



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN
ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS



**Análisis de los fundamentos y aplicaciones de las tecnologías no
térmicas más utilizadas en frutas y vegetales**

Trabajo de Titulación, Modalidad: Proyecto de investigación, previo a la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Daniela Estefania Lisintuña Toapanta

Tutora: Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

Ambato-Ecuador

Marzo - 2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

CERTIFICA

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo su presentación, bajo la modalidad proyecto de investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 4 de febrero de 2022.

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

C.I.180406708-8

Tutora

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Daniela Estefania Lisintuña Toapanta, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Daniela Estefania Lisintuña Toapanta

C.I.172442190-2

Autora

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

Ing. Santiago Esmiro Cadena Carrera Ph.D.

C.I. 171560259-3

Ing. Mg. Diego Manolo Salazar Garcés

C.I. 1803124294

Ambato, 11 de marzo del 2022

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que este Trabajo de Titulación o parte de él, se encuentre como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.



Daniela Estefania Lisintuña Toapanta

C.I.172442190-2

Autora

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme salud y vida para lograr culminar mi carrera universitaria.

A mis padres, Edwin y Alicia, por su amor, enseñanzas y consejos que me han permitido crecer como persona.

A mis hermanas, Sulay, Jessica y Johana, y mi hermano Paúl que han sido mi ejemplo e inspiración para seguir adelante.

A mis sobrinos, Alejo, Matías, Gael y Cristopher por su amor y cariño.

A mis amigos, Carlos, María José y Carito por ser parte de este proceso de enseñanzas.

AGRADECIMIENTO

A mi madre, que ha sido el pilar fundamental en mi vida, la persona que ha estado siempre a mi lado compartiendo todos mis logros y junto con su amor y enseñanzas me ha permitido ser mejor persona, ahora es un ángel en mi vida y sé que se encuentra muy orgullosa de su hija y desde donde está me cuida y bendice.

A mi padre, hermanas y hermano quienes han sido el motor y mi mayor inspiración, quienes estuvieron siempre a mi lado siendo mis mejores guías de vida.

A mi Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, por los conocimientos y experiencias impartidas desde el primer día de la carrera universitaria.

A mi estimada tutora, Ing. M.Sc. Liliana Acurio Arcos, a quien admiro por su entrega, profesionalismo y dedicación al impartir sus conocimientos. Gracias por guiarme en la elaboración de este proyecto con todo su apoyo y paciencia.

A todos mis profesores, en especial a la M.Sc. Dolores Robalino y M.Sc. Diego Salazar, docentes comprometidos con la educación. Gracias por sus sabias palabras, sus conocimientos rigurosos y precisos, que ha sido base de mi vida académica.

A todos mis compañeros y amigos que de una u otra manera me brindaron su apoyo, con quienes he compartido tardes y horas de estudio.

¡Muchas Gracias!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TUTORA	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE LA AUTORA.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes investigativos.....	1
1.1.1. Justificación.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
CAPÍTULO II.....	3
METODOLOGÍA.....	3
2.1. Materiales.....	3
2.2. Métodos	3
2.2.1. Definición del problema.....	3
2.2.2. Búsqueda de la información.....	3
2.2.3. Organización de la información	4
2.2.4. Análisis de información	4
CAPÍTULO III	5
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	5

