 2338-2346. <https://doi.org/10.1124/dmd.111.040147>.
- Fernández-García, E., Carvajal-Lérida, I. & Pérez-Gálvez, A. (2009). *In vitro* bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutrition Research*, **29**(11), 751-760. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2009.09.016>.
- Gálvez, A. & Salinas, G. (2015). El papel del frijol en la salud nutrimental de la población mexicana. *Revista Digital Universitaria*, **16**(2), 16.
- Georgé, S., Tourniaire, F., Gautier, H., Goupy, P., Rock, E. & Caris-Veyrat, C. (2011). Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes. *Food Chemistry*, **124**(4), 1603-1611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.024>.
- Holtz, D. & Escalante, A. (2012). La tacopedia: enciclopedia del taco. *Trilce*. Ciudad de México Pp.: 67-74. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6729>.
- Juániz, I., Ludwig, I. A., Bresciani, L., Dall'Asta, M., Mena, P., Del Rio, D. & de Peña, M. P. (2016). Catabolism of raw and cooked green pepper (*Capsicum annuum*) (poly) phenolic compounds after simulated gastrointestinal digestion and faecal fermentation. *Journal of Functional Foods*, **27**, 201-213. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.09.006>.
- Kamiloglu, S., Boyacioglu, D. & Capanoglu, E. (2013). The effect of food processing on bioavailability of tomato antioxidants. *Journal of Berry Research*, **3**(2), 65-77. <https://doi.org/10.3233/JBR-130051>.
- Kamiloglu, S., Demirci, M., Selen, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D. & Capanoglu, E. (2014). Home processing of tomatoes (*Solanum lycopersicum*): effects on *in vitro* bioaccessibility of total lycopene, phenolics, flavonoids, and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **94**(11), 2225-2233. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6546>.
- Lafay, S. & Gil-Izquierdo, A. (2008). Bioavailability of phenolic acids. *Phytochemistry Reviews*, **7**(2), 301. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9077-x>.
- Liguori, L., Califano, R., Albanese, D., Raimo, F., Crescitelli, A. & Di Matteo, M. (2017). Chemical Composition and Antioxidant Properties of Five White Onion (*Allium cepa* L.) Landraces. *Journal of Food Quality*, Vol. 2017, Article ID 6873651, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2017/6873651>.
- Liu, R.H. (2007). Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*, **46** (3), 207-219. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.010>.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C. & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*, **79**(5), 727-747. [10.1093/ajcn/79.5.727](https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727).
- Mercado- Mercado, G., Blancas- Benítez, F. J., Valderrain-Rodríguez, G. R., Montalvo-González, E., González-Aguilar, G. A., Álvarez-Parrilla, E. & Sayago-Ayerdi, S. G. (2015). Bioaccessibility of polyphenols released and associated to dietary fiber in calyces and decoction

- residues of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Functional Foods*, **18**, 171-181. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.07.001>.
- Mercado-Mercado, G., Montalvo-González, E., González-Aguilar, G.A., Álvarez-Parrilla, E. & Sáyago-Ayerdi, S.G. (2018). Ultrasound-assisted extraction of carotenoids from mango (*Mangifera indica* L. 'Ataulfo') by-products on *in vitro* bioaccessibility. *Food Bioscience*, **21**, 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.12.012>.
- Montreau, F. (1972). Sur le dosage des composés phénoliques stéaux dans les vins par la méthode Folin-Ciocalteu. *Connais Vigne*, **24**, 397-404. <https://doi.org/10.20870/eno-one.1972.6.4.2071>.
- Nagella, P., Thiruvengadam, M., Ahmad, A., Yoon, J. Y. & Chung, I. M. (2014). Composition of Polyphenols and Antioxidant Activity of Garlic Bulbs Collected from Different Locations of Korea. *Asian Journal of Chemistry*, **26(3)**, 897.
- Oganesyan, E. T., Nersesyan, Z. M. & Parkhomenko, A. Y. (2007). Chemical composition of the above-ground part of *Coriandrum sativum*. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, **41(3)**, 149-153.
