



Universidad
Politécnica
de Cartagena



**Máster Universitario en
Técnicas Avanzadas en Investigación y
Desarrollo Agrario y Alimentario**

Optimización de tratamientos térmicos de sopas frías vegetales para preservar su calidad, bioactividad y composición fitoquímica

Alumna: Rosario López Barqueros

Directores: Dra. Paula M. Periago Bayonas

Dr. Amadeo Gironés Vilaplana

Cartagena, julio de 2015

ÍNDICE

1. Resumen	1
2. Abstract	2
3. Introducción	3
4. Material y métodos	9
4.1. Productos	9
4.1.1. Sopa fría de zanahoria, naranja y cilantro	9
4.1.2. Gazpacho	9
4.1.3. Sopa de tomate, menta y albahaca	10
4.2. Tratamiento térmico.....	10
4.3. Sólidos solubles totales (SST) y pH.....	12
4.4. Determinación de color	13
4.5. Identificación y cuantificación de compuestos fenólicos por HPLC	13
4.6. Determinación de la capacidad antioxidante	14
4.6.1. ABTS ⁺	14
4.6.2. DPPH [•]	16
4.6.3. FRAP	16
4.6.4. ORAC	17
4.7. Análisis estadístico	18
5. Resultados y discusión	19
5.1. Parámetros de calidad.....	19
5.2. Parámetros de color	20
5.3. Compuestos fenólicos	23
5.4. Capacidad antioxidante	30
6. Conclusiones	36
7. Referencias	37

1. Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de diferentes tratamientos térmicos (90°C, 90°C/15seg. y comercial) sobre la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, color, pH y sólidos solubles totales de tres productos diferentes: sopa de zanahoria, naranja y cilantro; gazpacho; y sopa de tomate, menta y albahaca. Los resultados mostraron que los tratamientos térmicos estudiados sí influyeron en los parámetros mencionados. El efecto de los tratamientos térmicos dependió de la temperatura y tiempo de los mismos, además de los productos sobre los que se aplicaron. La sopa de zanahoria, naranja y cilantro y la sopa de tomate, menta y albahaca mostraron valores más altos de capacidad antioxidante en las respectivas muestras comerciales. Sin embargo, las muestras de gazpacho tratadas a 90°C y 90°C/15seg. mantuvieron los niveles de capacidad antioxidante encontrados en la muestra de tanque (sin tratar). Los parámetros de color, pH y sólidos solubles totales no variaron en gran medida con los diferentes tratamientos térmicos aplicados.

2. Abstract

The aim of this work was to determine the effect of different heat treatments (90°, 90°C/15sec. and commercial treatment) on the antioxidant capacity, phenolic compounds, color, pH and total soluble solids of three different vegetal food products: carrot, orange and coriander soup; gazpacho; and tomato, mint and basil soup. The results showed that the mentioned parameters was influenced by the heat treatments studied in. The effect of heat treatments depended on the temperature and time of each one, and the different products which were applied. The carrot, orange and coriander soup and the tomato, mint and basil soup showed the highest antioxidant capacity values in their respective commercial samples. However, the gazpacho samples treated at 90°C and 90°C/15sec. kept the same antioxidant capacity levels that the tank sample (untreated). The color, pH and total soluble solids parameters remained practically without significant changes produced by the different heat treatments applied.

3. Introducción

Hoy en día los consumidores demandan productos de alta calidad, con aromas y sabores naturales, además de sanos y nutritivos (Elez-Martínez y Martín-Belloso, 2007). La aceptación de estos productos por el consumidor depende de que la calidad, bioactividad y las características sensoriales se mantengan a niveles aceptables durante toda la vida útil (Gironés-Vilaplana *et al.*, 2014). El tratamiento térmico es el método más común para aumentar la vida útil de productos de frutas y verduras, mediante la inactivación de microorganismos y enzimas. Sin embargo, el procesado térmico puede afectar negativamente a la calidad sensorial y nutricional de estos productos (Elez-Martínez y Martín-Belloso, 2007), pudiendo suponer la reducción de la capacidad antioxidante (Patras *et al.*, 2009).

Las frutas y verduras tienen un papel vital en la nutrición humana como fuentes de antioxidantes naturales (Motilva *et al.*, 2014). Se ha demostrado que el consumo de frutas y verduras se asocia con una reducción del riesgo de desarrollar enfermedades crónicas, como enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes y enfermedades neurodegenerativas (Elez-Martínez y Martín-Belloso, 2007), enfermedades con una alta incidencia en el mundo occidental. Varias enfermedades humanas están relacionadas o son debidas a las especies reactivas de oxígeno (ROS). Se ha sugerido que componentes antioxidantes, especialmente compuestos fenólicos, presentes en frutas y verduras, pueden disminuir el estrés oxidativo causado por ROS. Las acciones de los antioxidantes fenólicos incluyen la captación de radicales libres y la inhibición de la producción de especies reactivas derivadas del metabolismo normal de las células. De este modo, los antioxidantes pueden prevenir el daño a lípidos, proteínas y ácidos nucleicos y el consiguiente daño celular (Ćetković *et al.*, 2012); y consecuentemente, muchas de las enfermedades crónicas antes descritas.

Entre los polifenoles antioxidantes presentes en la dieta se encuentran los flavonoides (Figura 1). Son una familia de sustancias químicas de bajo peso molecular que incluyen flavonas, flavonoles, flavononas, isoflavonas, flavan-3-oles y antocianinas. Estos polifenoles tienen efectos beneficiosos en

enfermedades cardiovasculares y diferentes enfermedades crónicas. La rutina (vitamina P), es un importante componente fenólico debido a sus efectos antioxidantes, antiinflamatorios y anti-cancerígenos, además de su capacidad para reducir la fragilidad de los vasos sanguíneos. Además, los polifenoles pueden jugar un importante papel en el color y en propiedades organolépticas (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2012).

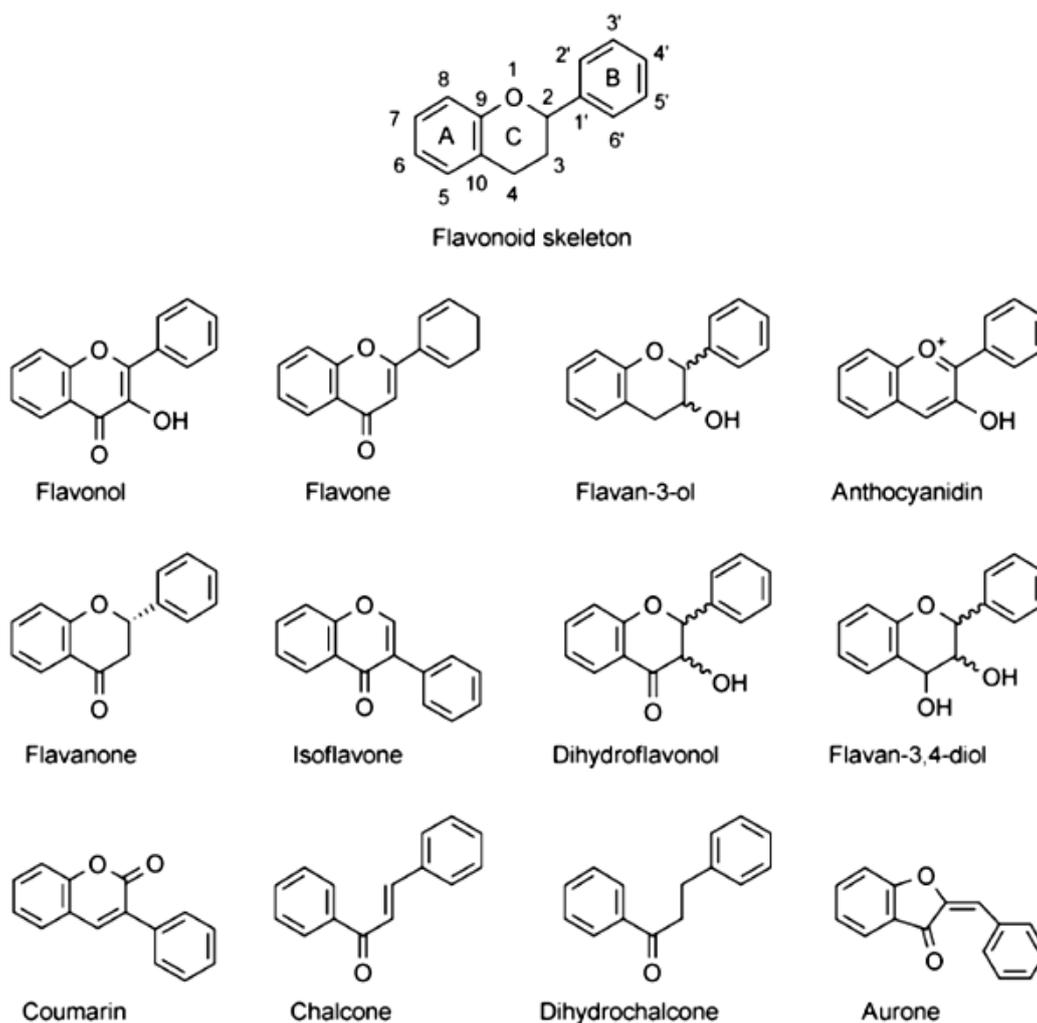


Figura 1. Estructura y tipo de flavonoides (Crozier *et al.*, 2009)

Otros de los compuestos fenólicos importantes son los ácidos fenólicos, entre los que destacan los ácidos hidroxicinámicos. Son compuestos derivados del ácido cinámico y están presentes en altas concentraciones en muchos

productos alimenticios, entre los cuales se encuentran frutas y verduras (El-Seedi *et al.*, 2012). Poseen importantes propiedades biológicas y su actividad antioxidante está determinada por las características estructurales de los mismos (Razzaghi-Asl *et al.*, 2013).

La dieta Mediterránea, rica en frutas y verduras, puede aportar los compuestos fenólicos que ayudan a prevenir las enfermedades ya comentadas. De todas las verduras, el tomate es, tanto cualitativa como cuantitativamente, un importante componente de la dieta Mediterránea (ya sea en crudo o en producto procesado como zumo o salsa). Una dieta rica en tomate puede proteger frente a enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer, como se ha demostrado en la bibliografía científica (Pérez-Conesa *et al.*, 2009). Esto es debido a que los tomates son bajos en grasas, calorías y colesterol, y ricos en vitamina A y C, β -caroteno, licopeno y potasio. Además, son una fuente importante de compuestos fenólicos para la dieta humana (Odriozola-Serrano *et al.*, 2009; Vallverdú-Queralt *et al.*, 2011). Los principales compuestos fenólicos encontrados en tomate son flavononas (derivados glicosilados de naringenina) y flavonoles (quercetina, rutina y derivados glicosilados de kaempferol) (Vallverdú-Queralt *et al.*, 2012).

El gazpacho y otras sopas vegetales son alimentos comunes en la dieta Mediterránea (Elez-Martínez y Martín-Belloso, 2007) (Figura 2). Estas sopas incorporan ingredientes que ofrecen la oportunidad de aumentar los posibles beneficios para la salud del consumo de tomate, así como mejorar las características sensoriales. Por ejemplo, a productos de tomate se le pueden añadir antioxidantes incluyendo hidroxitirosol (aceite de oliva virgen) y otros compuestos fenólicos a partir de vegetales (por ejemplo, las cebollas, las zanahorias, los pimientos y el ajo) y especias y hierbas (pimienta u orégano, por ejemplo) (Motilva *et al.*, 2014). El gazpacho contiene principalmente tomate, pepino y pimiento, y en menor proporción aceite de oliva, cebolla, ajo, vinagre de vino y sal (Elez-Martínez y Martín-Belloso, 2007).

Otra verdura bastante usada en la cuenca mediterránea para la elaboración de estas sopas vegetales es la zanahoria. Las zanahorias son verduras con importante valor nutritivo: son ricas en antioxidantes como la

vitamina A, C y E y β -caroteno y compuestos fenólicos. Éstas son consumidas de diferentes formas: en fresco, zumos, sopas... (Ma *et al.*, 2013). Según Ma *et al.* (2013), los polifenoles en el jugo de zanahoria conservan la actividad antioxidante después del procesamiento, por lo que el jugo de zanahoria puede servir como una de las posibles fuentes de la dieta de antioxidantes naturales para la nutrición humana y la salud.