3.1. Tecnologías no térmicas	5
3.1.1. Altas presiones hidrostáticas (HPP)	5
3.1.1.2. Funcionamiento	7
3.1.1.3. Aplicación y efectos en los alimentos.....	8
3.1.2. Irradiación.....	15
3.1.2.1. Clasificación	16
a. Radiación no ionizante.....	16
a.1. Microondas	16
a.2. Radiación ultravioleta (UV)	22
b. Radiación ionizante.....	27
3.1.3. Campo eléctrico pulsado	32
3.1.4. Plasma frío.....	37
3.1.5. Ultrasonido	43
3.2. Usos de la información recopilada.....	49
CAPÍTULO IV	50
CONCLUSIONES.....	50
4.1. Conclusiones.....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efectos y parámetros de la aplicación de altas presiones hidrostáticas en frutas y vegetales	13
Tabla 2. Efectos y parámetros de la aplicación de microondas.....	20
Tabla 3. Tipos de radiación UV.....	22
Tabla 4. Efectos y parámetros de la aplicación de radiación ionizante.....	25
Tabla 5. Efecto de las radiaciones ionizantes de acuerdo con la dosis aplicada	27
Tabla 6. Efectos y parámetros de la aplicación de los rayos gamma	30
Tabla 7. Parámetros para la aplicación de campo eléctrico pulsado	32
Tabla 8. Efectos y parámetros de la aplicación de campos eléctricos pulsados	35
Tabla 9. Efectos y parámetros de la aplicación de plasma frío	41
Tabla 10. Efectos y parámetros de la aplicación de ultrasonido	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil de presión y temperatura durante la aplicación de altas presiones hidrostáticas (t_1 : tiempo de subida, t_2 : tiempo de retención, t_3 : tiempo de descompresión).....	6
Figura 2. Sistema de procesado por altas presiones hidrostáticas en alimentos.....	7
Figura 3. Contenido de vitamina C en pulpa de kiwi tratada con HPP (400–600 MPa durante 5–15 min), tratada térmicamente (HT:85 ° C/10 min) y control (bebida sin tratamiento).....	10
Figura 4. Análisis sensorial de jugos de zanahoria tratados a 550 MPa / 6 min y HTST a 110 °C / 8.6 s y almacenados por 20 días a 4 °C.....	11
Figura 5. Mecanismo que inducen la acumulación de fenólicos libres en zanahoria tratada con HPP	12
Figura 6. Símbolo internacional que indica que el alimento ha sido sometido a irradiación.....	16
Figura 7. Propiedades nutricionales de zanahoria posterior al tratamiento de ebullición, cocción al vapor y microondas	19
Figura 8. Rodajas de carambola tratadas con UV-C (12.5 kJm ⁻²) almacenadas durante 21 días a 4°C.....	24
Figura 9. A) Deterioro de las muestras de ciruela Java no irradiadas, B) Muestras irradiadas (5 kGy).....	28
Figura 10. Electroporación de la célula según la intensidad del pulso eléctrico.....	33
Figura 11. Interacción física y química entre el plasma frío y la superficie del producto.....	38
Figura 12. Morfología de la superficie de tomates tratados con CDPJ por 2 minutos	40
Figura 13. Efecto en la estructura de a) manzana y b) papa por la aplicación de ultrasonido	45
Figura 14. Curvas cinéticas de rehidratación de hojas de col secadas por diferentes métodos.....	46

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Modificación de la membrana celular por la aplicación de HPP.....	9
Ilustración 2. Efectos de la radiación ionizante y no ionizante sobre la destrucción microbiana	15

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Expresión para la inactivación decimal para una sola población microbiana	22
Ecuación 2. Determinación de la dosis de energía radiante	22

RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente el alto grado de pérdida de nutrientes y el uso excesivo de aditivos para la conservación de frutas y vegetales inciden en la calidad del producto, y esto ha impulsado a las industrias a la creación y aplicación de nuevas tecnologías con mejores resultados. La presente investigación tuvo como objetivo analizar los fundamentos y aplicaciones de las tecnologías no térmicas más utilizadas en frutas y vegetales. Los fundamentos se obtuvieron mediante la búsqueda bibliográfica en fuentes primarias y secundarias de investigaciones realizadas en los últimos 5 años a nivel mundial, a partir de la cuales se identificaron las siguientes tecnologías: altas presiones hidrostáticas, irradiación, ultrasonido, campo eléctrico pulsado, plasma frío y pulso eléctrico. Las tecnologías no térmicas reducen la carga microbiana, ya que son capaces de afectar de manera directa o indirecta la pared o membrana celular y el ADN del microorganismo; además, conservan en su gran mayoría las características fisicoquímicas y los compuestos bioactivos (antocianinas, carotenoides, fenoles totales, ácido ascórbico). Para su aplicación se deben tomar en cuenta las siguientes propiedades: tiempo, presión, temperatura, potencia y frecuencia, ya que dependen de la matriz alimenticia a tratar. En el enfoque legislativo, en Ecuador cuenta con la norma INEN 2735 para alimentos irradiados; sin embargo, para las demás tecnologías no existe normativa que sustente la aplicación. En conclusión, las tecnologías no térmicas son una nueva alternativa que permite a las industrias innovar sus procesos productivos y producir alimentos más seguros con mejores propiedades nutricionales y organolépticas.

Palabras claves: investigación bibliográfica, industria alimentaria, conservación de alimentos, tecnologías sostenibles, frutas y hortalizas

ABSTRACT

Currently, the high degree of loss of nutrients and the excessive use of additives for the preservation of fruits and vegetables affect the quality of the product, and this has prompted industries to create and apply new technologies with better results. The objective of this research was to analyze the fundamentals and applications of the most used non-thermal technologies in fruits and vegetables. The fundamentals were obtained through the bibliographic search in primary and secondary sources of research carried out in the last 5 years worldwide, from which the following technologies were identified: high hydrostatic pressures, irradiation, ultrasound, pulsed electric field, cold plasma and electrical pulse. Non-thermal technologies reduce the microbial load, since they are capable of directly or indirectly affecting the cell wall or membrane and the DNA of the microorganism; In addition, most of the physicochemical characteristics and bioactive compounds (anthocyanins, carotenoids, total phenols, ascorbic acid) are preserved. For its application, the following properties must be taken into account: time, pressure, temperature, power and frequency, since they depend on the food matrix to be treated. In the legislative approach, Ecuador has the INEN 2735 standard for irradiated foods; however, for the other technologies there are no regulations that support the application. In conclusion, non-thermal technologies are a new alternative that allows industries to innovate their production processes and produce safer foods with better nutritional and organoleptic properties.

