



Presente y futuro en la elaboración de vinos y alimentos: uso de Pulsos eléctricos de alto voltaje (PEF)

Marcos Maza, María Laura Sánchez

Dpto. de Ciencias Enológicas y Agroalimentarias – Cátedra de Enología I. Cátedra de Microbiología.

Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo

mmaza@fca.uncu.edu.ar

Introducción

Tradicionalmente, se han empleado tratamientos térmicos con altas temperaturas y un elevado consumo de energía en la industria alimentaria con el propósito de prolongar la vida útil de los alimentos. En la actualidad, la industria tiende a sustituir las antiguas tecnologías de tratamiento térmico en el procesamiento de alimentos por métodos alternativos más modernos.

En las últimas décadas se ha incrementado el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten procesar alimentos a temperaturas más bajas que una pasteurización, para favorecer los efectos sobre sus propiedades nutritivas y sensoriales. Se las conoce como tecnologías “no térmicas” y algunas de ellas incluyen: Altas Presiones Hidrostáticas, Ultrasonidos, Microondas, Radiación Ultravioleta, Luz Pulsada y los Pulsos Eléctricos de Alto Voltaje (PEF, por sus siglas en inglés, Pulsed Electric Fields) (Misra et al., 2018, Padma Ishwarya et al., 2022). La investigación en el uso de tecnología PEF se encuentra en constante aumento en todo el mundo (Figura 1, pág. 18)

(Ferrari G. 4th PEF School 2017). Actualmente se la considera una tecnología emergente, y que, debido a los grandes avances tecnológicos y electrónicos actuales, han reducido los costos de construcción de los equipos de PEF.

La técnica PEF consiste en la aplicación intermitente de una diferencia de potencial con una duración del orden de la millonésima parte de un segundo (μs) a un producto colocado entre dos electrodos. Como resultado, se genera un campo eléctrico (E) cuya intensidad depende tanto de la diferencia de potencial (V) como de la distancia entre los electrodos (d). Cuando el campo eléctrico aplicado supera un umbral determinado, se produce un fenómeno llamado electroporación, que implica la desorganización de la membrana celular y la apertura de los poros, que permiten la entrada y salida de diversos compuestos hacia y desde la célula, en otras palabras, se aumenta la permeabilidad de la membrana citoplasmática. El campo eléctrico necesario para la electroporación de las células depende de diversos factores, entre ellos el tamaño de la célula. Cuanto más pequeña es

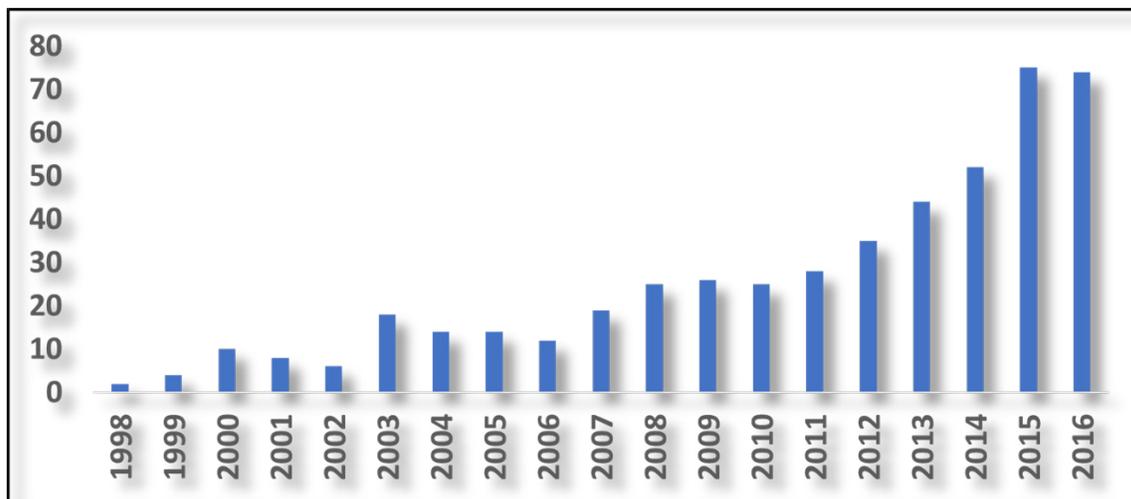


Figura 1. Incremento de publicaciones científicas en los últimos años en aplicación con PEF extracción (Ferrari G. 4th PEF School 2017).

la célula, mayor intensidad se requiere, si la intensidad del campo eléctrico aplicado presenta el valor crítico, es posible que la deformación de la membrana sea reversible, mientras que cuando se superan los valores críticos, este efecto es irreversible y puede provocar la muerte de las células (Weaver 1995).