- Ostrzycza, J., Horowicz, M., Dobrzanski, W., Jankiewicz, L.S. & Bokkowski, J. (1988). Nutritive value of tomatillo fruit (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, **57(4)**, 507-521. <https://doi.org/10.5586/asbp.1988.049>.
- Pérez-Jiménez, J., Arranz, S., Tabernero, M., Díaz-Rubio, M. E., Serrano, J., Goñi, I. & Saura-Calixto, F. (2008). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food Research International*, **41(3)**, 274-285. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.12.004>.
- Phan, A. D. T., Netzel, G., Wang, D., Flanagan, B. M., D'Arcy, B. R. & Gidley, M. J. (2015). Binding of dietary polyphenols to cellulose: Structural and nutritional aspects. *Food Chemistry*, **171**, 388-396. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.118>.
- Quirós-Sauceda, A. E., Palafox-Carlos, H., Sáyago-Ayerdi, S. G., Ayala-Zavala, J. F., Bello-Pérez, L. A., Álvarez-Parrilla, E. & González-Aguilar, G. A. (2014). Dietary fiber and phenolic compounds as functional ingredients: interaction and possible effect after ingestion. *Food & Function*, **5(6)**, 1063-1072. <https://doi.org/10.1039/c4fo00073k>.
- Raffo, A., Leonardi, C., Fogliano, V., Ambrosino, P., Salucci, M., Gennaro, L., Bugianesi, R., Giuffrida, F. & Quaglia, G. (2002). Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **50(22)**, 6550-6556. <http://dx.doi.org/10.1021/jf020315t>.
- Rivas-García, H. (1991). Cocina prehispánica mexicana: la comida de los antiguos mexicanos. Panorama Editorial. México. ISBN: 978-607-452-545-8. 168 p
- Rodríguez-Arredondo, A., Maldonado-Garfias, C., Sosa-Morales, Ma. E. & Cerón-García, A. (2018). Evaluación de compuestos bioactivos y propiedades fisicoquímicas de cáscaras de tomate verde (*Physalis spp.*) bajo diferentes condiciones de procesamiento. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, **3**, 205-209.
- Saura-Calixto, F., Serrano, J. & Goñi, I. (2007). Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet. *Food Chemistry*, **101(2)**, 492-501. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.006>.
- Sensoy, I. (2014). A review on the relationship between food structure, processing, and bioavailability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **54(7)**, 902-909. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.619016>.
- Simin, N., Orcic, D., Cetojevic-Simin, D., Mimica-Dukic, N., Anackov, G., Beara, I. & Bozin, B. (2013). Phenolic profile, antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic activities of small yellow onion (*Allium flavum* L. subsp. *flavum*, Alliaceae). *LWT-Food Science and Technology*, **54(1)**, 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.023>.
- Tagliazucchi, D., Verzelloni, E., Bertolini, D. & Conte, A. (2010). *In vitro* bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, **120(2)**, 599-606. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.030>.
- Tomas, M., Beekwilder, J., Hall, R. D., Simon, C.D., Sagdie, O. & Capanoglu, E. (2018). Effect of dietary fiber (inulin) addition on phenolic and *in vitro* bioaccessibility of tomato sauce. *Food Research International*, **106**, 129-135. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.050>.
- Wu, X., Ding, H., Hu, X., Pan, J., Liao, Y., Gong, D. & Zhang, G. (2018). Exploring inhibitory mechanism of gallicatechin gallate on α -amylase and α -glucosidase relevant to postprandial hyperglycemia. *Journal of Functional Foods*, **48**, 200-209. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.07.022>.
- Zhong, L., Yuan, Z., Rong, L., Zhang, Y., Xiong, G., Liu, Y. & Li, C. (2019). An optimized method for extraction and characterization of phenolic compounds in *Dendranthema indicum* var. *aromaticum* flower. *Scientific Reports*, **9**, 7745. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44102-9>.