Keywords: bibliographic research, food industry, food preservation, sustainable technologies, fruit and vegetables

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Justificación

A lo largo de los años la industria alimentaria ha presentado grandes retos en la búsqueda de minimizar o anular el deterioro de los alimentos por acción de los microorganismos y la degradación de enzimas. Las frutas y vegetales son uno de los alimentos altamente perecederos y por ende requieren de un proceso de conservación para extender su tiempo de vida útil. En este sentido, de acuerdo con la FAO en Ecuador se desperdician aproximadamente 939.000 toneladas de alimentos, equivalentes a alrededor de \$334 millones de pérdidas económicas anuales (**Paucar, 2019**), y el 45% pertenece a los desperdicios que se producen en la cadena de comercialización de frutas, y se debe principalmente a daños causados por el deterioro microbiológico y/o daños mecánicos (**Vega, 2020**).

Los tratamientos térmicos tradicionales son los métodos más utilizados en la industria alimentaria para el procesamiento y conservación de frutas y vegetales, pero actualmente los consumidores están cada vez más relacionados con el consumo de alimentos que sean sensorialmente más apetecibles, y que además preserven las características nutricionales. Lo expuesto anteriormente exige a las industrias el desarrollo de alimentos menos procesados y más parecidos a los naturales, conllevando a que innoven sus procesos para que cumplan estas características (**Figueroa Sepúlveda et al., 2021**).

Por lo cual, en los últimos años se han desarrollado tecnologías no térmicas que permiten mejorar la inocuidad de los alimentos, sin afectar las características funcionales, nutricionales y sensoriales (**Kyung et al., 2019**), como las altas presiones, microondas y radiofrecuencia, que, a más de disminuir la carga microbiana, son capaces de inactivar las enzimas generadoras de deterioro (**Orrego et al., 2020**).

En Estados Unidos, la tecnología de procesamiento de alimentos no térmicos más utilizada es la alta presión, seguida del campo eléctrico pulsado; sin embargo, su alta inversión limita la implementación tecnológica en las industrias alimenticias (**Khouryieh, 2021**); mientras que en Ecuador no se reportan empresas que manejen ninguna de estas tecnologías.

Por tal razón, es importante el análisis y la compilación de la información publicada en los últimos 5 años en libros, tesis y revistas científicas, acerca de los fundamentos de las nuevas tecnologías no térmicas y su aplicación en frutas y vegetales, debido a que esta información permitirá a los investigadores locales tener una línea base para el desarrollo de proyectos de investigación y vinculación, en los que se apliquen dichas tecnologías en los alimentos de producción local, y así a futuro que las industrias alimentarias ecuatorianas consideren la migración hacia nuevas tecnologías seguras, efectivas, sostenibles e innovadoras en el procesamiento de frutas y vegetales.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Analizar los fundamentos y aplicaciones de las tecnologías no térmicas más utilizadas en frutas y vegetales.

1.2.2. Objetivos específicos

- Recopilar información indexada acerca de los fundamentos y aplicaciones de las tecnologías no térmicas más utilizadas en frutas y vegetales.
- Identificar los parámetros y efectos de la aplicación de las tecnologías no térmicas más utilizadas en frutas y vegetales.
- Proponer usos de la información recopilada con la finalidad de que sea utilizada para el mejoramiento de la producción alimentaria.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para el desarrollo de la investigación, los materiales digitales empleados fueron:

- Computadora
- Plataformas virtuales libres: SciELO y Google Scholar
- Bibliotecas virtuales de acceso libre a través del sistema integrado de la Universidad Técnica de Ambato: ProQuest, Ebook Central, Scopus, eLibro y Springer.
- Gestor de referencia: Mendeley

2.2. Métodos

2.2.1. Definición del problema

La problemática en la que se basó la presente investigación es el alto grado de desperdicio, deterioro de la calidad y pérdida de nutrientes en frutas y vegetales por el empleo de métodos tradicionales de conservación. A pesar de los grandes avances tecnológicos, la escasa información consolidada sobre la fundamentación y aplicaciones de tecnologías no térmicas en frutas y vegetales a limitado su aplicación. Por lo cual, dicha información es necesaria para que investigadores locales conozcan el funcionamiento y posibles aplicaciones que se podrían realizar en alimentos locales para mejorar la calidad y conservar las características organolépticas y nutricionales de los alimentos anteriormente mencionados.