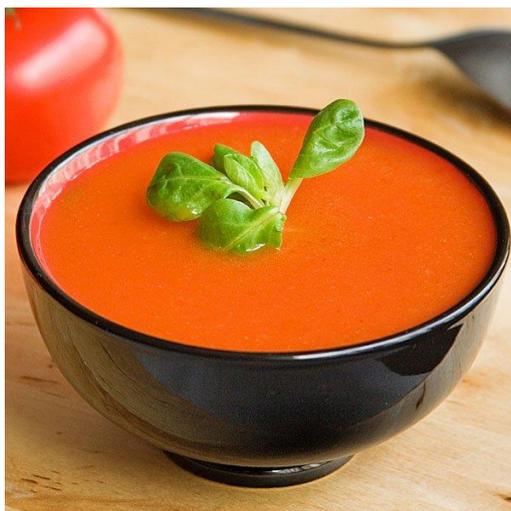


Figura 2. Gazpacho.

Además, estas sopas vegetales pueden contener aceite de oliva virgen, el cual presenta altas concentraciones de compuestos fenólicos que contribuyen a proteger al organismo frente al daño oxidativo (Franco *et al.*, 2014; Condelli *et al.*, 2015). Entre los compuestos fenólicos presentes en el aceite de oliva encontramos alcoholes fenólicos, ácidos fenólicos, lignanos y flavonoides (Franco *et al.*, 2014). El aceite de oliva que se añade a los gazpachos podría ser un factor importante en la biodisponibilidad *in vivo* de compuestos fenólicos (Vallverdú-Queralt *et al.*, 2011).

Como ya se ha comentado, el tratamiento térmico es el método más común para aumentar la vida útil de los productos hortofrutícolas (Elez-Martínez y Martín-Belloso, 2007; Odriozola-Serrano *et al.*, 2009). Sin embargo, a la vez puede ser responsable de cambios indeseables en las características de los productos, como pérdida de nutrientes, alteraciones de las propiedades sensoriales (color, textura y sabor) (Hsu 2008; Vallverdú-Queralt *et al.*, 2012; Ma *et al.*, 2013). Además, este tratamiento tiene gran influencia en los

contenidos fenólicos y actividad antioxidante, antes descritos. Los antioxidantes naturales pueden sufrir pérdidas significativas como consecuencia de los diferentes procesos a los que son sometidos los productos (Ma *et al.*, 2013). Además, éstos se vuelven inestables cuando se exponen al calor, la luz y el oxígeno durante el proceso, por lo que se considera que las frutas y verduras procesadas tienen un valor nutritivo inferior a las frescas. Por lo tanto, la información sobre la estabilidad de los polifenoles durante el procesamiento de los alimentos es importante para evaluar los posibles beneficios para la salud de los alimentos que contienen polifenoles (Ma *et al.*, 2013).

En general, los productos con un pH igual o inferior a 4,5 se procesan durante unos pocos segundos a temperaturas entre 60°C y 100°C (Rivas *et al.*, 2006). Se trata de un tratamiento térmico suave que inactiva los microorganismos no formadores de esporas (patógenos, bacterias ácido lácticas, mohos y levaduras) y que podrían deteriorar el producto. Las condiciones de pH < 4 impiden la germinación y el crecimiento de esporas bacterianas que sobreviven al tratamiento térmico (Bevilacqua *et al.*, 2009). Las condiciones mínimas de procesamiento son 65°C durante 30 minutos, 77°C durante 1 minuto o 88°C durante 15 segundos (Fellows, 2000).

Los métodos y herramientas que se utilizan para medir la actividad antioxidante han avanzado notablemente durante la últimas décadas (Shahidi y Zhong, 2015). Estos métodos se dividen principalmente en dos grandes grupos: ensayos basados en la transferencia de electrones (TE), como FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) y DPPH[•] (2,2-difenil-1-picrilhidrazil); y los basados en la transferencia de átomos de hidrógeno (HAT), como ABTS⁺ (2,2'-azinobis (3-etilbenzoatotiazol-6-sulfonato)) y ORAC (Oxygen Radical Absorption Capacity) (Tabart *et al.*, 2009; Shahidi y Zhong, 2015). La capacidad antioxidante se suele expresar como la inhibición de la oxidación de la sonda mediada por ROS, o como equivalentes de un antioxidante de referencia seleccionado como Trolox, ácido ascórbico u otro compuesto (Shahidi y Zhong, 2015).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es determinar el efecto de distintos tratamientos térmicos sobre la capacidad antioxidante, compuestos

fenólicos y parámetros de calidad de tres productos distintos: gazpacho, sopa de zanahoria, naranja y cilantro y sopa de tomate, menta y albahaca, en comparación con controles no tratados, con el fin de reunir la información necesaria y poder recomendar a la industria alimentaria acerca de la influencia de los tratamientos térmicos en la pérdida o no de propiedades organolépticas y bioactivas de los productos alimentarios aquí estudiados.

4. Material y métodos

4.1. Productos

Se analizaron tres productos diferentes realizados a partir de vegetales: sopa fría de zanahoria, naranja y cilantro; gazpacho; y sopa fría de tomate, menta y albahaca. Las muestras se mantuvieron congeladas hasta que fueron analizadas. Todos los productos fueron proporcionados por Tropicana Alvalle[®], S.L.

De los productos ya comentados, la empresa proporcionó producto sin someter a tratamiento térmico (producto de tanque) y el producto comercial ya envasado. En la figura 3 se expone el diagrama de trabajo seguido.

El producto de tanque estaba formado por diferentes hortalizas que fueron lavadas, peladas y trituradas y, posteriormente, aderezadas con otros ingredientes como el aceite de oliva virgen extra, la sal, el limón o el vinagre de vino. Para mantener una excelente calidad del producto, se pasteurizó y se envasó en frío en un envase Pure-Pak[®], conservándolo refrigerado durante toda su comercialización. Esta fue la muestra comercial proporcionada.

4.1.1. Sopa fría de zanahoria, naranja y cilantro

Esta sopa contiene agua, zanahoria (35,5%), zumo de naranja (16,6%), puré de cebolla, nata, aceite de oliva virgen extra, azúcar, sal, vinagre de vino, cilantro (0,2%), laurel, tomillo y pimienta blanca. El contenido de hortalizas supone el 40% del producto final.

4.1.2. Gazpacho

Este producto consta de los siguientes ingredientes: tomate, pimiento, pepino, cebolla, aceite de oliva virgen extra (2,6%), agua, vinagre de vino, sal, ajo y zumo de limón. El contenido de hortalizas supone el 93% del producto final.

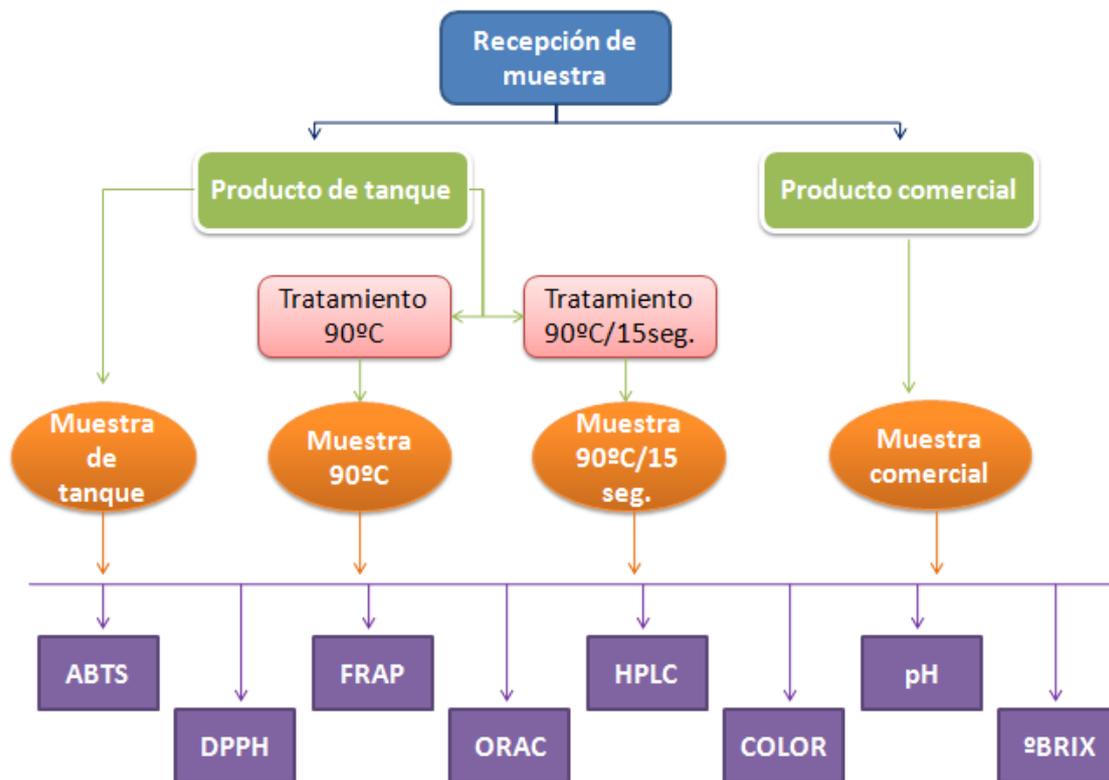


Figura 3. Diagrama de trabajo seguido.

4.1.3. Sopa fría de tomate, menta y albahaca

Esta sopa contiene tomate (87%), calabacín, zumo de limón, agua, cebolla, aceite de oliva virgen extra, albahaca (0,7%), ajo, sal, menta (0,2%) y pimienta blanca. El contenido de hortalizas supone el 93% del producto final.

4.2. Tratamiento térmico

Al producto de tanque se le aplicó dos tratamientos térmicos diferentes descritos a continuación. Para el tratamiento térmico se utilizó un termorresistómetro Mastia (Universidad Politécnica de Cartagena) (Figura 4).



Figura 4. Termorresistómetro Mastia

Uno de los tratamientos consistía en llevar el producto hasta una temperatura de 90°C, siguiendo una rampa de 30°C/min. (Figura 5A). El producto, con una temperatura determinada, se llevaba hasta 30°C en 1 minuto, de 30°C hasta 90°C en 2 minutos. Al llegar a 90°C la temperatura comienza a bajar hasta los 35°C en 1 minuto y 50 segundos.

El segundo tratamiento consistía en, al igual que el anterior tratamiento, llevar el producto hasta 90°C, pero esta vez manteniendo esta temperatura durante 15 segundos (Figura 5B). Para ello se llevaba el producto, con una temperatura determinada, hasta 30°C en 1 minuto, de 30°C hasta 90°C en 2 minutos, manteniendo esta temperatura durante 15 segundos. Trascurrido este tiempo se baja la temperatura hasta 35°C en 1 minuto y 50 segundos.

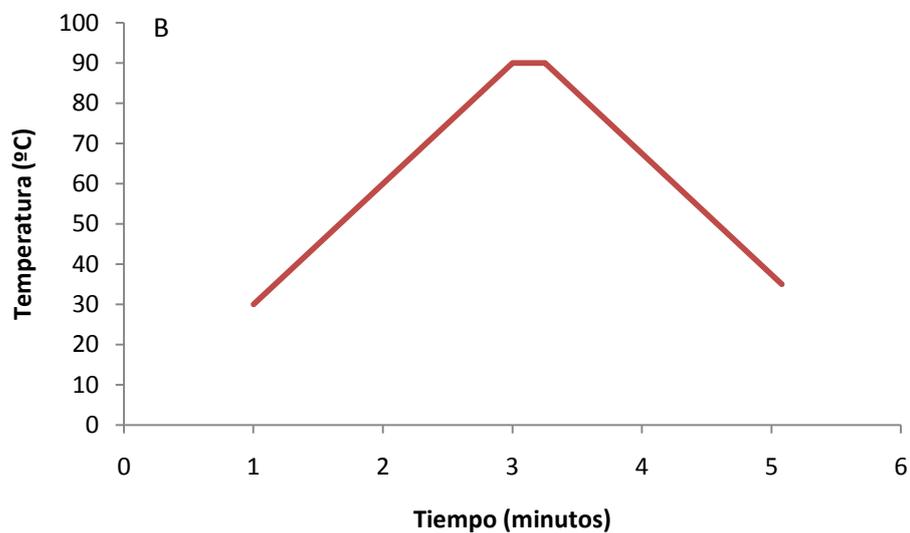
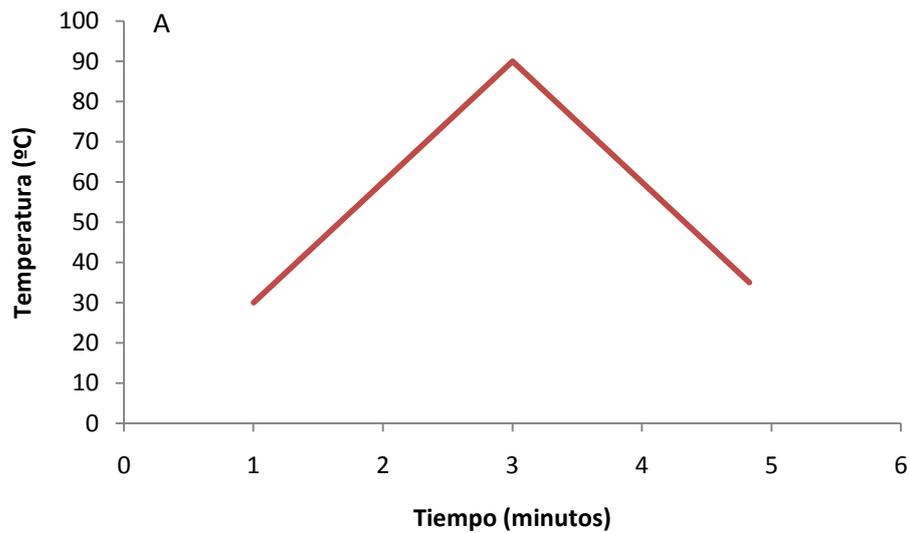


Figura 5. Tratamiento hasta 90°C (A). Tratamiento de 90°C durante 15 segundos (B).

