

ESTABILIDAD BAJO REFRIGERACIÓN DE VITAMINAS Y CAROTENOIDES EN SALMOREJO TRATADO POR RADIOFRECUENCIAS

Marina Kravets¹, Andrés Abea², Maria Dolors Guàrdia², Israel Muñoz², Javier García-Alonso¹ y Sancho Bañón¹

1: Departamento de Tecnología de los Alimentos, Nutrición y Bromatología. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. CEIR Campus Mare Nostrum. Campus Universitario. Espinardo. 30100. Murcia; 2: Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries IRTA – Programa de Calidad y Tecnología Alimentarias, Finca Camps i Armet, E-17121, Monells, Girona

Marina Kravets

marina.kravets@um.es

.....

Resumen El calentamiento dieléctrico por radiofrecuencias (RF) podría ser adecuado para pasteurizar fluidos de alta viscosidad, como el salmorejo, porque mejora la transferencia de calor al producto con respecto a la pasteurización convencional (PC). El objetivo fue determinar la retención de nutrientes clave (vitaminas C y E, y carotenoides) en un salmorejo alternativamente tratado mediante PC o RF y mantenido hasta 5 meses en refrigeración. Una vez refrigerado, la vitamina C del salmorejo pasteurizado se degrada rápida y completamente debido a la oxidación del producto. En cambio, tanto la vitamina E, como los carotenoides (licopenos y β -caroteno) presentes, sólo experimentan una leve pérdida y resisten bien bajo refrigeración. De esto se deduce que el almacenamiento a 4°C contribuye a estabilizar los tocoferoles y carotenoides presentes en el salmorejo.

Palabras clave: tomate, refrigeración, pasteurización, vitaminas, antioxidantes.

1. INTRODUCCIÓN

Las implicaciones nutricionales tienen un gran peso en la tecnología alimentaria actual. Cada vez existe una mayor oferta de productos vegetales denominados "como-frescos/ fresh-like", cuyo alto valor nutricional es a menudo utilizado como un reclamo de cara al consumidor [1]. Por su composición, básicamente tomate y aceite de oliva, el salmorejo recién preparado aporta a la dieta carotenoides como el licopeno y vitaminas C y E [2]. Sin embargo, su contenido puede verse mermado por las condiciones aplicadas para su fabricación y comercialización. El salmorejo industrial generalmente se somete a un proceso de pasteurización suave y después se oferta en lineales refrigerados, lo que puede disminuir su valor nutricional en el momento de su consumo. El tomate no es particularmente rico en vitamina C, un compuesto termosensible y muy susceptible a la oxidación. Además, durante el procesado del tomate, el ácido ascórbico (en inglés, AA) se oxida con cierta facilidad a ácido dehidroascórbico (en inglés, DHA), el cual acaba degradándose en otros compuestos. Por su parte, los tocoferoles, presentes sobre todo en el aceite de oliva, actúan como antioxidantes de los lípidos siendo también susceptibles a la oxidación. La presencia de enzimas como la polifenoloxidasas y la peroxidasa (en inglés, PPO y POD), potencia las reacciones de oxidación en los productos a base de tomate, pudiendo afectar a compuestos polifenólicos como el licopeno. Entre los factores tecnológicos que pueden potenciar la

oxidación en productos homogeneizados vegetales destacan: (i) la propia homogenización del producto, que suele introducir oxígeno, (ii) la acidificación, (iii) el tratamiento térmico y (iv) el tiempo de almacenamiento [3].