2.2.2. Búsqueda de la información

La búsqueda de la información se realizó mediante el empleo de plataformas virtuales de acceso libre a través del sistema integrado de la Universidad Técnica de Ambato como: ProQuest, Ebook Central, Scopus, Springer, eLibro, entre otras. De las cuales se seleccionaron artículos y capítulos de libros relacionados con tecnologías no térmicas y su aplicación en frutas y vegetales.

De igual manera, se empleó plataformas digitales de acceso libre que cuentan con información relevante como: SciELO y Google Scholar. Para garantizar la autenticidad de los datos obtenidos se utilizaron publicaciones realizadas a nivel mundial, en su mayoría de los últimos 5 años.

2.2.3. Organización de la información

La información recopilada se organizó y seleccionó de manera sistemática, de forma que se distingan las fuentes primarias y secundarias, con el propósito de que el trabajo de titulación sea entendible. La organización de la información se inició desde el análisis de los fundamentos de las tecnologías no térmicas, posteriormente se analizó las aplicaciones en frutas y vegetales. Para una mejor organización se empleó la plataforma libre Mendeley, en la que se pudo agrupar y priorizar la información. Consecutivamente se identificaron los parámetros y efectos de la aplicación de dichas tecnologías no térmicas en frutas y vegetales, cuya información fue representada mediante tablas y gráficas, en función de los resultados obtenidos y se discutió sobre los datos más relevantes.

2.2.4. Análisis de información

Se realizó un análisis cualitativo de la información recopilada sobre las tecnologías no térmicas. Dicha información se utilizó para identificar los fundamentos de cada una de las tecnologías no térmicas más utilizadas en alimentos, y posteriormente se analizaron los parámetros y efectos de su aplicación en frutas y vegetales. Esta fue la actividad principal para el desarrollo del trabajo de titulación y por ende a la que mayor tiempo se destinó, y fue sustentada con datos científicos que brindan veracidad y aprobación de la investigación, aspecto denotado mediante las referencias bibliográficas citadas. Así mismo, se determinaron los aspectos que no han sido investigados y que presentan gran relevancia sobre el tema.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los altos porcentajes de desperdicio, la pérdida de nutrientes y el aumento de enfermedades transmitidas por el consumo de frutas y vegetales, han llevado a las industrias a desarrollar nuevos métodos de conservación, como las tecnologías no térmicas, mismas que eliminan los microorganismos sin afectar la calidad natural.

3.1. Tecnologías no térmicas

Según **Roig Sagués et al. (2021)**, las tecnologías no térmicas son los tratamientos de conservación más efectivos, debido a que procesan los alimentos a temperatura ambiente, con lo que se minimiza el impacto negativo de las altas temperaturas sobre los componentes nutricionales y la calidad sensorial de los alimentos.

Estas tecnologías emplean para su funcionamiento energía eléctrica, electromagnética, sonora, luminosa, mecánica y alta presión, que conlleva a un procesamiento mínimo, repercutiendo así en un mejor sabor, frescura y con funcionalidades mejoradas. Dentro de estas tecnologías se encuentran: altas presiones hidrostáticas, irradiación, ultrasonido, campo eléctrico pulsado, plasma frío, luz ultravioleta, microondas y radiofrecuencia.

3.1.1. Altas presiones hidrostáticas (HPP)

Las altas presiones hidrostáticas tuvieron su inicio en 1899, cuando Bert Homes Hite aplicó altas presiones en leche y comprobó la inactivación microbiana y un aumento en la vida útil frente al tratamiento convencional. Posteriormente, en 1914, aplicó las mismas tecnologías en frutas y vegetales (**Hite & Giddings, 1914**). Sin embargo, no fue hasta inicios de los años 90 que este tipo de tecnología se aplicó a nivel industrial.

Las HPP actúan de manera uniforme e instantánea en un sistema cerrado y se trabaja en un rango de 100-600 MPa o superior. Se considera una tecnología limpia ya que no produce residuos, y a pesar de que requiere un medio líquido, éste se puede reutilizar y solo requiere energía eléctrica adicional (**Wen Huang et al., 2020**).