4.3. Sólidos solubles totales (SST) y pH

SST y pH fueron evaluados como índices de calidad. El valor de SST nos permite conocer el porcentaje de sacarosa (en °Brix) que tiene nuestro producto. Se basa en la desviación de la luz al chocar contra el azúcar. Para esta medición se utilizó un refractómetro Atago N1 y se calibró con agua destilada a temperatura ambiente. Para la medición de pH se utilizó un pH-metro Crison, modelo Basic 20. Ambas pruebas se realizaron por triplicado.

4.4. Determinación del color

La valoración del color se realizó por duplicado mediante un colorímetro Minolta CR400 (Figura 6) y en un tubo de ensayo. Una placa de calibración de color blanco se empleó para calibrar el equipo. Las mediciones se reservaron en el espacio de color CIELAB.

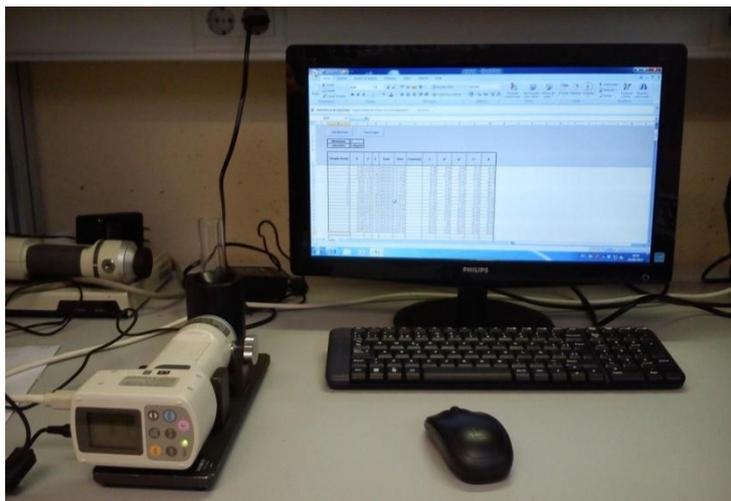


Figura 6. Colorímetro Minolta CR400.

4.5. Identificación y cuantificación de compuestos fenólicos por HPLC

Para la cuantificación, todas las muestras fueron centrifugadas durante 10 minutos a 12.000 rpm. El sobrenadante de cada muestra fue filtrado a través de un filtro PVDF de 0,45 μm (KX Syringe 13 mm, Kinesis) antes de ser analizado por el sistema HPLC Agilent 1260 Infinity equipado con una bomba binaria (modelo G 1312 B), un desgasificador (modelo G 1379 B), un inyector automático (modelo G 1313-44510), un detector diodo array, DAD (modelo G 4212 B) que a su vez es controlado por el software Agilent B. 02. 02. (Figura 7). Se utilizó una columna Ultrabase C18, 5 μM , 250x4,6 mm (Análisis Vínicos S.L.).

El método cromatográfico usó como fases móviles agua/fórmico (99:1, v/v) (fase móvil A) y acetonitrilo (fase móvil B), con una velocidad de flujo de 0,8 mL/min. El gradiente lineal fue el siguiente: 99% A, 0 min.; 83% A, 15 min.; 75% A, 22 min.; 65% A, 30 min.; 50% A, 35 min.; 50% A, 45 min.; 99% A, 50

min.; y 99% A, 55 min. El volumen de inyección fue de 20 μ L. Los cromatogramas se registraron a 280, 330 y 360 nm. Los flavonoles fueron cuantificados como rutina a 360 nm, los derivados hidroxicinámicos como ácido clorogénico a 330 y los ácidos fenólicos no hidroxicinámicos como ácido gálico a 280 nm.



Figura 7. HPLC Agilent 1260 Infinity

4.6. Determinación de la capacidad antioxidante

Para la realización de todos los métodos de determinación de la capacidad antioxidante las muestras se centrifugaron 10 minutos a 12.000 rpm.

4.6.1. ABTS⁺

Este método se basa en la capacidad de los antioxidantes de la muestra de neutralizar al radical libre 2,2'-azinobis (3-etilbenzoatotiazol-6-sulfonato) (ABTS⁺).

Este ensayo se realizó por cuadruplicado y los resultados se expresaron como mM de Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico; Fluka Chemika, Neu-Ulm, Suiza), un análogo sintético de la vitamina E, o tocoferol.

Aproximadamente, 55 mg de ABTS⁺ comercial (ácido 2,2'-azino-bis (3-etil-benzotiazolin-6-sulfónico; Calbiochem, Merck KGaA, Darmstadt, Alemania), se disolvieron en 10 mL de agua destilada (Stock ABTS sin activar) y se protegió de la luz. Posteriormente, para la activación del radical se mezcló 8 mL de agua destilada, 1 mL de tampón acetato 0,1 M a pH 5 y 1 mL de stock ABTS sin activar preparado anteriormente y, posteriormente, una pequeña cantidad de MnO₂ (Sigma, St. Louis, EE.UU) hasta saturar el medio. Finalmente esta mezcla se agitó y se filtró por un filtro PVDF de 0,45 µm (KX Syringe 13 mm, Kinesis) y se protegió de la luz.

Para realizar las medidas era necesario diluir el stock de ABTS⁺ activado hasta alcanzar una absorbancia próxima a 1,000. Una vez conseguida esta absorbancia, se añadía a cada pocillo 250 µL del stock ABTS⁺ activado con absorbancia próxima a 1,000 y se leía la absorbancia inicial a 414 nm. Posteriormente se añadieron 2 µL de la muestra centrifugada, pipeteando varias veces para homogeneizar, y se cubría la placa con la tapa. Se monitoreó la cinética de reacción durante 50 minutos a 25°C. Transcurrido este tiempo se quitó la tapa y se volvió a medir. Se usó agua destilada como blanco.

Estas mediciones se realizaron en una placa de 96 pocillos (Nunc, Roskilde, Dinamarca) y se medía en un lector de placas Infinite[®] M200 (Tecan, Grödig, Austria) (Figura 8).



Figura 8. Lector de placas Infinite[®] M200 Tecan

4.6.2. DPPH[•]

Este método se basa en la capacidad de los antioxidantes de la muestra de neutralizar al radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH[•]). Este ensayo se realizó por cuadruplicado y los resultados se expresaron como mM de Trolox.

Se preparó una disolución de 3,5 mg de DPPH[•] comercial (2,2-difenil-1-picrilhidrazil; Sigma, St. Louis, EE.UU) en 10 mL de metanol y se protegió de la luz.

Para realizar el análisis se diluyó el stock DPPH[•] anteriormente preparado en metanol hasta alcanzar una absorbancia próxima a 1,000. A continuación, se añadieron 250 µL de DPPH (absorbancia próxima a 1,000) en una placa de 96 pocillos (Nunc, Roskilde, Dinamarca) y se midió la absorbancia inicial a 515 nm en un lector de placas Infinite[®] M200 (Tecan, Grödig, Austria) (Figura 8). Posteriormente se añadieron 2 µL de la muestra centrifugada y se cubría la placa con la tapa y se monitoreó la cinética de reacción durante 50 minutos a 25°C. Transcurrido este tiempo se quitó la tapa y se volvió a medir. Se usó metanol como blanco.

4.6.3. FRAP

Este método se basa en la capacidad de los antioxidantes de la muestra de quelatar iones de Fe³⁺. Este ensayo se realizó por cuadruplicado y los resultados se expresaron como mM de Trolox.

Para llevar a cabo este método es necesario preparar varios reactivos. Por un lado se preparó un tampón acetato 300 mM, pH 3,6. Para un volumen de 200 mL fue necesario mezclar 100 mL de ácido acético 0,281M y 100 mL de acetato sódico 0,0194M. El pH se ajustó con NaOH.

Por otro lado, se preparó una dilución de 31,23 mg de TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina; Sigma, Suiza) en 10 mL de HCl 40 mM, se vorteoó y sonicó durante 10 minutos para diluir las partículas, manteniéndose en oscuridad y a 37°C hasta su uso. (Se prepararon 50 mL de HCl 40 mM a partir de 164 µL de HCl 37% (12M) y 49, 83 mL de H₂O).

Además, también se preparó cloruro férrico (FeCl_3) 20 mM. Para ello se añadió 54 mg de cloruro férrico hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Sigma, St. Louis, EE.UU) a 10 mL de H_2O destilada y se mantuvo en oscuridad.

Posteriormente se procedió a la activación del reactivo FRAP, para lo cual se añadió, por orden, 10 mL de tampón acetato 300 mM, 1 mL de TPTZ y 1 mL de FeCl_3 20 mM. Se mantuvo en oscuridad y a 37°C en un rotavapor durante unos 15 minutos. Las lecturas se hicieron a 593 nm en una placa de 96 pocillos (Nunc, Roskilde, Dinamarca) y en un lector de placas Infinite[®] M200 (Tecan, Grödig, Austria) (Figura 8), usando agua destilada como blanco.

En cada pocillo de la placa se añadió 250 μL del stock FRAP activado y se leyó la absorbancia inicial a 593 nm. Posteriormente se añadieron 2 μL de la muestra, se cubrió la placa con la tapa monitoreando la cinética de la reacción durante 40 minutos a 37°C . Transcurrido este tiempo se quitó la tapa y se volvió a medir.

4.6.4. ORAC

Este método se basa en la transferencia de un átomo de hidrógeno del antioxidante al radical libre AAPH (2,2'-azobis (2-amidinopropane) dihidroclorido)). Este ensayo se realizó por triplicado y los resultados se expresaron como mM de Trolox.

Se prepararon tres reactivos. Primero se preparó una solución buffer de fosfato 10 mM, para la cual era necesario preparar, a su vez, 2 diluciones diferentes: 120 mg de NaH_2PO_4 (Sigma, St. Louis, EE.UU) en 100 mL de H_2O destilada y 142 mg de Na_2HPO_4 (Sigma, St. Louis, EE.UU) en 100 mL de H_2O destilada. Una vez preparadas estas dos diluciones, se mezclan 22,6 mL de la dilución de NaH_2PO_4 y 77,4 mL de la dilución de Na_2HPO_4 , obteniendo así una solución buffer de fosfato de 100 mL.

A continuación se preparó una solución de fluoresceína 1 μM . Para ello se pesó 3,76 mg de fluoresceína y se llevó a 10 mL en un balón volumétrico con la solución buffer de fosfato, obteniendo una solución 1 mM. Posteriormente se añadió 25 μL de fluoresceína 1 mM a 25 mL de buffer de fosfato, consiguiendo así fluoresceína 1 μM .

El último reactivo necesario fue una solución de AAPH (2,2'-azobis (2-amidinopropane) dihidro-clorido) 250 mM, para la cual se pesó 678 mg de AAPH (Sigma, St. Louis, EE.UU) y se llevó a volumen con una solución buffer de fosfato en un balón volumétrico de 10 mL.

A continuación se realizaron las diluciones respectivas para realizar la curva de trolox tomando 5, 12,5, 25,50, 75 y 100 μ L de la solución anterior y llevando a volumen final de 1 mL con agua destilada. De esta forma se consigue una curva 10-200 μ g/mL. Para este ensayo fue necesario, además, diluir las muestras con agua destilada: sopa fría de zanahoria, naranja y cilantro (1:20), gazpacho y sopa fría de tomate, menta y albahaca (1:25). Para realizar el ensayo se empleó en un lector de placas Infinite[®] M200 (Tecan, Grödig, Austria) (Figura 8) y una placa de 96 pocillos negra (Nunc, Roskilde, Dinamarca).