Visto lo anterior, la retención de nutrientes termosensibles en el salmorejo pasa por aplicar tratamientos térmicos efectivos para inactivar las enzimas prooxidantes del tomate, lo cual no es tarea fácil. Actualmente se están testando nuevos métodos para pasteurizar este tipo de productos, entre los que se encuentra el calentamiento dieléctrico por radiofrecuencias (RF). Se ha visto que la transferencia de calor mediante ondas de radio permite un calentamiento más homogéneo y rápido que el conseguido mediante una pasteurización convencional (PC). Por tanto, el calentamiento por RF podría ser particularmente eficaz en fluidos de alta viscosidad, como el salmorejo, que tienen cierta dificultad para ser procesados en los intercambiadores de calor [4]. Actualmente, existen equipos de RF disponibles a escala piloto e industrial que podrían ser implementados.

La hipótesis de trabajo fue que el calentamiento mediante RF podría mejorar (respecto a PC) el grado de retención de nutrientes termosensibles (vitaminas y antioxidantes) del salmorejo durante su vida comercial en refrigeración.

El objetivo fue determinar la evolución del contenido en vitamina C (ácido ascórbico y dehidroascórbico), vitamina E (α -tocoferol) y carotenoides totales (β -caroteno y licopenos) en un salmorejo alternativamente tratado mediante PC o RF y mantenido hasta 5 meses en refrigeración.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se basó en un diseño bifactorial (método de pasteurización y tiempo de almacenamiento) completamente al azar. El tamaño de muestra fue $n=6$ por tratamiento y nivel. El salmorejo fue elaborado en la planta piloto del IRTA ubicada en Monells, Girona, España. Los ingredientes utilizados fueron: tomate (*Solanum lycopersicum*) de la variedad rama de primavera (87,6 %), aceite de oliva virgen (5 %), pan rallado (3%), fibra alimentaria soluble (2 %), vinagre (1,5 %), ajo (0,2 %) y sal (0,7 %). Las etapas del proceso de elaboración fueron las siguientes: recepción de materias primas; lavado; triturado, tamizado, mezclado, molienda, acondicionamiento, precalentamiento; pasteurización y envasado aséptico (en botes de HDPE de 250 ml). La pasteurización convencional fue realizada en un pasteurizador de dos etapas (Inoxpa), mientras que la pasteurización por RF se realizó en un equipo 45 kW EVO trabajando a 27.12 MHz (Cartigliano). Ambos equipos procesaban 200L/h de producto. Una vez envasado, el salmorejo se mantuvo hasta 5 meses a 4 °C en la oscuridad y se congeló a -18 °C hasta su posterior análisis. Los análisis cromatográficos (HPLC- DAD; Agilent 1200) realizados fueron los siguientes: vitamina C (ácidos ascórbico y dehidroascórbico) [5]; carotenoides: β -caroteno y licopenos (suma de E-licopeno e isómeros 15-Z y 9-Z) [6] y vitamina E (α -tocoferol) [7].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra el contenido en AA, DHA y α -tocoferol del salmorejo, mientras que la figura 1 representa el contenido total acumulado de vitamina C. Con independencia del método de pasteurización empleado, el salmorejo recién fabricado mantuvo considerables niveles de AA y DHA, sin embargo, prácticamente toda la vitamina C presente en el salmorejo acabó degradándose tras un mes de almacenamiento en refrigeración. Por su parte, el contenido en α -tocoferol, el compuesto mayoritario de la vitamina E, apenas descendió a lo largo del almacenamiento, resultando por tanto bastante estable bajo refrigeración. La pasteurización mediante RF apenas mejoró los resultados obtenidos con la PC: inicialmente hubo una menor degradación de AA y un mayor contenido de vitamina C en el producto RF recién pasteurizado, pero esta posible ventaja nutricional desapareció completamente tras un mes de almacenamiento refrigerado.

Tabla 1. Efecto del método de pasteurización y el tiempo de almacenamiento en refrigeración sobre el contenido en ácidos ascórbico y dehidroascórbico (mg/100g) y α -tocoferol (μ g/100g) del salmorejo.