3.1.1.1. Principios de las altas presiones hidrostáticas

La aplicación de las altas presiones hidrostáticas se basa en los siguientes principios físicos:

- **Principio de Le Chatelier:** indica que la perturbación de un sistema por una variación de temperatura, presión o concentración de sus componentes modificará su posición de equilibrio, hasta que el sistema minimice el efecto de dicha perturbación. Así las altas presiones favorecen las reacciones que provocan una reducción de volumen y retardan aquellas en las que el volumen aumenta (Balasubramaniam et al., 2015).
- **Principio isostático:** expone que la aplicación de presión a un medio líquido, en un sistema cerrado, se transmite uniformemente y de manera instantánea en todas las direcciones, indiferentemente del tamaño o forma (Wen Huang et al., 2020).

Además, Wen Huang et al. (2020), mencionan que un aumento de presión de 100 MPa genera un incremento de temperatura de 3°C; es decir que al aumentar la presión a 600 MPa la temperatura no se incrementará por encima de los 30°C, esto evidencia que esta tecnología reduce la influencia negativa del aumento drástico de temperatura sobre los componentes nutricionales de los alimentos.

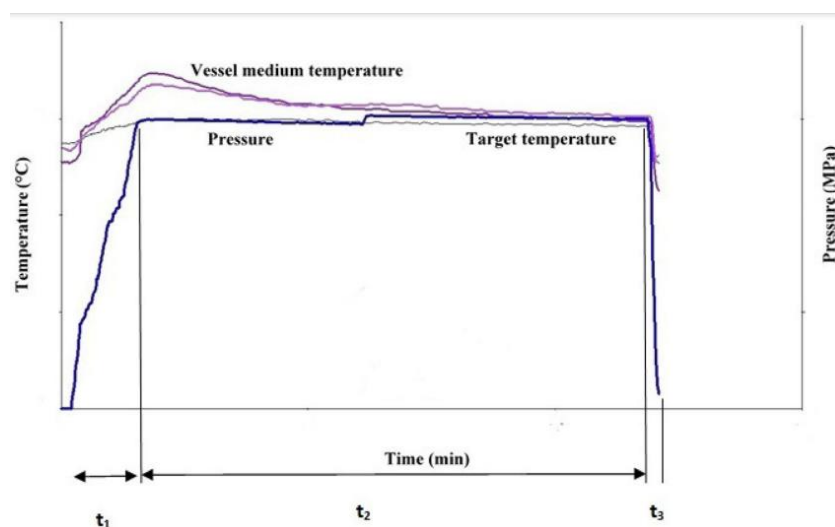


Figura 1. Perfil de presión y temperatura durante la aplicación de altas presiones hidrostáticas (t₁: tiempo de subida, t₂: tiempo de retención, t₃: tiempo de descompresión).

Fuente: Sehrawat et al. (2021)

Como se observa en la Figura 1, el perfil de presión y temperatura durante la aplicación de HPP se divide en tres tiempos. El primero es el tiempo de subida, donde la temperatura y presión aumentan hasta alcanzar la presión establecida; el segundo es el tiempo de retención, en el que la temperatura y la presión óptima se van a mantener constantes por un tiempo establecido y finalmente el tiempo de descompresión, en el que se da un descenso rápido de la temperatura y la presión.

3.1.1.2. Funcionamiento

En la Figura 2 se identifica el sistema de procesado por altas presiones hidrostáticas, donde el alimento envasado herméticamente, se introduce en una cámara cilíndrica de acero con aislamiento térmico, que mediante el sistema de bombeo sustituye el aire de la cámara por un fluido de procesos (agua) que es bombeado mediante bombas hidráulicas e intensificadores, para aumentar la presión y proporcionar un efecto de pasteurización.

Alcanzada la presión deseada, se mantiene la cámara presurizada el tiempo necesario para que se realice el tratamiento correctamente, y finalmente se vacía la cámara para extraer los alimentos tratados.

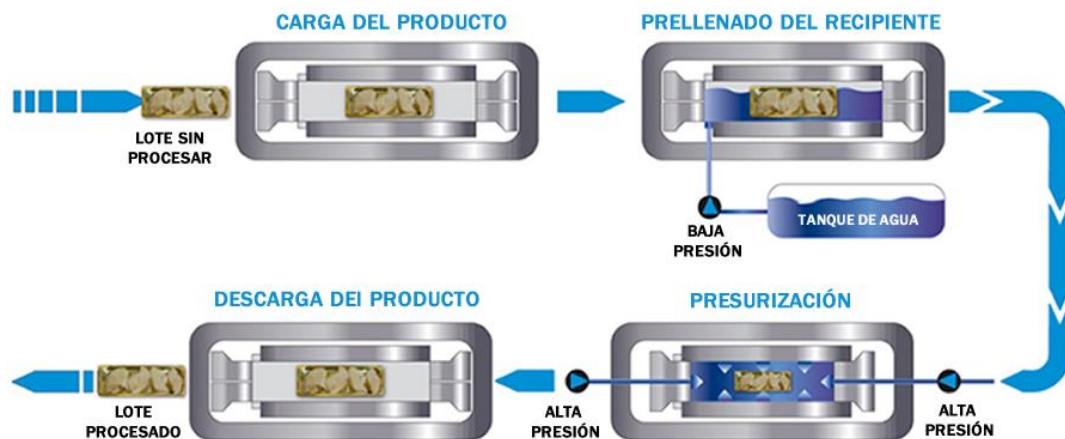


Figura 2. Sistema de procesado por altas presiones hidrostáticas en alimentos.