Aplicaciones de PEF

La modificación de la permeabilidad de las membranas celulares es la base para las diversas aplicaciones de PEF en la industria alimentaria. Los resultados obtenidos mediante estos tratamientos en diferentes productos alimenticios son realmente prometedores. Se logra mejorar el sabor, los atributos funcionales, la textura y la vida útil, especialmente en términos de seguridad microbiológica y viabilidad económica de los productos alimentarios (Dunne, 2001). Además, se ha observado que el PEF se puede aplicar en la extracción de compuestos intracelulares de células vegetales, utilizando diversos métodos de extracción sólido-líquido. La eficiencia del proceso de extracción se ve influenciada por el grado de desintegración de la membrana celular. Algunos de los resultados más relevantes se han obtenido en la extracción de pigmentos intracelulares como los de remolacha azucarera, almidón de papa o jugo de manzana (Chalermchat, Fincan y Dejmek, 2004; Eshtiaghi y Knorr, 2002). La tecnología PEF también ha demostrado ser útil en el tratamiento de secado y deshidratación osmótica de frutas

y verduras (Taiwo, Angersbach y Knorr, 2002), así como en el procesamiento de papas fritas, reduciendo la presión de corte y desgaste de las cuchillas, mejorando la flexibilidad y el proceso de freído (Kranjc et al., 2016). En la figura 2 (pág. 19) se observan los posibles usos de PEF en la industria alimenticia.

Extracción de polifenoles

Uno de los efectos más destacados de la electroporación de la membrana es el aumento de la permeabilidad de las células de tejidos vegetales. Este fenómeno favorece la extracción de compuestos intracelulares, mejorando tanto el rendimiento como la reducción del tiempo en éstos procesos. Se ha demostrado que la permeabilización inducida por PEF facilita la extracción de diversas sustancias intracelulares, como azúcar, aceite y jugo, sin afectar significativamente las características del tejido y del extracto (Donsì, Ferrari y Pataro, 2010). La extracción de los pigmentos intracelulares es un objetivo importante en la industria alimentaria y enológica. Para ello, se han propuesto diferentes técnicas como la termo-vinificación o la “flash-expansión” que requieren altas inversiones iniciales, costos operativos elevados, ocupan instalaciones fijas y generan un calentamiento de la vendimia que modifica los atributos sensoriales del vino. En contraste, el uso de PEF permite aumentar la velocidad de extracción de los compuestos fenólicos con bajos costos