Por estricto orden se añadió a cada pocillo los siguientes componentes: 150 μ L de fluoresceína y 25 μ L de la dilución respectiva de trolox para realizar la curva. Paralelamente se preparó un blanco de ensayo que tenía 150 μ L de fluoresceína y 25 μ L de solución buffer fosfato. A continuación, para realizar las medidas de las muestras se añadió 150 μ L de fluoresceína y 25 μ L de muestra. Posteriormente se incubó durante 30 minutos a 37°C. Transcurrido este tiempo se adicionó a cada pocillo 25 μ L de solución de AAPH 250 mM, y se midió la intensidad de la fluorescencia cada 2 minutos durante 2 horas con longitud de onda de excitación y emisión de 485 y 520 nm respectivamente.

4.7. Análisis estadístico

Los datos presentados son valores medios \pm la desviación estándar. Todos los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Rango Múltiple (prueba de Tukey), utilizando las estadísticas de IBM SPSS 20 (SPSS Inc., Chicago, IL).

5. Resultados y discusión

5.1. Parámetros de calidad

Los valores de pH y SST (Tabla 1) no se vieron afectados por igual en los distintos productos debido a los tratamientos térmicos.

Tabla 1. pH y SST los productos sometidos a distintos tratamientos térmicos.		
	pH	SST
Sopa de zanahoria, naranja y cilantro		
Tanque	4,34 ± 0,04 b	6,00 ± 0,00 a
Tratamiento 90°C	4,28 ± 0,01 ab	6,00 ± 0,00 a
Tratamiento 90°C/15seg.	4,17 ± 0,01 a	6,00 ± 0,00 a
Comercial	4,15 ± 0,05 a	6,53 ± 0,12 b
LSD, $p < 0,05$	0,034	0,047
Gazpacho		
Tanque	3,96 ± 0,00 b	6,53 ± 0,12 ab
Tratamiento 90°C	3,98 ± 0,01 b	6,40 ± 0,00 a
Tratamiento 90°C/15seg.	3,96 ± 0,01 b	6,40 ± 0,00 a
Comercial	3,86 ± 0,00 a	6,67 ± 0,12 b
LSD, $p < 0,05$	0,005	0,067
Sopa de tomate, menta y albahaca		
Tanque	3,85 ± 0,00 b	5,60 ± 0,20 a
Tratamiento 90°C	3,84 ± 0,01 b	6,27 ± 0,23 b
Tratamiento 90°C/15seg.	3,85 ± 0,01 b	6,00 ± 0,00 ab
Comercial	3,81 ± 0,01 a	5,93 ± 0,12 ab
LSD, $p < 0,05$	0,006	0,133
Se presentan valores medios ± desviación estándar.		
En un mismo producto, distintas letras indican medias significativamente diferentes a $p < 0,05$ según la prueba de rango múltiple de Tukey.		

En la sopa de zanahoria, naranja y cilantro, los valores de pH se vieron afectados por el tratamiento térmico. La muestra sometida a 90°C/15seg. y la comercial resultaron significativamente más ácidas (pH 4,17 ± 0,01 y 4,15 ± 0,05 respectivamente) que la muestra de tanque (pH 4,34 ± 0,04). El contenido en SST fue significativamente mayor en la muestra comercial (6,53 ± 0,12 °Brix) que en el resto de muestras, cuyo contenido es 6,00 ± 0,00 °Brix.

En el gazpacho, los tratamientos aplicados de 90°C y 90°C/15seg. no afectaron al pH del producto. Sin embargo, la muestra comercial sí presentó diferencias, con un pH de 3,86 ± 0,00 frente al 3,96 ± 0,00 que presentaba la

muestra de tanque. El contenido de sólidos solubles se vio afectado por los tratamientos de 90°C y 90°C/15seg, siendo la muestra comercial la que presentó un mayor contenido de SST ($6,67 \pm 0,12$ °Brix).

Al igual que ocurría con el gazpacho, en la sopa de tomate, menta y albahaca solo se observó variación de pH en la muestra comercial, que con un valor de $3,81 \pm 0,01$ fue la más ácida de todas. El contenido de SST en la muestra tratada a 90°C ($6,27 \pm 0,23$ °Brix) aumentó significativamente respecto a la muestra de tanque ($5,60 \pm 0,20$ °Brix). El resto de muestras no fueron significativamente diferentes a la muestra de tanque.

Aunque si se han observado ligeros cambios en el pH y SST, estos no fueron significativos, y no influyeron en las características del producto. Odriozola-Serrano *et al.* (2009) evaluaron el efecto del tratamiento térmico (90°C durante 30 o 60 segundos) en zumos de tomate y observaron que no se producían cambios significativos en el pH y SST, como se ha observado en este estudio.

5.2. Parámetros de color

La colorimetría triestímulo es considerada como el mejor método para evaluar el color visible. El color es una característica organoléptica crucial que desencadena la primera respuesta del consumidor al contacto con el producto (Gironés-Vilaplanta *et al.*, 2013). Los valores obtenidos con el colorímetro se dan en el espacio de color CIE $L^* a^* b^*$ (Figura 9). L^* (representa la luminosidad (brillo) de la superficie: 0 negro, 100 blanco), $+a^* -a^*$ (representa la intensidad del color rojo ($a+$) o verde ($a-$)) y $+b^* -b^*$ (representa la intensidad del color amarillo ($b+$) o azul ($b-$)). También se conocen el valor *Chroma* (relación de a^* y b^*) y el ángulo *Hue*. El primero indica la saturación del color (cuanto mayor sea el valor más saturado será el color) y el segundo indica el tono y se expresa en grados.

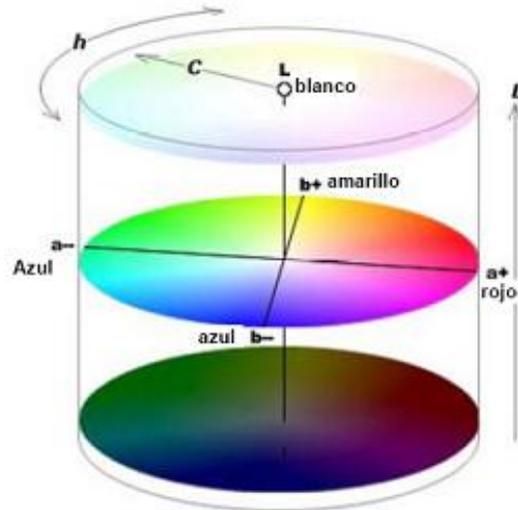


Figura 9. Geometría del modelo de color CIELAB.

El tratamiento térmico provocó cambios en el color de todos los productos analizados (Tabla 2), pero no del mismo modo.

En la sopa de zanahoria, naranja y cilantro el valor L^* de la muestra comercial ($56,53 \pm 0,00$) fue ligeramente superior al de la muestra de tanque ($52,93 \pm 0,02$), suponiendo un mayor aclaramiento en la sopa tras el tratamiento térmico. El valor a^* de la muestra de tanque se vio reducido con la aplicación de tratamiento térmico, llegando al valor más bajo en la muestra comercial ($4,23 \pm 0,02$). Por el contrario, el valor b^* aumentó de manera significativa, siendo la muestra comercial la que presentó mayor valor ($53,64 \pm 0,10$) frente al menor valor encontrado en la muestra de tanque ($40,60 \pm 0,09$). De este último parámetro se puede concluir que el tratamiento térmico provocó una coloración más amarilla en el producto comercial, probablemente debido a cambios en pigmentos de la sopa durante los calentamientos. La misma tendencia se observó en los valores de *Chroma* y *Hue*, aumentando ambos desde el producto de tanque hasta el comercial.

En el gazpacho, los valores L^* y a^* obtenidos en la muestra de tanque fueron valores intermedios. El menor valor de L^* ($37,91 \pm 0,03$) se dio en la muestra tratada con $90^{\circ}\text{C}/15\text{seg}$. Por su parte el tratamiento de 90°C no ofreció diferencias respecto a la muestra de tanque. El mayor valor lo presentó la

muestra comercial ($40,08 \pm 0,22$), aunque fue muy similar en las 4 muestras de gazpacho. La muestra comercial fue la que presentó mayor valor para los parámetros a^* ($12,01 \pm 0,07$), b^* ($20,33 \pm 0,27$) y *Chroma* ($23,62 \pm 0,27$), resultando en un aumento de la coloración roja y amarilla del producto, aunque este cambio fue imperceptible para el ojo humano. Respecto el valor *Hue*, la muestra comercial y la tratada a 90°C fueron las que presentan el menor ($59,44 \pm 0,19$) y mayor ($64,80 \pm 0,04$) valor respectivamente.

Tabla 2. Parámetros de color de los distintos productos estudiados.					
Sopa de zanahoria, naranja y cilantro					
	Tanque	Tratamiento 90°C	Tratamiento $90^\circ\text{C}/15\text{seg.}$	Comercial	LSD, $p < 0,05$
<i>L*</i>	$52,93 \pm 0,02$ a	$53,43 \pm 0,06$ b	$52,94 \pm 0,02$ a	$56,53 \pm 0,00$ c	0,030
<i>a*</i>	$9,62 \pm 0,01$ d	$8,26 \pm 0,04$ c	$7,88 \pm 0,02$ b	$4,23 \pm 0,02$ a	0,029
<i>b*</i>	$40,60 \pm 0,09$ a	$43,77 \pm 0,14$ b	$47,40 \pm 0,11$ c	$53,64 \pm 0,10$ d	0,111
<i>Chroma</i>	$41,72 \pm 0,09$ a	$44,54 \pm 0,13$ b	$48,05 \pm 0,10$ c	$53,81 \pm 0,10$ d	0,108
<i>Hue</i>	$76,67 \pm 0,05$ a	$79,31 \pm 0,09$ b	$80,56 \pm 0,05$ c	$85,49 \pm 0,03$ d	0,057
Gazpacho					
	Tanque	Tratamiento 90°C	Tratamiento $90^\circ\text{C}/15\text{seg.}$	Comercial	LSD, $p < 0,05$
<i>L*</i>	$39,06 \pm 0,02$ b	$38,61 \pm 0,02$ b	$37,91 \pm 0,03$ a	$40,08 \pm 0,22$ c	0,112
<i>a*</i>	$7,16 \pm 0,03$ b	$6,43 \pm 0,00$ a	$8,44 \pm 0,00$ c	$12,01 \pm 0,07$ d	0,038
<i>b*</i>	$12,78 \pm 0,01$ a	$13,66 \pm 0,02$ b	$16,07 \pm 0,01$ c	$20,33 \pm 0,27$ d	0,138
<i>Chroma</i>	$14,65 \pm 0,01$ a	$15,09 \pm 0,02$ a	$18,15 \pm 0,01$ b	$23,62 \pm 0,27$ c	0,138
<i>Hue</i>	$60,73 \pm 0,11$ b	$64,80 \pm 0,04$ d	$62,29 \pm 0,01$ c	$59,44 \pm 0,19$ a	0,112
Sopa de tomate, menta y albahaca					
	Tanque	Tratamiento 90°C	Tratamiento $90^\circ\text{C}/15\text{seg.}$	Comercial	LSD, $p < 0,05$
<i>L*</i>	$36,27 \pm 0,03$ a	$36,55 \pm 0,01$ b	$37,97 \pm 0,00$ c	$41,26 \pm 0,04$ d	0,026
<i>a*</i>	$4,80 \pm 0,02$ b	$4,63 \pm 0,01$ a	$4,87 \pm 0,02$ c	$4,88 \pm 0,01$ c	0,018
<i>b*</i>	$10,90 \pm 0,05$ a	$12,17 \pm 0,01$ b	$12,08 \pm 0,02$ b	$17,65 \pm 0,05$ c	0,034
<i>Chroma</i>	$11,91 \pm 0,03$ a	$13,03 \pm 0,01$ b	$13,03 \pm 0,01$ b	$18,31 \pm 0,05$ c	0,029
<i>Hue</i>	$66,26 \pm 0,18$ a	$69,17 \pm 0,07$ c	$68,03 \pm 0,11$ b	$74,54 \pm 0,00$ d	0,110
Se presentan valores medios \pm desviación estándar.					
En un mismo producto, distintas letras indican medias significativamente diferentes a $p < 0,05$ según la prueba de rango múltiple de Tukey.					