Meses a 4 °C	AA				DHA				Vit E			
	PC		RF		PC		RF		PC		RF	
	M		M		M		M		M		M	
0	19,63	b	21,49	a	10,44	a	8,64	b	1340,5	a	1272,7	ab
1	1,23	c	1,12	cde	3,19	c	3,82	c	1189,0	bc	1170,7	bc
2	1,19	cd	1,17	cd	1,04	d	0,50	d	1236,8	abc	1225,8	abc
3	1,15	cde	1,03	cde	0,15	d	0,31	d	1165,4	bc	1120,3	c
4	1,08	cde	1,10	cde	0,80	d	0,85	d	1126,7	c	1140,9	bc
5	0,94	de	0,90	e	0,76	d	0,76	d	1167,9	bc	1178,4	bc
ES	0,075				0,412				42,13			
Efectos												
Pasteurización	***				NS				NS			
Refrigeración	***				***				***			
Interacciones	***				**				NS			

Abreviaturas: AA: ácido ascórbico, DHA: ácido dehidroascórbico; PC: Pasteurización convencional; RF: Radiofrecuencias; M: Media; ES: Error estándar medio.

^{a-e} Efectos (ANOVA dos vías) (Tukey Test). Probabilidad: *** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; ^{NS} $P > 0,05$.

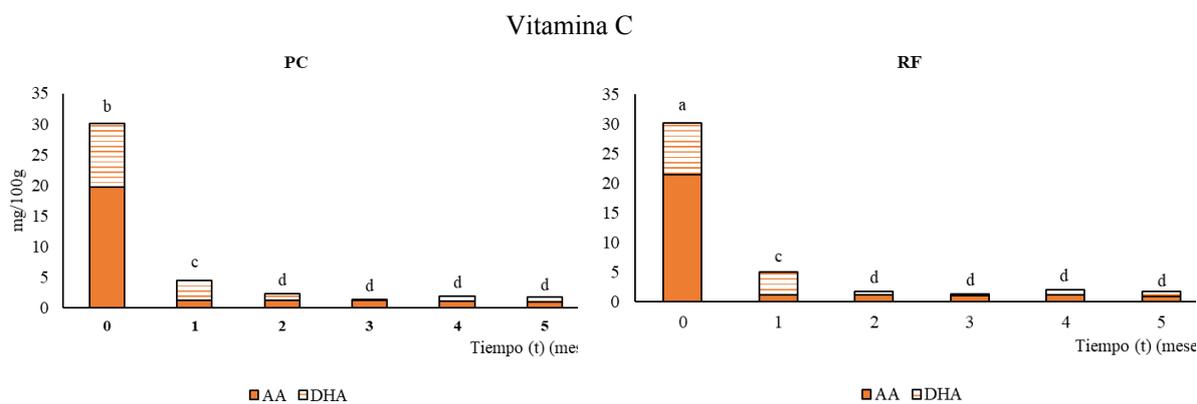


Figura 1. Efecto del método de pasteurización y el tiempo de almacenamiento en refrigeración sobre el contenido en vitamina C (suma de AA y DHA) del salmorejo.

La tabla 2 muestra los contenidos totales de licopeno y β -caroteno del salmorejo, mientras que la figura 2 representa el contenido total de carotenoides. Como cabía esperar, el contenido total de carotenoides del salmorejo también disminuyó lenta pero gradualmente a lo largo del almacenamiento, mientras que el contenido total en licopeno, el carotenoide mayoritario del tomate, experimentó un acusado descenso tras el primer mes. Cabe destacar que, a diferencia de lo visto para la vitamina C, el salmorejo refrigerado retuvo buena parte de su contenido inicial en ambos antioxidantes tras 5 meses de almacenamiento. Los niveles de ambos antioxidantes fueron similares en el salmorejo PC y RF, aunque la velocidad de degradación fue algo menor en el segundo. En cualquier caso, los resultados no fueron muy claros, por lo que no se puede afirmar que la pasteurización por RF empeora la retención de carotenoides.