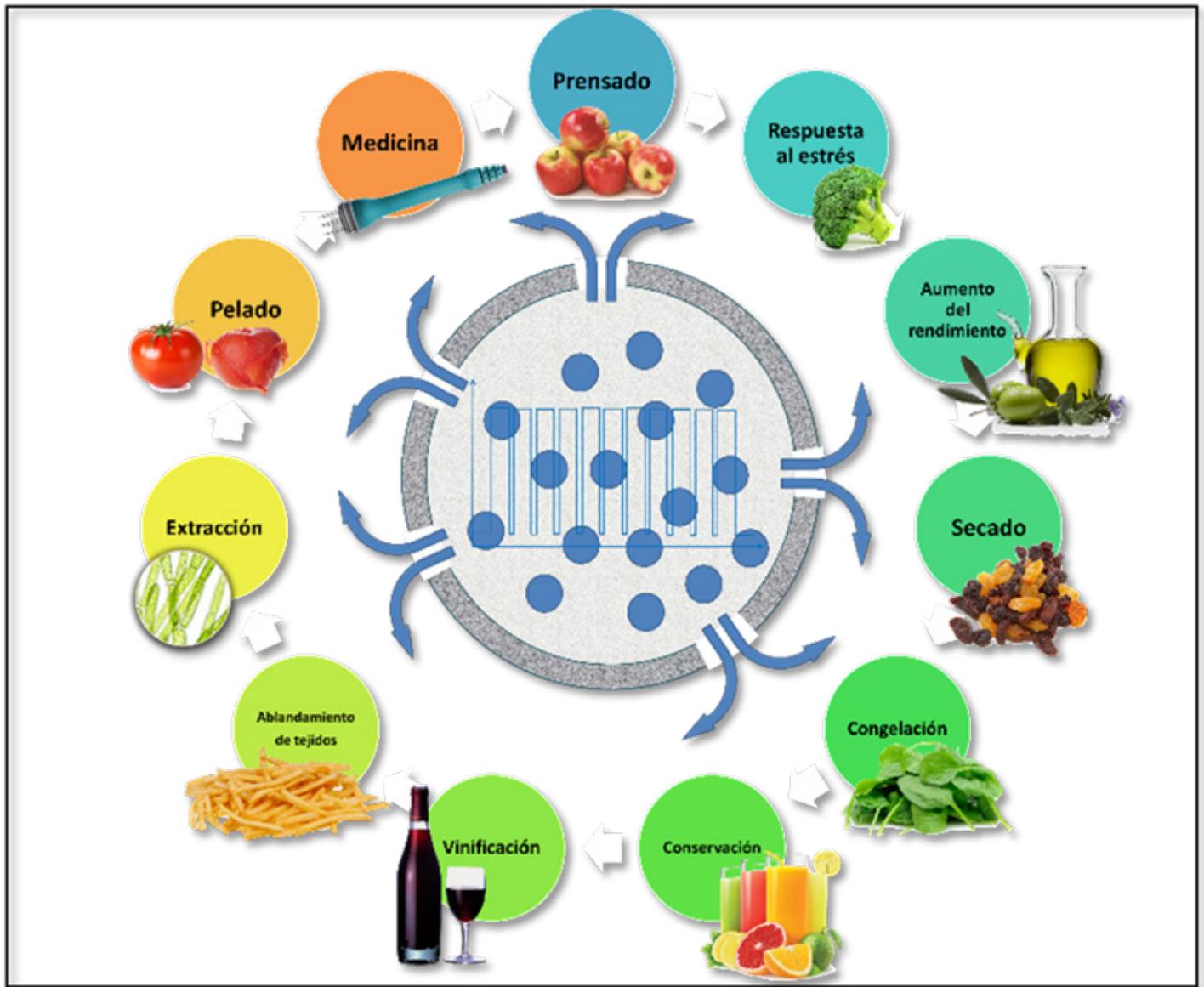


Figura 2. Esquema de múltiples campos de acción y estudio de la Tecnología PEF (Pulsed Electric Fields) en la actualidad (Maza et al. 2017)

de inversión e instalación, menor consumo de energía y procesamiento, sin aumentar la temperatura de la vendimia y preservando el carácter varietal de los vinos, sin la necesidad de ocupar un espacio permanente en la bodega (Maza, Álvarez y Raso, 2019). Sumado a esto, se han reportado estudios que indican mejoras en la extracción de pigmentos colorantes de plantas y organismos unicelulares (Luengo et al., 2014; Martínez et al., 2019).

Recientemente, la Organización Internacional de la Vid y el Vino (OIV) ha aprobado el uso de PEF en uvas despalilladas y estrujadas (Resolución Experticia · N° 15 · Año 2024

OIV 634/2020), que facilita la extracción de los compuestos fenólicos durante la etapa de fermentación-maceración. Estos compuestos fenólicos, mejoran las propiedades sensoriales, aumentan la capacidad de envejecimiento e, incluso, tienen efectos beneficiosos para la salud cuando se consume vino tinto de manera moderada. Mediante la aplicación de PEF antes de la maceración-fermentación, es posible obtener vinos con un mayor contenido de polifenoles o reducir el tiempo de maceración (Maza et al., 2020). La velocidad de extracción de polifenoles de los hollejos tratados con PEF puede reducir los tiempos de maceración hasta en un 50% en

comparación con las uvas sin tratamiento PEF optimizando la capacidad de fermentación de la bodega.