En la sopa de tomate, menta y albahaca, el valor L^* se vio aumentado debido al tratamiento térmico, obteniendo el mayor valor ($41,26 \pm 0,04$) en la muestra comercial. Por su parte, el valor a^* fue similar en todas las muestras de esta sopa analizada, observándose solo muy pocos cambios imperceptibles. Los valores b^* y *Chroma* de la muestra comercial resultaron los mayores respecto al resto de muestras, resultando en una coloración amarilla más intensa de la muestra comercial debida al tratamiento térmico, como se ha observado en las otras muestras. La muestra comercial fue la que mayor valor *Hue* presentó ($74,54 \pm 0,00$).

En todos los productos, la muestra comercial fue la que presenta mayor valor L^* . En los productos cuyo principal ingrediente es el tomate (gazpacho y sopa de tomate, menta y albahaca) los valores a^* y b^* de la muestra comercial fueron los más altos. Como en nuestro caso, Patras *et al.*, (2009) observaron que purés de tomate procesados térmicamente presentaban valores significativamente mayores de *Chroma* que las muestras no tratadas, concluyendo que dicho fruto puede verse afectado por el tratamiento térmico; aunque estos cambios no fueron suficientes para poder ser apreciados a simple vista por el ojo humano. Sin embargo esto no ocurría con purés de zanahoria sometidos a tratamientos térmicos, que presentaban menor valor *Chroma* que los no procesados. Al igual que en nuestros productos, el valor L^* fue significativamente mayor en las muestras procesadas en comparación con muestras sin tratar térmicamente.

5.3. Compuestos fenólicos

Los componentes fenólicos presentes en los distintos productos fueron detectados a 360 nm, 330 nm y 280 nm. A 360 nm se apreciaron los flavonoles, a 330 nm los ácidos hidroxicinámicos y a 280 nm los ácidos fenólicos (no hidroxicinámicos). Se muestra como ejemplo los perfiles cromatográficos obtenidos de las muestras de tanque de todos los productos analizados a las distintas longitudes de onda antes descritas: sopa de zanahoria, naranja y cilantro (Figura 10); gazpacho (Figura 11); y sopa de tomate, menta y albahaca (Figura 12).

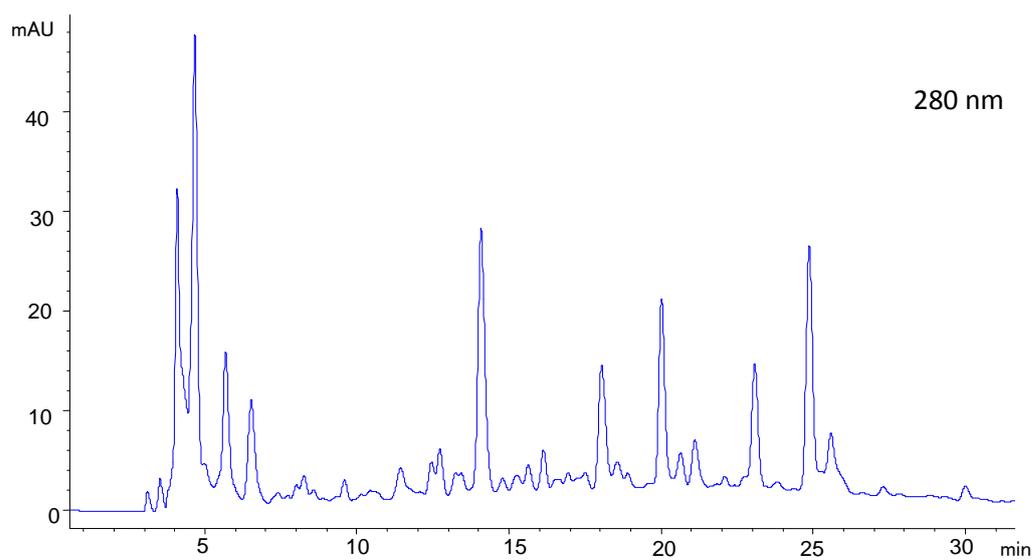
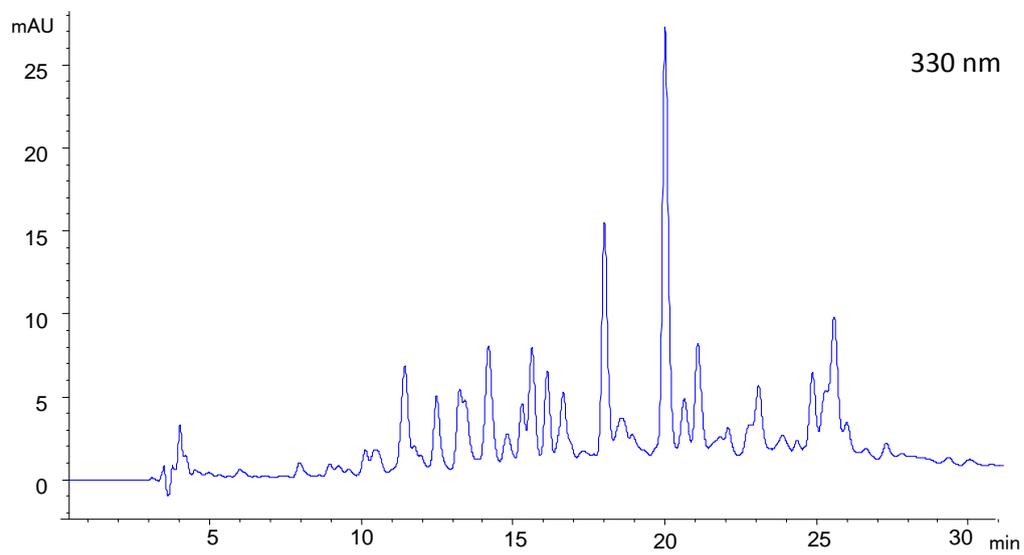
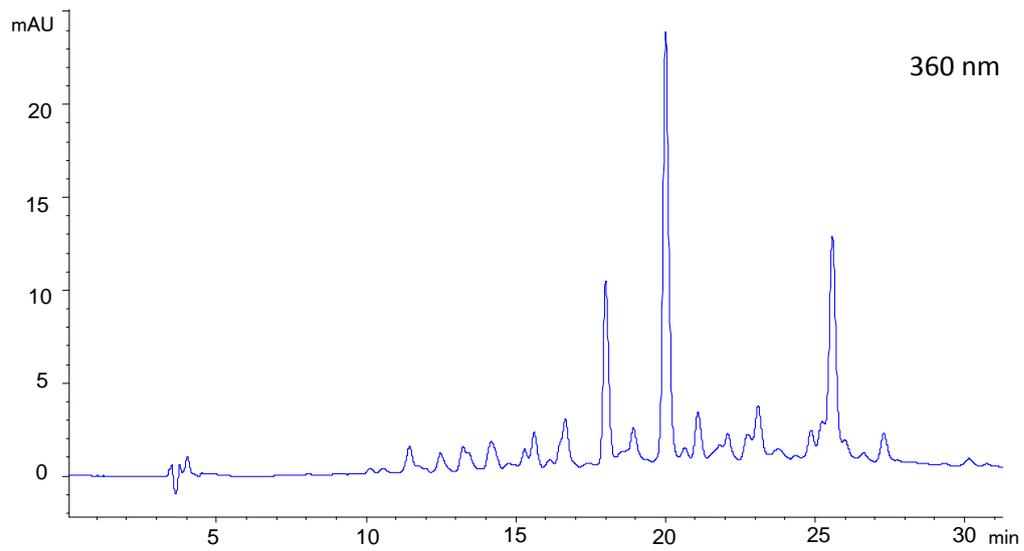


Figura 10. Cromatogramas de la sopa de zanahoria, naranja y cilantro a 360 nm, 330 nm y 280 nm.

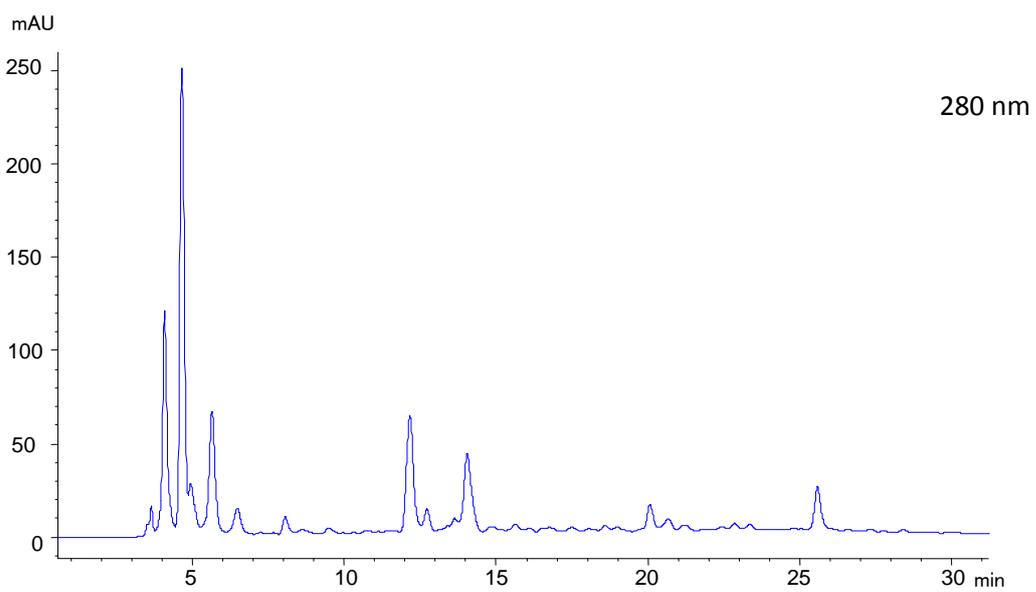
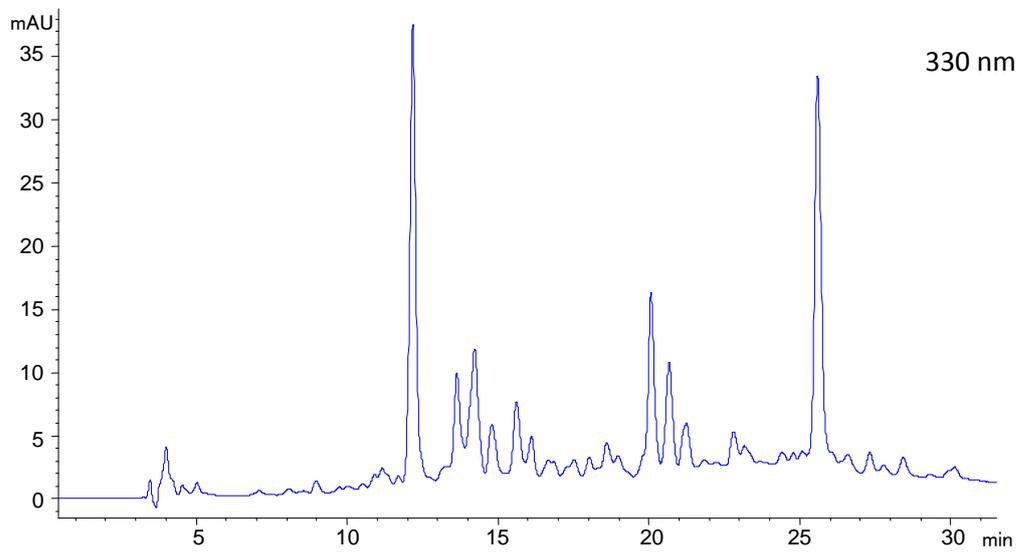
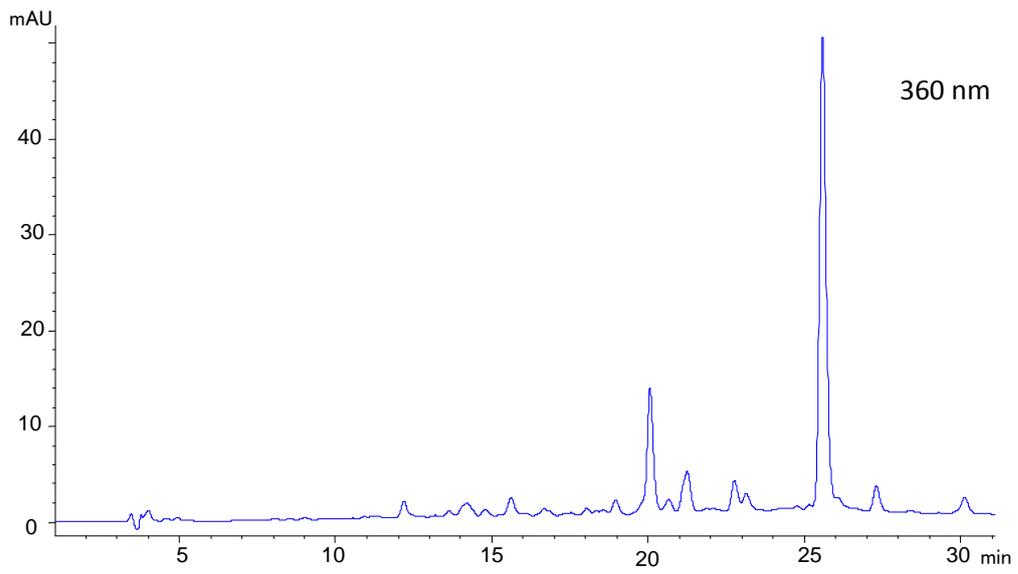


Figura 11. Cromatogramas del gazpacho a 360 nm, 330 nm y 280 nm.