Fuente: Savedra (2018)

Los envases para tratar los alimentos deben ser flexibles y deformables, de tal forma que toleren reducciones de volumen hasta un 15% y permitan la evacuación de los gases del interior para mejorar la eficacia de la presurización.

Para su desarrollo se debe considerar los siguientes aspectos:

- La durabilidad del envase, generalmente el plástico es uno de los materiales más empleados, debido a la capacidad de resistir altas presiones. El envase debe ser capaz de recuperar su forma original sin presentar agrietamientos o roturas después del tratamiento. Entre las variedades de plásticos se tiene: polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE).
- Al aplicar el envase a altas presiones debe contar un óptimo sellado, que sea fuerte, seguro y capaz de resistir al desgarre, a la vez debe ser de fácil desprendimiento para el consumidor, por lo cual, el film debe ser compatible con el material del envase y previamente se debe realizar estudios que permitan establecer los parámetros óptimos de sellado.
- Para la optimización del rendimiento del equipo, la distancia que se suele dejar entre la superficie y el nivel del producto debe ser mínimo, ya que al existir demasiado aire puede causar exceso de tensión y por consecuencia el rompimiento o agrietamiento del envase. Generalmente, se recomienda un llenado de al menos un 90% del envase para reducir el espacio de cabeza.
- El diseño del envase es otro de los aspectos que se debe considerar, ya que la forma y tamaño del envase debe ser capaz de permitir el llenado del equipo al máximo; varias empresas para cumplir con esta condición han creado envases de forma triangular o hexagonal (**Ramírez et al., 2021**).

3.1.1.3. Aplicación y efectos en los alimentos

Lograr una pasteurización y esterilización sin afectar las características nutricionales y organolépticas de los alimentos, es la principal aplicación de las altas presiones hidrostáticas; sin embargo, puede emplearse también para inactivar enzimas e impedir el pardeamiento no enzimático.

Además, se utiliza para facilitar la extracción de compuestos bioactivos, ya que la presión afecta la membrana celular, lo que provoca la fuga de aire de las vacuolas y permite un mayor contacto con el disolvente.

Este efecto es precisamente el que permite reducir la carga microbiana, debido a que genera condiciones letales para los microorganismos, como cambios conformacionales en las membranas y efectos en las reacciones bioquímicas y genéticas (Ilustración 1) (Ramírez et al., 2021).

Además, según diferentes investigaciones, se han obtenido hasta cinco reducciones logarítmicas en los principales microorganismos causantes del deterioro y de enfermedades transmitidas por alimentos, como: *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Salmonella typhimurium*, *S. enteritidis* y *Staphylococcus aureus* (Sehrawat et al., 2021), produciéndose una mayor inactivación en la etapa logarítmica de crecimiento.

En orden decreciente de sensibilidad, la presión afecta primeramente a las bacterias Gram negativas, levaduras y mohos, bacterias Gram positivas y por último a las esporas, éstas últimas se inactivan a presiones superiores a 1000 MPa (Claude Cheftel, 1995; Smelt, 1998). Las esporas del *Clostridium botulinum* no proteolítico (tipo B) son las más resistentes a las altas presiones hidrostáticas (Reddy et al., 2001).