Inactivación microbiana

La tecnología de PEF se ha comenzado a utilizar comercialmente en algunos países para la conservación de jugo de fruta (Min et al., 2003). La inactivación de microorganismos patógenos mediante PEF se ha demostrado en una amplia variedad de productos alimenticios. Sin embargo, su aplicación no es sencilla, ya que depende tanto del tamaño y forma del microorganismo (El-Hag et al., 2011) como de las intensidades de campo eléctrico utilizadas (>15 kV/cm). En condiciones adecuadas, provoca un daño irreversible en la membrana citoplasmática, lo que lleva a la muerte o inactivación de la célula. Esta inactivación permitiría “pasteurizar” alimentos sensibles al calor a temperaturas inferiores a las utilizadas en el procesado térmico de productos alimenticios líquidos (Bendicho et al., 2002; Hodgins, Mittal, and Griffiths, 2002). Al igual que en cualquier otra industria alimentaria, el desarrollo de microorganismos alterantes es un

problema en las bodegas, lo que puede ocasionar pérdidas económicas. antisépticos como el SO₂ son usados en diferentes etapas del proceso de elaboración del vino en las bodegas para evitar los riesgos de alteraciones microbiológicas. Sin embargo, existe una presión por parte de organismos de salud internacionales para reducir su aplicación, especialmente del SO₂, debido a sus efectos negativos en algunos consumidores. Dado que no existe una alternativa completa para reemplazarlo, se han creado otras estrategias que pueden utilizarse de manera combinada para reducir las concentraciones de SO₂. En este sentido, la capacidad de PEF para inactivar microorganismos a temperaturas inferiores a las utilizadas en el procesado térmico podría ser una alternativa aplicable en las bodegas. Varios estudios han demostrado la inactivación de levaduras (*Dekkera anomala*, *Dekkera bruxellensis*) y bacterias (*Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus hilgardii*) responsables de la alteración del vino mediante tratamientos de PEF aplicados tanto en el mosto como en el vino (Puértolas et al., 2009). Diferentes autores han demostrado que el uso de PEF ha sido realmente eficaz en el control de diversos

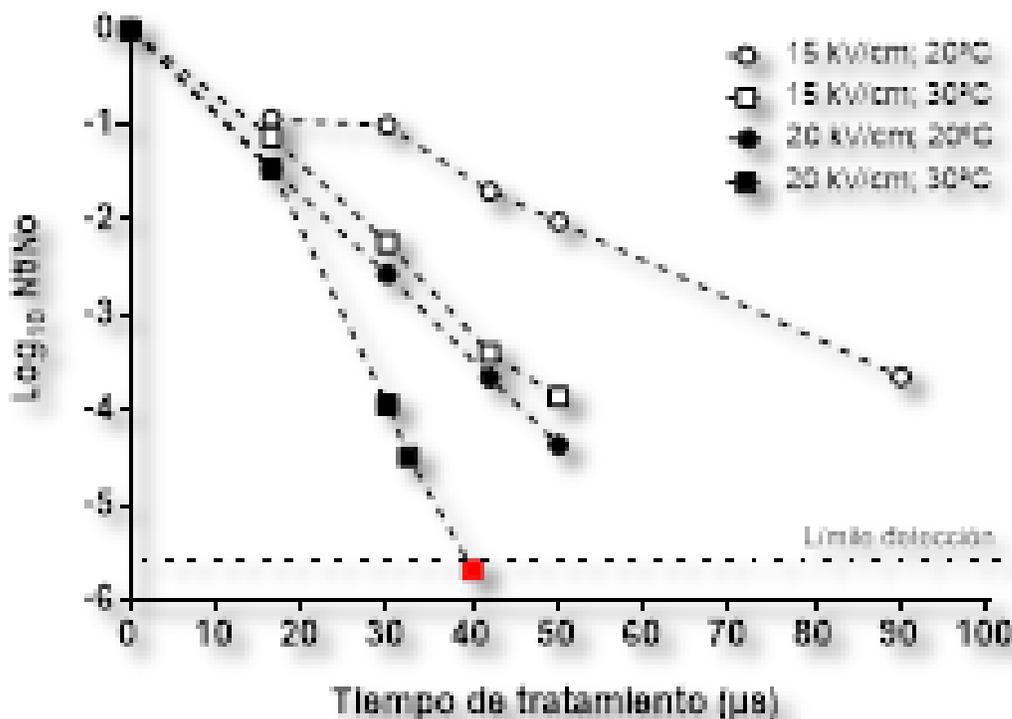


Figura 3. Inactivación de levaduras *S. cerevisiae* por PEF a 15 y 20 kV/cm y dos temperaturas de tratamiento (20 y 30°C).