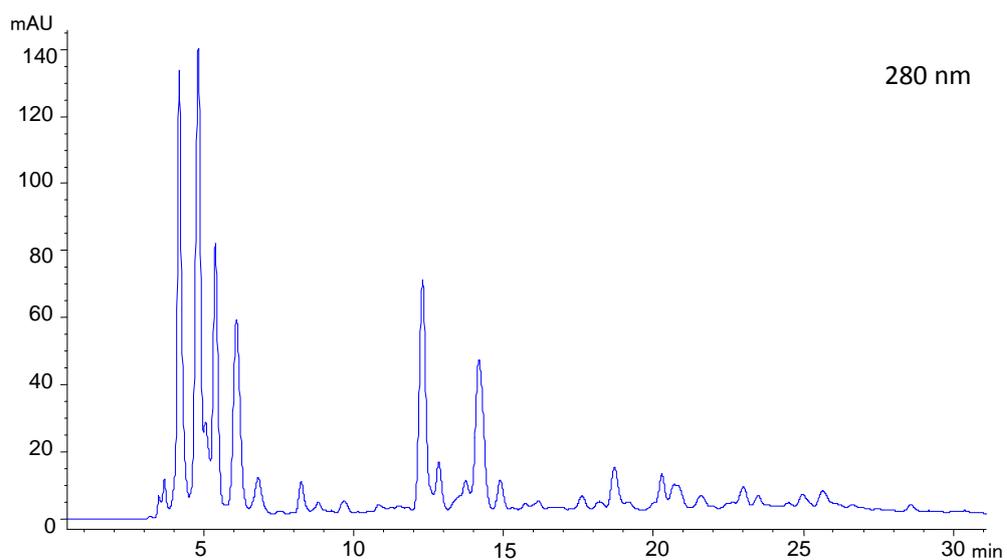
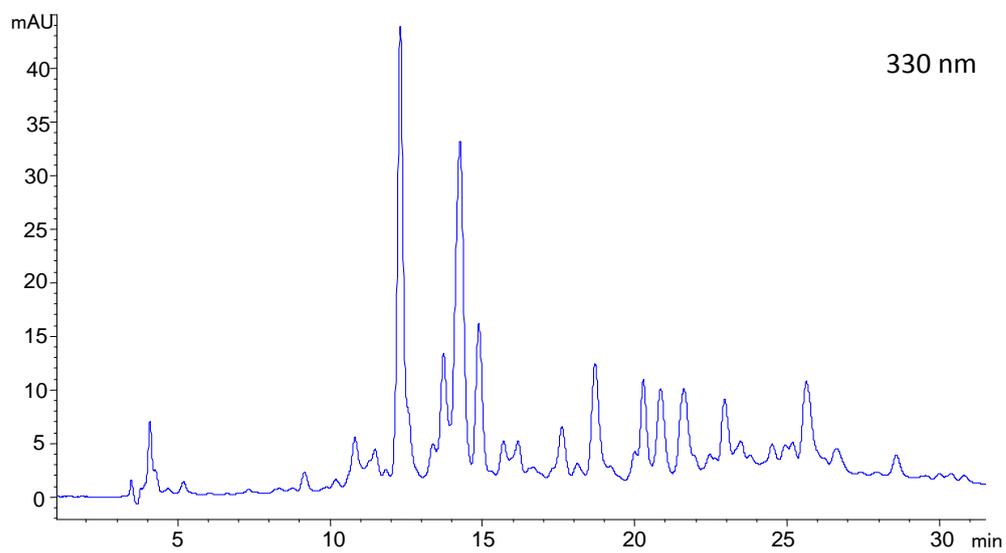
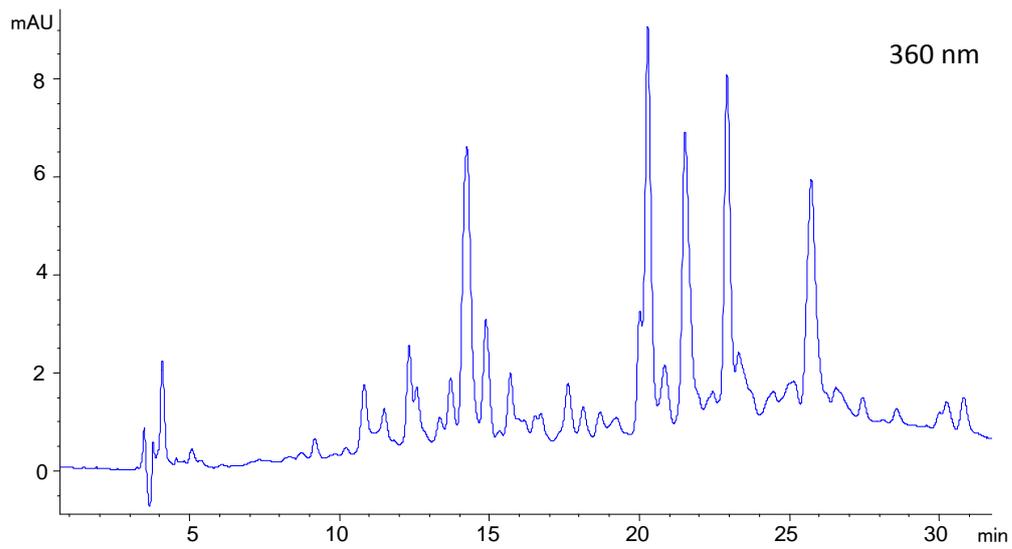


Figura 12. Cromatogramas de la sopa de tomate, menta y albahaca a 360 nm, 330 nm y 280 nm.

El efecto del tratamiento térmico sobre los compuestos fenólicos se determinó a partir de la concentración de los mismos en las distintas muestras.

En la sopa de zanahoria, naranja y cilantro ninguno de los compuestos fenólicos analizados mostró diferencias significativas como consecuencia del tratamiento térmico (Figura 13).

Tomando como ejemplo la muestra de tanque, el contenido en flavonoles fue de $0,46 \pm 0,08$ mg/100mL, seguido por los ácidos hidroxicinámicos cuyo contenido fue más del doble, $1,11 \pm 0,10$ mg/100mL. Por su parte, los ácidos fenólicos no hidroxicinámicos fueron los que mayor contenido presentan ($2,57 \pm 0,07$ mg/100mL).

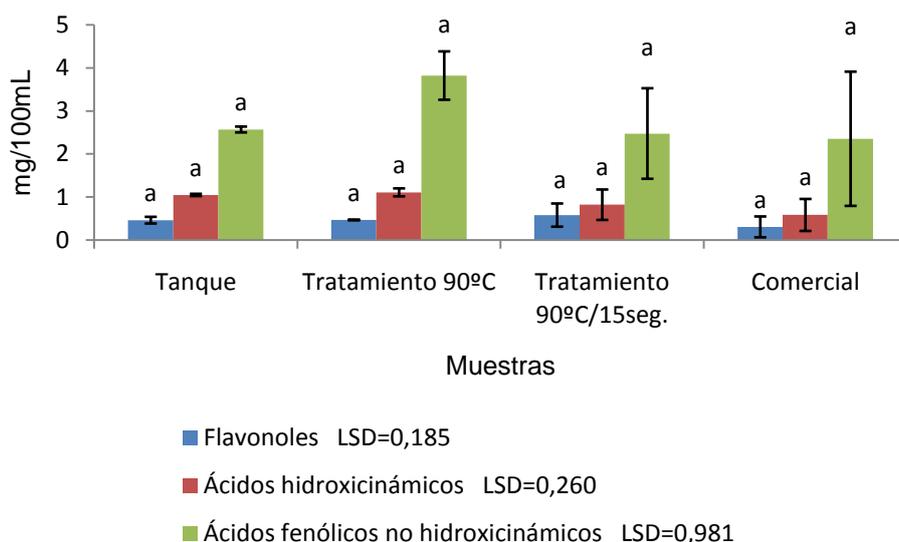


Figura 13. Valores medios de los compuestos fenólicos presentes en la sopa de zanahoria, naranja y cilantro. Distintas letras indican diferencias significativas a $p < 0,05$.

Al igual que reportó Ma *et al.* (2013), los polifenoles y la actividad antioxidante de los zumos de zanahoria variaron con los diferentes procesos estudiados. Klaiber *et al.* (2005) informó que había 11 polifenoles aislados de zanahorias. Los principales compuestos fenólicos en las zanahorias son el ácido clorogénico y el ácido *p*-hidroxibenzoico junto con otros derivados del

ácido cinámico (Gonçalves *et al.*, 2010). Sin embargo pueden existir variaciones causadas, principalmente, por la diversidad de variedades de zanahorias y de distintos procesamientos (Ma *et al.*, 2013).

En general, el tratamiento de pasteurización reduce la estabilidad de los polifenoles en el zumo de zanahoria, como se ha descrito con anterioridad (Ma *et al.*, 2013). También se informó de que la pasteurización puede conducir a la pérdida de polifenoles en el zumo naranja (Gil-Izquierdo *et al.*, 2003), también presente en esta sopa.

Respecto al contenido de los distintos compuestos fenólicos en el gazpacho (Figura 14), los flavonoles vieron reducido su contenido como consecuencia del tratamiento aplicado a la muestra comercial, que presentó un contenido de flavonoles de $0,56 \pm 0,06$ mg/100mL. Por su parte, la muestra de tanque presentó un contenido casi cuatro veces mayor ($2,2 \pm 0,16$ mg/100mL), y no se vio afectado por el tratamiento de 90°C y $90^{\circ}\text{C}/15\text{seg}$. El contenido de ácidos hidroxicinámicos fue mayor en el tratamiento $90^{\circ}\text{C}/15$ con un valor de $2,18 \pm 0,11$ mg/100mL, mientras que en la muestra de tanque fue de $1,63 \pm 0,04$ mg/100mL. La muestra comercial fue la que menor contenido en ácidos hidroxicinámicos presentó ($1,59 \pm 0,05$ mg/100mL), sin mostrar diferencias significativas respecto a la muestra de tanque. El contenido de ácidos fenólicos no hidroxicinámicos solo se vio afectado por el tratamiento de la muestra comercial ($4,25 \pm 0,16$ mg/100mL). La muestra de tanque presentó $5,95 \pm 0,02$ mg/100mL de ácidos fenólicos, y no mostró diferencias respecto a las muestras tratadas con 90°C y $90^{\circ}\text{C}/15\text{seg}$.

En la sopa de tomate, menta y albahaca el contenido de los distintos compuestos fenólicos no sufrió variación como consecuencia de los distintos tratamientos térmicos aplicados (Figura 15). Tomando como referencia la muestra de tanque, los flavonoles son los que menor presencia tuvieron: $0,47 \pm 0,00$ mg/100mL. El contenido de los ácidos hidroxicinámicos fue aproximadamente cinco veces superior ($2,28 \pm 0,07$ mg/100mL). Los compuestos fenólicos que más presencia mostraron fueron los ácidos fenólicos no hidroxicinámicos ($6,30 \pm 0,43$ mg/100mL).