Tabla 2. Efecto del método de pasteurización y el tiempo de almacenamiento en refrigeración sobre el contenido (mg/kg) en β -caroteno y licopenos del salmorejo.

Meses a 4 °C	CT				LT			
	PC		RF		PC		RF	
	M		M		M		M	
0	3,53	a	3,37	ab	18,14	a	16,99	ab
1	3,25	abc	3,13	bcd	11,49	cd	14,34	abc
2	2,88	de	2,92	cde	11,28	cd	11,88	cd
3	2,68	ef	2,70	ef	11,63	cd	10,15	d
4	2,74	ef	2,80	def	12,94	cd	13,75	bcd
5	2,62	ef	2,50	f	12,65	cd	12,28	cd
ES	0,107				1,130			
Efectos								
Pasteurización	NS				NS			
Refrigeración	***				***			
Interacciones	NS				NS			

Abreviaturas: LT: Licopenos totales; CT: β -caroteno, PC: Pasteurización convencional RF: Radiofrecuencias; M: Media; ES: Error estándar medio.

^{a-e} Efectos (ANOVA dos vías) (Tukey Test). Probabilidad: *** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; NS $P > 0,05$.

Carotenoides totales (CT)

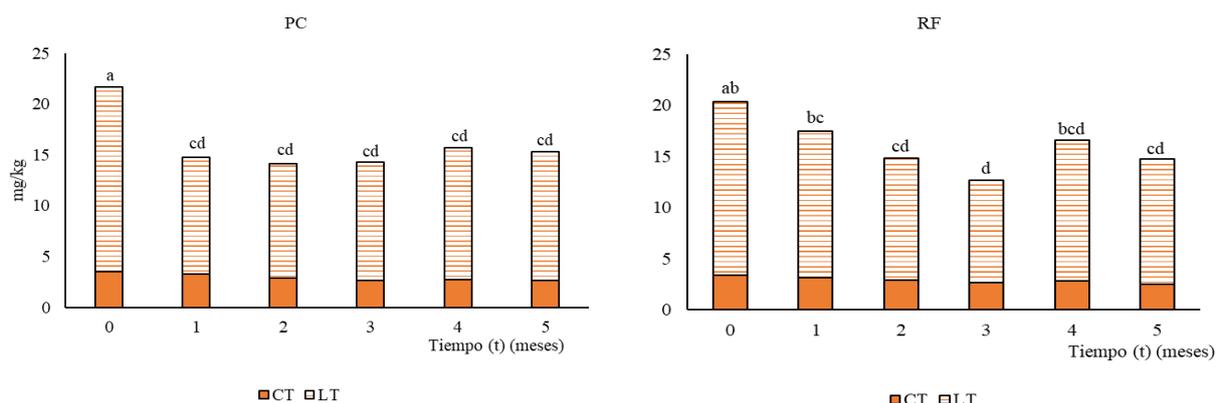


Figura 2. Efecto del método de pasteurización y el tiempo de refrigeración sobre el contenido en carotenoides totales (suma de licopenos y β -caroteno) del salmorejo.

Un estudio preliminar [8] reveló que ambos tratamientos térmicos (PC y RF) en su conjunto (precalentamiento, pasteurización y envasado) proporcionan un grado de inhibición similar para las enzimas POD y PPO. En ambos casos, el salmorejo recién pasteurizado mantuvo cierta actividad oxidasa durante el primer mes de almacenamiento en refrigeración, lo que condujo a una pérdida significativa, aunque moderada, de su capacidad antioxidante. Esto es coherente con la degradación observada para la vitamina C, ya que esta vitamina constituye el mecanismo antioxidante primario en estas matrices alimentarias [9].

En cambio, otros antioxidantes lipófilos, como los tocoferoles y carotenoides, se vieron mucho menos afectados por las reacciones de oxidación acontecidas en el salmorejo durante su largo almacenamiento refrigerado. Esto podría explicarse en parte porque la vitamina C es capaz de regenerar los tocoferoles y carotenoides oxidados. Por ello, las pérdidas acusadas de vitamina C podrían indicar que esta actuó protegiendo a los carotenoides y tocoferoles frente a la oxidación durante el almacenamiento [10].