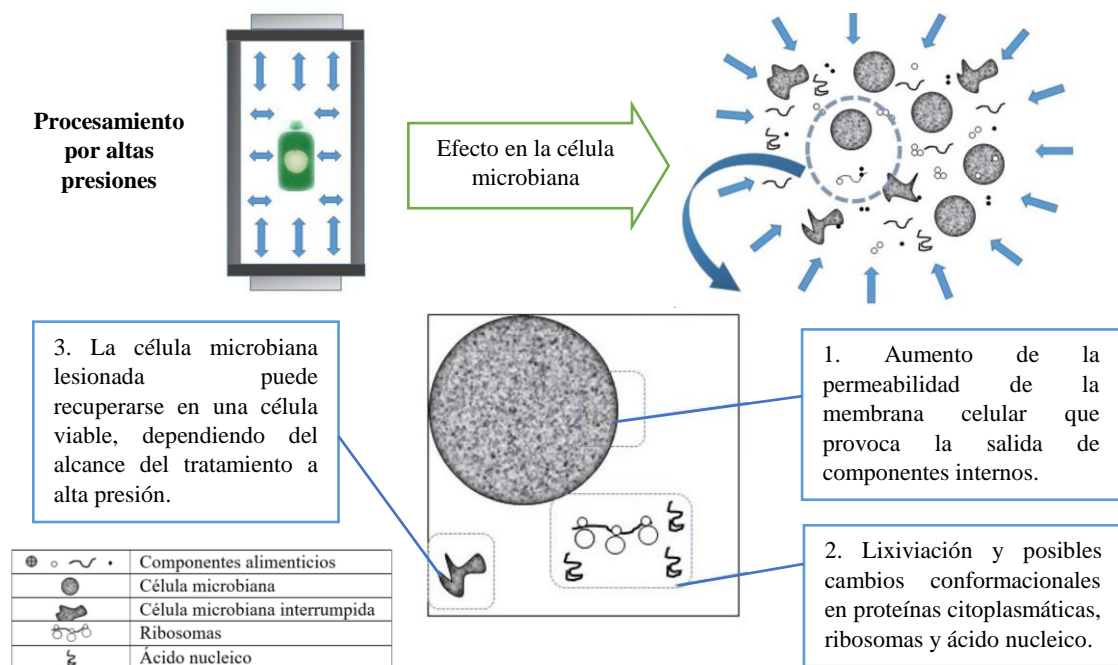


Ilustración 1. Modificación de la membrana celular por la aplicación de HPP

Fuente: Sehrawat et al. (2021)

Se han realizado diversos estudios para evaluar el efecto de esta tecnología en frutas y vegetales. Por ejemplo, en pulpa de kiwi se observó que las muestras procesadas a 400 MPa/15 min evidenciaron un mayor contenido de vitamina C y brillo, en comparación a la muestra tratada térmicamente (Figura 3), además se logró una inhibición del pardeamiento (Yajing Chen et al., 2020). Mientras que, en jugo de kiwi enriquecido con selenio, X. Xu et al. (2018), demostraron que el tratamiento con altas presiones ocasionó una pérdida mínima de vitamina C del orden del 1.83%.

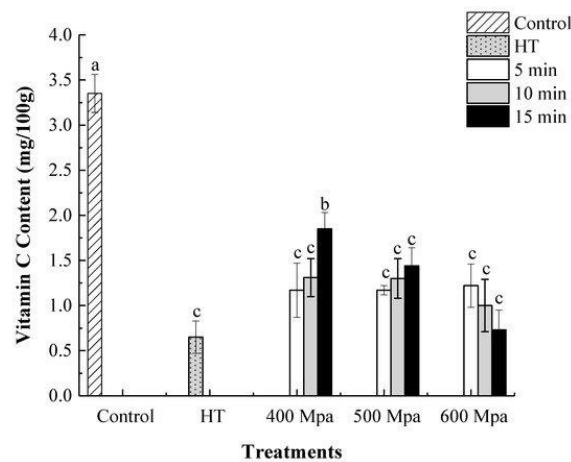


Figura 3. Contenido de vitamina C en pulpa de kiwi tratada con HPP (400–600 MPa durante 5–15 min), tratada térmicamente (HT:85 ° C/10 min) y control (bebida sin tratamiento).

Fuente: Yajing Chen et al. (2020)

El efecto en esta misma vitamina fue evaluado en puré de manzana Grammy Smith acidificado, y se observó que su contenido total no fue afectado a 400 MPa (Landl et al., 2010). De acuerdo con Oey et al. (2008), la vitamina C es inestable por encima de los 65°C y a presiones superiores a los 600 MPa.

Por otra parte, en puré de banana se exhibió una inactivación de la flora microbiana natural, donde el recuento de bacterias aerobias totales después del tratamiento fue menor a 0.5 log UFC/g y fue indetectable el nivel de levaduras y mohos. En cuanto a los compuestos volátiles, se observaron valores de pérdida inferiores en los ésteres y sus fracciones, detectándose la presencia de etil 3-hidroxihexanoato y butanoato de hexilo, compuestos responsables de un olor fresco (Z. Xu et al., 2016). Así mismo, la aplicación de altas presiones en papaya recién cortada (50-400 MPa / 3-60 min) aumentó el nivel de ácido ascórbico y folatos totales en un 35 y 25% respectivamente (Ramos Parra et al., 2021).

Mientras que jugo de zanahoria tratado a 550 MPa por 6 min, evidenció ausencia de microorganismos, mejora de las propiedades reológicas, conservación de su aroma y un sabor más fresco (Figura 4) (Y. Zhang et al., 2016). Un estudio similar realizado en trozos de zanahoria (*Daucus carota* L.) evidenció la inactivación significativa de las bacterias patógenas, conservación de las propiedades fisicoquímicas y un aumento significativo en la capacidad antioxidante (Akdemir Evrendilek & Ozdemir, 2019).