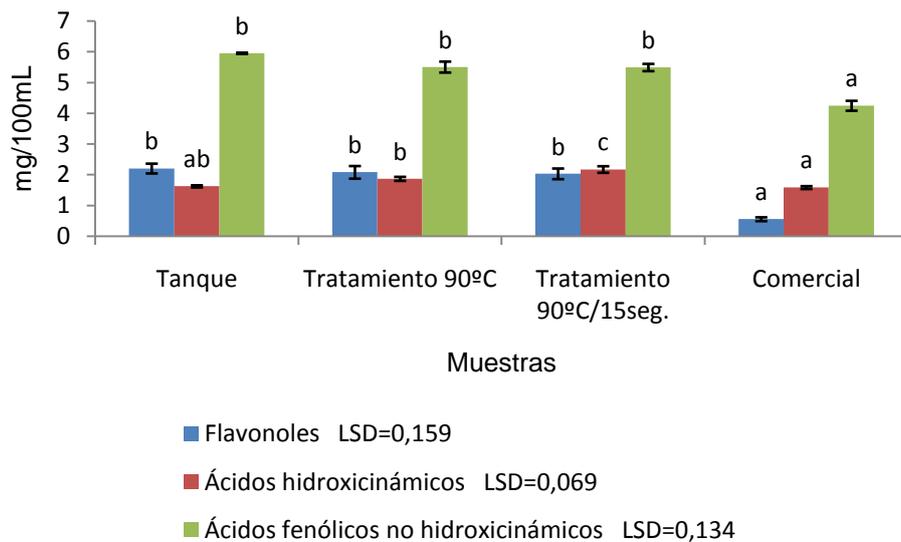


Figura 14. Valores medios de los compuestos fenólicos presentes en el gazpacho. Distintas letras indican diferencias significativas a $p < 0,05$.

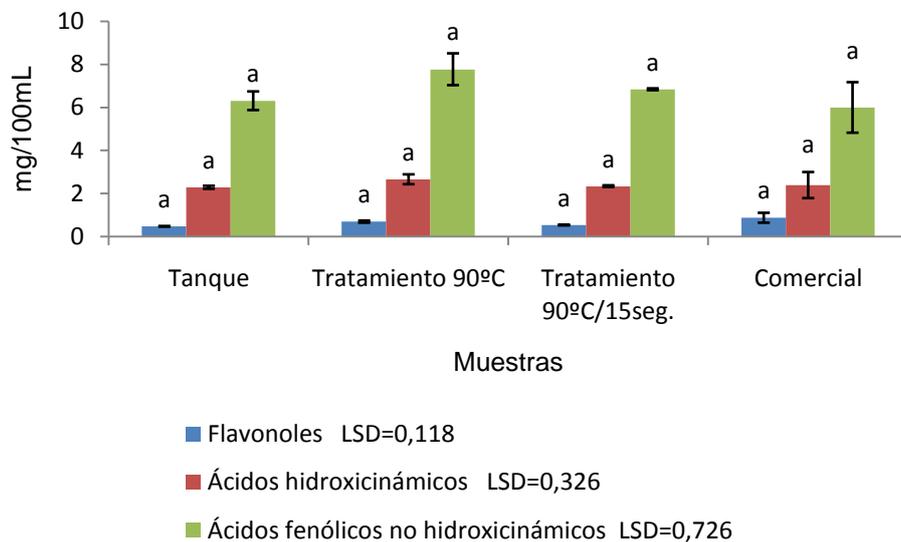


Figura 15. Valores medios de los compuestos fenólicos presentes en la sopa de tomate, menta y albahaca. Distintas letras indican diferencias significativas a $p < 0,05$.

El gazpacho fue el producto que mayor contenido de flavonoles presentó, de entre todos los productos analizados. Por su parte, los ácidos hidroxicinámicos y ácidos fenólicos no hidroxicinámicos estuvieron más presentes en la sopa de tomate, menta y albahaca.

Vallverdú-Queralt *et al.* (2011) identificaron hasta 47 compuestos fenólicos en productos a base de tomate. La composición fenólica varió entre gazpachos y zumos de tomate, presentando el gazpacho mayor número de compuestos fenólicos. Odriozola-Serrano *et al.* (2009) no observaron diferencias significativas en el contenido total de compuestos fenólicos entre zumos de tomate tratados térmicamente y no tratados. Además, observaron que el ácido clorogénico fue el principal derivado de ácido hidroxicinámico en zumo de tomate, tanto en muestras tratadas como no tratadas.

5.4. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de todos los productos y muestras respectivas se midió por diferentes métodos (ABTS⁺, DPPH^{*}, FRAP y ORAC). Cada método antioxidante, en una matriz alimentaria, tiene un patrón de actuación diferente dentro de cada ensayo, lo que resulta en diferentes valores dependiendo del método. Por lo tanto, para asegurar que una muestra posee una mayor capacidad antioxidante se deben realizar varios ensayos para tener una visión global y más amplia de dicha actividad (Gironés-Vilaplana *et al.*, 2013).

Con respecto a ABTS⁺ (Figura 16), la sopa de zanahoria, naranja y cilantro aumentó su valor ($0,70 \pm 0,09$ mM Trolox) como consecuencia del tratamiento aplicado a la muestra comercial. Los otros tratamientos estudiados no suponen diferencias respecto a la muestra de tanque, cuyo valor fue $0,37 \pm 0,05$ mM Trolox. Por su parte, la capacidad antioxidante del gazpacho y de la sopa de tomate, menta y albahaca no se vieron afectados por los tratamientos térmicos estudiados, ya que presentaron valores similares a las muestras de tanque ($0,65 \pm 0,14$ mM Trolox y $0,74 \pm 0,04$ mM Trolox, respectivamente).

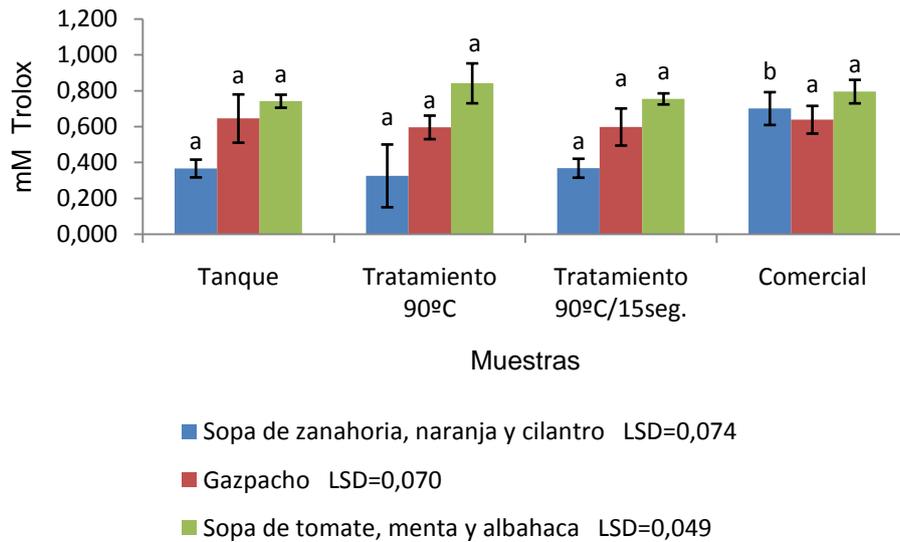


Figura 16. Capacidad antioxidante de los productos estudiados (ABTS⁺ mM Trolox). Distintas letras indican diferencias significativas a $p < 0,05$.

Con respecto al método DPPH^{*} (Figura 17), la sopa de zanahoria, naranja y cilantro aumentó su valor en la muestra comercial ($0,61 \pm 0,10$ mM Trolox) respecto a la muestra de tanque ($0,40 \pm 0,05$ mM Trolox). El gazpacho, al igual que ocurría con el método ABTS⁺, no presentó diferencias entre las distintas muestras como consecuencia del tratamiento térmico, manteniéndose el valor de la muestra de tanque ($0,42 \pm 0,09$ mM Trolox). En la sopa de tomate, menta y albahaca los tratamientos de 90°C y 90°C/15seg. no alteraron el valor de la muestra de tanque ($0,57 \pm 0,07$ mM Trolox), mientras que la muestra comercial sí que presentó un mayor valor ($0,70 \pm 0,02$ mM Trolox). Al igual que ocurría en Patras *et al.* (2009), en los productos cuyo componente principal es el tomate, no se observaron diferencias significativas entre el producto de tomate tratado y no tratado.

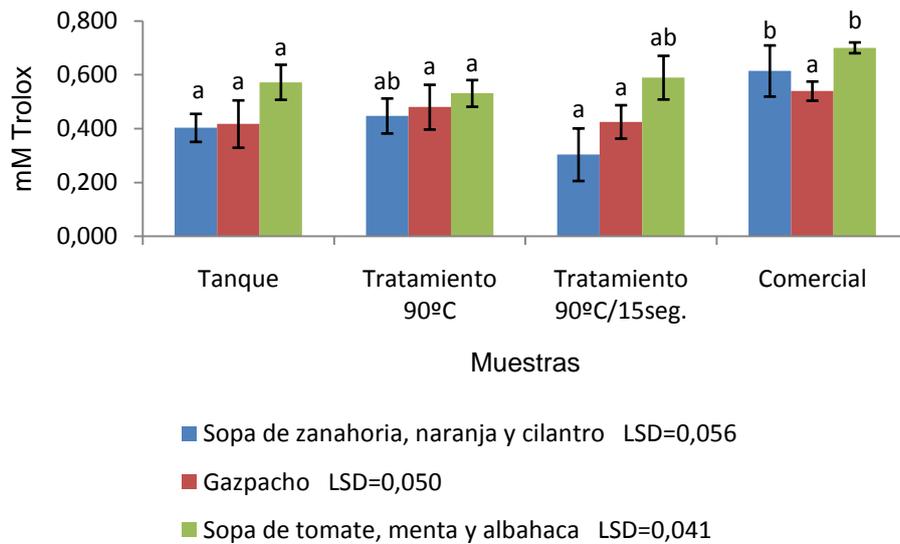


Figura 17. Capacidad antioxidante de los productos estudiados (DPPH' mM Trolox). Distintas letras indican diferencias significativas a $p < 0,05$.

Respecto al método FRAP (Figura 18), la sopa de zanahoria, menta y albahaca vio aumentado su valor en la muestra tratada a 90°C ($0,96 \pm 0,06$ mM Trolox) y la muestra comercial ($1,00 \pm 0,21$ mM Trolox) respecto a la muestra de tanque ($0,68 \pm 0,08$ mM Trolox). En el gazpacho, la muestra comercial se vio afectada, ya que su valor se redujo a $1,14 \pm 0,10$ mM Trolox con respecto a la muestra de tanque ($1,40 \pm 0,11$ mM Trolox), que presentó valores similares en los tratamientos de 90°C y 90°C/15seg. Por su parte, la muestra comercial de la sopa de tomate, menta y albahaca aumentó su valor ($1,94 \pm 0,14$ mM Trolox) respecto a la muestra de tanque ($1,6 \pm 0,11$ mM Trolox).

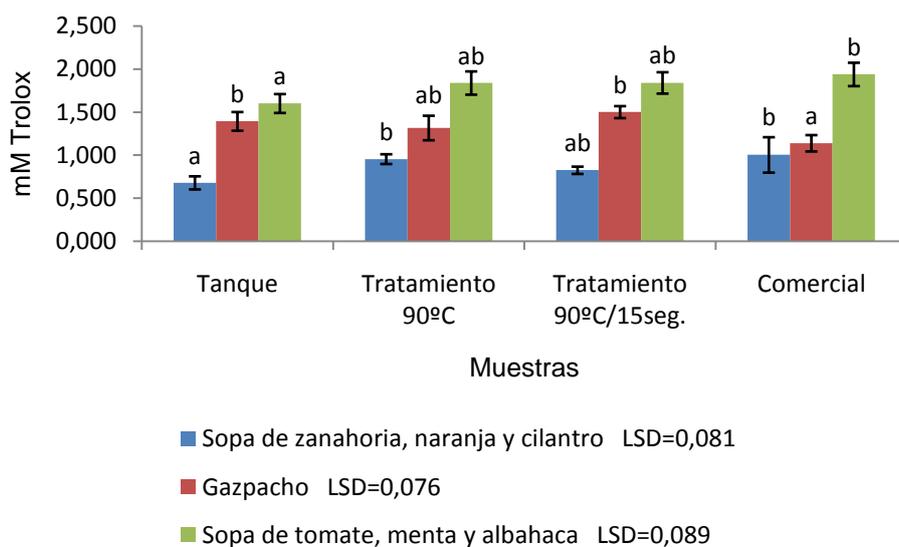


Figura 18. Capacidad antioxidante de los productos estudiados (FRAP mM Trolox). Distintas letras indican diferencias significativas a $p < 0,05$.