Conclusiones

Con los resultados prometedores obtenidos y los nuevos desafíos que surgen con la aprobación de la aplicación PEF por parte de la OIV, se espera que esta tecnología sea implementada en diferentes procesos industriales alimenticios en los próximos años. Su utilización podrá ser enfocada, sobre todo, en el proceso de inactivación de microorganismos y extracción de compuestos intracelulares. No obstante, es crucial continuar con las investigaciones para ampliar los conocimientos de cómo afecta el tratamiento PEF a los vinos terminados dependiendo de diferentes situaciones tales como la variedad de uva, condiciones de vinificación y, sobre todo, en aspectos claves como la preservación de los atributos sensoriales, aromáticos y estabilidad del vino durante el añejamiento.

microorganismos, con reducciones en la población microbiana que oscilan entre 3 y 4 ciclos logarítmicos, e incluso hasta 5 ciclos si la energía específica aplicada es lo suficientemente elevada (González-Arenzana et al. 2015, Puértolas et al. 2009). Estudios preliminares realizados por los autores de este artículo y elaborados a escala de laboratorio demuestran que la combinación de parámetros como el campo eléctrico, el tiempo de aplicación y la energía, junto con temperaturas subletales, puede ser eficaz en la inactivación de microorganismos. La combinación de campos eléctricos bajos y temperaturas moderadas de tratamiento (<40°C) favorece la inactivación de levaduras, como *S. cerevisiae* (Figura 3). En la Figura 3, se puede observar cómo el tratamiento con campos eléctricos de 15 y 20 kV/cm, junto con temperaturas de 20 y 30°C, mejoran la inactivación de las levaduras, expresada en ciclos logarítmicos. Estos ensayos demuestran el potencial de esta tecnología para el tratamiento microbiológico, especialmente en levaduras como la *S. cerevisiae*, que pueden provocar fermentaciones no deseadas en vinos dulces.

Bibliografía

- Bendicho, Silvia, Alexandre Espachs, Javier Arántegui, and Olga Martín. 2002. "Effect of High Intensity Pulsed Electric Fields and Heat Treatments on Vitamins of Milk." *The Journal of Dairy Research* 69(1):113–23. doi: 10.1017/S0022029901005258.
- Chalermchat, Yongyut, Mustafa Fincan, and Petr Dejmeek. 2004. "Pulsed Electric Field Treatment for Solid-Liquid Extraction of Red Beetroot Pigment: Mathematical Modelling of Mass Transfer." *Journal of Food Engineering* 64(2):229–36. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2003.10.002.
- Dunne, C. P., & Kluter, R. A. (2001). Emerging non-thermal processing technologies: criteria for success. *Australian Journal of Dairy Technology*, 56(2), 109.
- Donsì, Francesco, Giovanna Ferrari, and Gianpiero Pataro. 2010. "Applications of Pulsed Electric Field Treatments for the Enhancement of Mass Transfer from Vegetable Tissue." *Food Engineering Reviews* 2(2):109–30. doi: 10.1007/s12393-010-9015-3.
- El-Hag, A. H., S. H. Jayaram, O. Rodriguez Gonzalez, and M. W. Griffiths. 2011. "The Influence of Size and Shape of Microorganism on Pulsed Electric Field Inactivation." *IEEE Transactions on NanoBioscience* 10(3):133–38. doi: 10.1109/TNB.2011.2163078.
- Eshtiaghi, M. N., and D. Knorr. 2002. "High Electric Field Pulse Pretreatment: Potential for Sugar Beet Processing." *Journal of Food Engineering* 52(3):265–72.
- Ferrari Giovanna. Presentación "PEF Treatment of Plant Materials including a case study for tomato peeling. 4th PEF School 9-12 de Mayo 2017.