4. CONCLUSIONES

El salmorejo recién pasteurizado retiene cantidades relevantes de vitamina C y E y licopeno, si bien una parte considerable del ácido ascórbico se transforma a ácido dehidroascórbico debido al tratamiento mecánico y térmico. La pasteurización "flash" con un intercambiador de calor convencional o con un equipo de RF proporciona resultados similares en términos de degradación de nutrientes. Una vez refrigerado, la vitamina C del salmorejo pasteurizado se degrada rápidamente debido a la oxidación gradual del producto. En cambio, tanto la vitamina E, como los carotenoides presentes, experimentan una leve pérdida y resisten bajo refrigeración. De esto se deduce que el almacenamiento a 4°C contribuye a estabilizar los tocoferoles y carotenoides presentes en el salmorejo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación de España la concesión del proyecto RTI2018-098052-R-C32 "Caracterización, modelización y sostenibilidad medioambiental del procesamiento por radiofrecuencias de homogeneizados vegetales viscosos" que ha financiado la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] Hurtado A, Picouet P, Jofré A, Guàrdia MD, Ros JM, Bañón S. Application of High Pressure Processing for Obtaining "Fresh-Like" Fruit Smoothies. *Food Bioprocess Technol.* 2015 12:2470- 82.
- [2] Moreno Rojas R, Moreno Ortega A, Medina Canalejo LM, Vioque Amor M, Cámara Martos F. Bases para la estandarización y valoración nutricional del salmorejo cordobés: Estudio sobre el salmorejo en los establecimientos de restauración de Córdoba. *Nutr Hosp.* 2016, 1:111-7.
- [3] García-Valverde V, Navarro-González I, García-Alonso J, Periago MJ. Antioxidant Bioactive Compounds in Selected Industrial Processing and Fresh Consumption Tomato Cultivars. *Food Bioprocess Technol.* 2013, 2:391-402.
- [4] Tuta S, Palazoğlu TK. Finite element modeling of continuous-flow microwave heating of fluid foods and experimental validation. *J Food Eng.* 2017, 192:79-92.
- [5] Böhm V. Use of column temperature to optimize carotenoid isomer separation by C30 high performance liquid chromatography. 2001, 24:955-9.
- [6] Gahler S, Otto K, Böhm V. Alterations of Vitamin C, Total Phenolics, and Antioxidant Capacity as Affected by Processing Tomatoes to Different Products. *J Agric Food Chem.* 2003, 51:27.
- [7] Seybold C, Fröhlich K, Bitsch R, Otto K, Böhm V. Changes in contents of carotenoids and vitamin E
- [8] during tomato processing. *J Agric Food Chem.* 2004, 52:7005-10.
- [9] Kravets M, Abea A, Guàrdia MD, Muñoz I, Ros JM, Bañón S. Actividad polifenoloxidasas y peroxidasa en salmorejo estabilizado mediante radiofrecuencias y refrigeración. 2022 (CYTEF).
- [10] Hurtado A, Dolores Guàrdia M, Picouet P, Jofré A, Bañón S, Ros JM. Shelf-life extension of multi-vegetables smoothies by high-pressure processing compared with thermal treatment. Part I: Microbial and enzyme inhibition, antioxidant status, and physical stability. *J Food Process Preserv.* 2019, 43.
- [11] Liu C, Russell RM, Wang XD. α -Tocopherol and Ascorbic Acid Decrease the Production of Apocarotenals and Increase the Formation of Retinoids from β -Carotene in the Lung Tissues of Cigarette Smoke-Exposed Ferrets *In Vitro*. *Journal Nut.* 2004, 134 (2): 426-430.