En el método ORAC (Figura 19), la muestra de tanque de zanahoria, naranja y cilantro presentó menores valores de capacidad antioxidante que las muestras tratadas. En la muestra de tanque ($1,60 \pm 0,05$ mM Trolox) se observaron diferencias respecto a la muestra tratada a $90^{\circ}\text{C}/15\text{seg.}$ ($2,09 \pm 0,24$ mM Trolox) y la muestra comercial ($2,64 \pm 0,13$ mM Trolox). En el gazpacho, la muestra comercial presentó el menor valor ($1,37 \pm 0,15$ mM Trolox) con diferencias respecto a la muestra de tanque ($1,93 \pm 0,07$ mM Trolox). El valor obtenido en la muestra tratada a $90^{\circ}\text{C}/15\text{seg.}$ destacó sobre los demás ($2,46 \pm 0,12$ mM Trolox). En la sopa de tomate, menta y albahaca las muestras de tanque y comercial no presentaron diferencias ($2,03 \pm 0,62$ mM Trolox y $1,90 \pm 0,09$ mM Trolox, respectivamente), aunque la muestra tratada a 90°C presentó significativamente un mayor valor ($2,75 \pm 0,26$ mM Trolox).

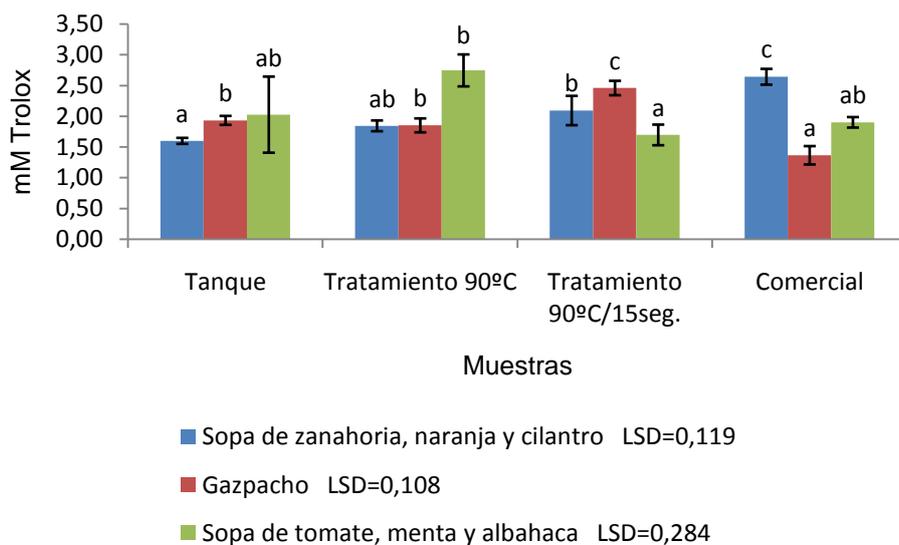


Figura 19. Capacidad antioxidante de los productos estudiados (ORAC mM Trolox). Distintas letras indican diferencias significativas a $p < 0,05$.

Los diferentes métodos de medición de la capacidad antioxidante nos revelan que la sopa de zanahoria, naranja y cilantro retuvo la capacidad antioxidante tras el procesamiento térmico, llegando a aumentarla en algunos casos en la muestra comercial. Ma *et al.* (2013) revelaron que este hecho también ocurría en zumo de zanahoria, por lo que éste puede servir como una de las posibles fuente de la dieta de antioxidantes naturales para la nutrición humana y la salud.

Por su parte, el gazpacho no se vio muy influenciado por los tratamientos térmicos, aunque en algunos casos la capacidad antioxidante disminuyó en las muestras comerciales. La sopa de tomate, menta y albahaca tampoco se vio muy afectada por los tratamientos térmicos en cuanto a su capacidad antioxidante, llegando a aumentar en algunos casos en muestras comerciales, como ocurría en la sopa de zanahoria, naranja y cilantro.

En general, la sopa de tomate, menta y albahaca fue la que presentó mayor capacidad antioxidante, seguida por el gazpacho, siendo la sopa de zanahoria, naranja y cilantro el producto con una menor capacidad

antioxidante. Estas actividades antioxidantes están vinculadas con los compuestos fenólicos presentes en los distintos productos.

En resumen, el efecto de los tratamientos térmicos depende de la temperatura y duración de los mismos y de los productos sobre los que se aplique. Para la sopa de zanahoria, naranja y cilantro, la muestra comercial es la que presentó mayores valores de capacidad antioxidante tras el procesado térmico, sin afectar negativamente a los otros parámetros de calidad estudiados. En el gazpacho, el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante se vieron reducidos en la muestra comercial, mientras que los valores de pH y SST no sufrieron variaciones importantes. Sin embargo, los parámetros L^* , a^* y b^* fueron mayores en la muestra comercial, proporcionando un aumento del color rojo y amarillo. Los tratamientos de 90°C y 90°C/15 seg. mantuvieron los niveles de actividad antioxidante de la muestra de tanque, aunque los parámetros de color no fueron más bajos que en la muestra comercial. En la sopa de tomate, menta y albahaca, la muestra comercial presentó mejores valores de capacidad antioxidante, y los parámetros L^* , a^* y b^* favorecieron los colores rojo y amarillo. Los valores de pH y SST no sufrieron grandes variaciones.

6. Conclusiones

- ✓ Los tratamientos térmicos aplicados a los productos estudiados no afectaron de forma acusada a los valores de pH y SST de los mismos. Las mayores diferencias se dieron entre las muestras de tanque y las muestras comerciales.
- ✓ Los parámetros de color de los productos analizados se vieron afectados por los distintos tratamientos térmicos aplicados. En general, el tratamiento comercial produjo cambios más significativos en los distintos parámetros, presentando los mayores valores de los parámetros L^* , b^* , *Chroma*.
- ✓ En relación a los compuestos fenólicos, estos no sufrieron variación alguna en las muestras de sopa de zanahoria, naranja y cilantro y en la sopa de tomate, menta y albahaca. En el gazpacho, el contenido de compuestos fenólicos se vio reducido, siendo los flavonoles y los ácidos fenólicos no hidroxicinámicos los más afectados.
- ✓ La sopa de zanahoria, naranja y cilantro y la sopa de tomate menta y albahaca mantuvieron la capacidad antioxidante tras los distintos procesos térmicos, llegando incluso a aumentar en algunos casos. El gazpacho tampoco se vio muy afectado, aunque en algunos la capacidad antioxidante disminuyó en las muestras comerciales.
- ✓ Aunque se ha determinado que algunos tratamientos térmicos afectaron ligeramente a ciertos parámetros estudiados en algunos de los productos analizados, estas variaciones no fueron muy significativas, por lo que los tratamientos aplicados pueden ser muy eficaces para preservar la vida útil de estos productos, manteniendo la gran mayoría de sus propiedades, crucial hoy en día para la industria alimentaria.

7. Referencias

- Bevilacqua, A., Sinigaglia, M., & Corbo, M. R. (2009). Effects of pH, cinnamaldehyde and heat-treatment time on spore viability of *Alicyclobacillus acidoterrestris*. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 380-385.
- Ćetković, G., Savatović, S., Čanadanović-Brunet, J., Djilas, S., Vulić, J., Mandić, A., & Četojević-Simin, D. (2012). Valorisation of phenolic composition, antioxidant and cell growth activities of tomato waste. *Food Chemistry*, 133(3), 938-945.
- Condelli, N., Caruso, M. C., Galgano, F., Russo, D., Milella, L., & Favati, F. (2015). Prediction of the antioxidant activity of extra virgin olive oils produced in the Mediterranean area. *Food Chemistry*, 177, 233-239.
- Crozier, A., Jaganath, I. B., & Clifford, M. N. (2009). Dietary phenolics: Chemistry, bioavailability and effects on health. *Natural Product Reports*, 26, 1001-1043.
- Elez-Martínez, P., & Martín-Belloso, O. (2007). Effects of high intensity pulsed electric field processing conditions on vitamin C and antioxidant capacity of orange juice and gazpacho, a cold vegetable soup. *Food Chemistry*, 102(1), 201-209.
- El-Seedi, H. R., El-Said, A. M., Khalifa, S. A., Göransson, U., Bohlin, L., Borg-Karlson, A. K., & Verpoorte, R. (2012). Biosynthesis, natural sources, dietary intake, pharmacokinetic properties, and biological activities of hydroxycinnamic acids. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(44), 10877-10895.
- Fellows, P. (2000). Pasteurization. In P. Fellows (Ed.). *Food Processing Technology*. Florida: CRC Press.
- Franco, M. N., Galeano-Díaz, T., López, Ó., Fernández-Bolaños, J. G., Sánchez, J., De Miguel, C., Gil, V. M., & Martín-Vertedor, D. (2014). Phenolic compounds and antioxidant capacity of virgin olive oil. *Food chemistry*, 163, 289-298.

- Gil-Izquierdo, A., Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., & Ferreres, F. (2003). Influence of industrial processing on orange juice flavanone solubility and transformation to chalcones under gastrointestinal conditions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(10), 3024-3028.
- Gironés-Vilaplana, A., Villaño, D., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2013). New isotonic drinks with antioxidant and biological capacities from berries (maqui, açai and blackthorn) and lemon juice. *International journal of food sciences and nutrition*, 64(7), 897-906.
- Gironés-Vilaplana, A., Mena, P., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2014). Evaluation of sensorial, phytochemical and biological properties of new isotonic beverages enriched with lemon and berries during shelf life. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1090-1100.
- Gonçalves, E. M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. (2010). Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 574-581.
- Hsu, K. C. (2008). Evaluation of processing qualities of tomato juice induced by thermal and pressure processing. *LWT-Food Science and Technology*, 41(3), 450-459.
- Klaiber, R. G., Baur, S., Koblo, A., & Carle, R. (2005). Influence of washing treatment and storage atmosphere on phenylalanine ammonialyase activity and phenolic acid content of minimally processed carrot sticks. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53, 1065–1072.
- Ma, T., Tian, C., Luo, J., Zhou, R., Sun, X., & Ma, J. (2013). Influence of technical processing units on polyphenols and antioxidant capacity of carrot (*Daucus carota* L.) juice. *Food chemistry*, 141(3), 1637-1644.
- Motilva, M. J., Macià, A., Romero, M. P., Labrador, A., Domínguez, A., & Peiró, L. (2014). Optimisation and validation of analytical methods for the simultaneous extraction of antioxidants: Application to the analysis of tomato sauces. *Food chemistry*, 163, 234-243.

- Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Hernández-Jover, T., & Martín-Belloso, O. (2009). Carotenoid and phenolic profile of tomato juices processed by high intensity pulsed electric fields compared with conventional thermal treatments. *Food Chemistry*, *112*(1), 258-266.
- Patras, A., Brunton, N., Da Pieve, S., Butler, F., & Downey, G. (2009). Effect of thermal and high pressure processing on antioxidant activity and instrumental colour of tomato and carrot purées. *Innovative food science & emerging technologies*, *10*(1), 16-22.
- Pérez-Conesa, D., García-Alonso, J., García-Valverde, V., Iniesta, M. D., Jacob, K., Sánchez-Siles, L. M., Ros, G., & Periago, M. J. (2009). Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during homogenization and thermal processing of tomato puree. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *10*(2), 179-188.
- Razzaghi-Asl, N., Garrido, J., Khazraei, H., Borges, F., & Firuzi, O. (2013). Antioxidant properties of hydroxycinnamic acids: a review of structure-activity relationships. *Current Medicinal Chemistry*, *20*(36), 4436-4450.
- Rivas, A., Rodrigo, D., Martínez, A., Barbosa-Cánovas, G. V., & Rodrigo, M. (2006). Effect of PEF and heat pasteurization on the physical-chemical characteristics of blended orange and carrot juice. *LWT-Food Science and Technology*, *39*(10), 1163-1170.
- Sánchez-Rodríguez, E., Ruiz, J. M., Ferreres, F., & Moreno, D. A. (2012). Phenolic profiles of cherry tomatoes as influenced by hydric stress and rootstock technique. *Food chemistry*, *134*(2), 775-782.
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*. doi: 10.1016/j.jff.2015.01.047
- Tabart, J., Kevers, C., Pincemail, J., Defraigne, J. O., & Dommes, J. (2009). Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests. *Food Chemistry*, *113*(4), 1226-1233.
- Vallverdú-Queralt, A., Jáuregui, O., Di Lecce, G., Andrés-Lacueva, C., & Lamuela-Raventós, R. M. (2011). Screening of the polyphenol content of

tomato-based products through accurate-mass spectrometry (HPLC–ESI-QTOF). *Food chemistry*, 129(3), 877-883.

Vallverdú-Queralt, A., Medina-Remón, A., Casals-Ribes, I., Andres-Lacueva, C., Waterhouse, A. L., & Lamuela-Raventos, R. M. (2012). Effect of tomato industrial processing on phenolic profile and hydrophilic antioxidant capacity. *LWT-Food Science and Technology*, 47(1), 154-160.