- González-Arenzana, Lucía, Javier Portu, Rosa López, N. López, Pilar Santamaría, Teresa Garde-Cerdán, and Isabel López-Alfaro. 2015. "Inactivation of Wine-Associated Microbiota by Continuous Pulsed Electric Field Treatments." *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 29:187-92.
- Hodgins, A. M., G. S. Mittal, and M. W. Griffiths. 2002. "Pasteurization of Fresh Orange Juice Using Low-Energy Pulsed Electrical Field." *Journal of Food Science* 67(6):2294-99.
- Kranjc, Matej, Franci Bajd, Igor Serša, Mark de Boevere, and Damijan Miklavi. 2016. "Electric Field Distribution in Relation to Cell Membrane Electroporation in Potato Tuber Tissue Studied by Magnetic Resonance Techniques." *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 37:384-90. doi: 10.1016/j.ifset.2016.03.002.
- Luengo, Elisa, Santiago Condón-Abanto, Ignacio Álvarez, and Javier Raso. 2014. "Effect of Pulsed Electric Field Treatments on Permeabilization and Extraction of Pigments from *Chlorella Vulgaris*." *The Journal of Membrane Biology* 247(12):1269-77.
- Martínez, Juan Manuel, Zivan Gojkovic, Lorenza Ferro, Marcos Maza, Ignacio Álvarez, Javier Raso, and Christiane Funk. 2019. "Use of Pulsed Electric Field Permeabilization to Extract Astaxanthin from the Nordic Microalga *Haematococcus Pluvialis*." *Bioresource Technology* 289:121694. doi: 10.1016/j.biortech.2019.121694.
- Maza, Marcos, Ignacio Álvarez, and Javier Raso. 2019. "Thermal and Non-Thermal Physical Methods for Improving Polyphenol Extraction in Red Winemaking." *Beverages* 5(3):47. doi: 10.3390/beverages5030047.
- Maza, Marcos Andrés, Juan Manuel Martínez, Carlota Delso, Alejandra Camargo, Javier Raso, and Ignacio Álvarez. 2020. "PEF-Dependency on Polyphenol Extraction during Maceration/Fermentation of Grenache Grapes." *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 60:102303. doi: 10.1016/j.ifset.2020.102303.
- Marcos Andrés Maza, Juan Manuel Martinez, Guillermo Saldaña, Fernando Ballesteros Ignacio Álvarez y Javier Raso. 2017. Pulsos Eléctricos de Alto Voltaje (PEF), una tecnología innovadora en el proceso de elaboración de vinos. Interempresas. [https://www.interempresas.net/Vitivinicola/Articulos/184363-Pulsos-Elctricos-Alto-Voltaje-\(PEF\)-tecnologia-innovadora-proceso-elaboracion-vinos.html](https://www.interempresas.net/Vitivinicola/Articulos/184363-Pulsos-Elctricos-Alto-Voltaje-(PEF)-tecnologia-innovadora-proceso-elaboracion-vinos.html)
- Min, S., Z. T. Jin, S. K. Min, H. Yeom, and Q. H. Zhang. 2003. "Commercial-Scale Pulsed Electric Field Processing of Orange Juice." *Journal of Food Science* 68(4):1265-71. doi: 10.1111/j.1365-2621.2003.tb09637.x.
- Misra, N. N., Martynenko, A., Chemat, F., Paniwnyk, L., Barba, F. J., & Jambrak, A. R. (2018). Thermodynamics, transport phenomena, and electrochemistry of external field-assisted nonthermal food technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(11), 1832-1863. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1287660>
- Padma Ishwarya, S., Ahmad, M. H., Nandu Lal, A. M., Silpa, V., & Venkatesh, T. (2022). Non-electro-Technologies: Gamma Rays, UV Light, Ozone, Photodynamic and Membrane Processing. En A. Režek Jambrak (Ed.), *Nonthermal Processing in Agri-Food-Bio Sciences: Sustainability and Future Goals* (pp. 253-308). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92415-7_8.
- Puértolas, E., N. López, S. Condón, J. Raso, and I. Álvarez. 2009. "Pulsed Electric Fields Inactivation of Wine Spoilage Yeast and Bacteria." *International Journal of Food Microbiology* 130(1):49-55. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2008.12.035.
- Taiwo, K. A., A. Angersbach, and D. Knorr. 2002. "Influence of High Intensity Electric Field Pulses and Osmotic Dehydration on the Rehydration Characteristics of Apple Slices at Different Temperatures." *Journal of Food Engineering* 52(2):185-92. doi: 10.1016/S0260-8774(01)00102-9.
- Weaver, James C. 1995. "Electroporation Theory." Pp. 3-28 in *Animal Cell Electroporation and Electrofusion Protocols, Methods in Molecular Biology*, edited by J. A. Nickoloff. Totowa, NJ: Humana Press.