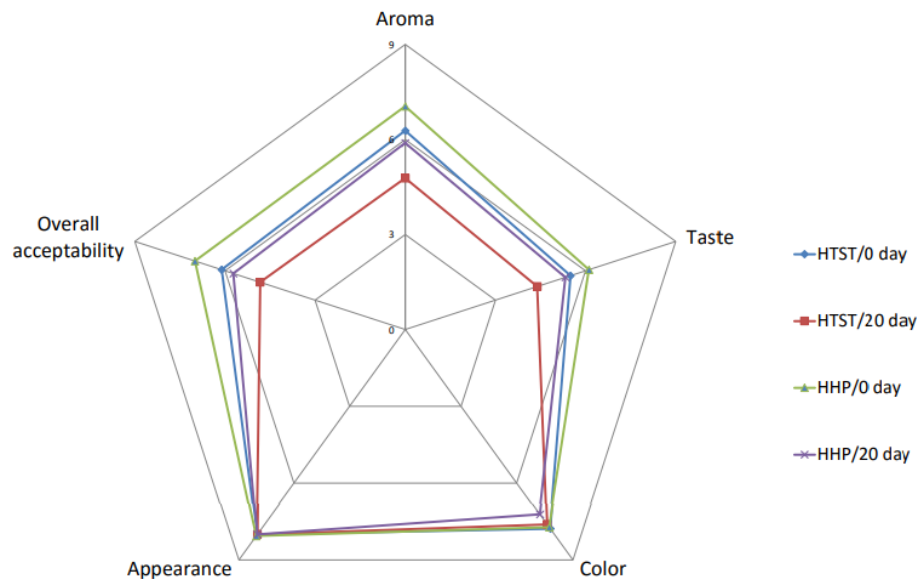


Figura 4. Análisis sensorial de jugos de zanahoria tratados a 550 MPa / 6 min y HTST a 110 °C / 8.6 s y almacenados por 20 días a 4 °C

Fuente: Y. Zhang et al. (2016)

Además, en zanahorias las HPP son capaces de inducir la biosíntesis de fenólicos libres, debido a la alta acumulación de fenólicos posterior a la aplicación; sin embargo, este tratamiento también acelera la frecuencia respiratoria y la producción de etileno. Es decir, al ser sometido el alimento a 60 y 100 MPa, se libera ATP y se activan o desactivan las enzimas.

Como se detalla en la Figura 5, el mecanismo de inducción se debe a que el ATP liberado es utilizado como señal primaria para inducir la elicitación. El ATP se junta con los receptores de las células adyacentes, incitando la generación de moléculas de señalización de estrés secundario, como etileno y especies de oxígeno reactivas (ROS), y estas moléculas secundarias se relacionan con la activación del metabolismo fenilpropanoide a través de la activación de PAL (Viacava et al., 2020).

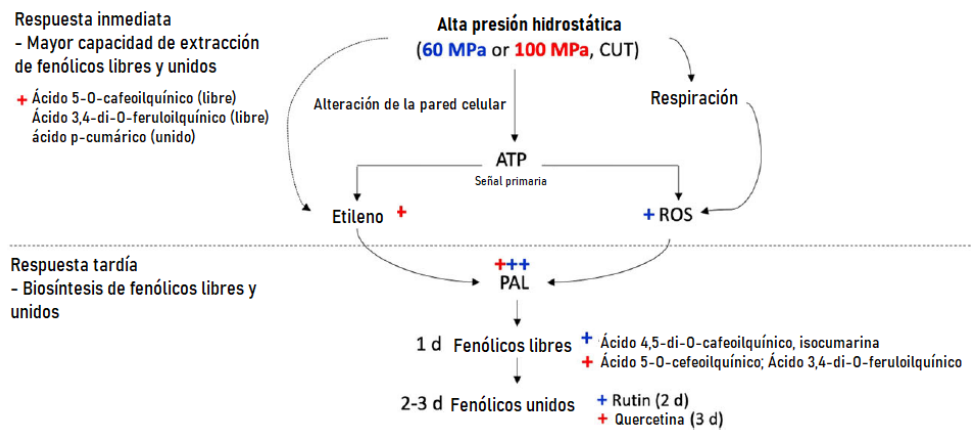


Figura 5. Mecanismo que inducen la acumulación de fenólicos libres en zanahoria tratada con HPP

Fuente: Viacava et al. (2020)

En otro estudio realizado en pimientos verdes tratados con HHP, se observó una mayor retención de vitamina C posterior al tratamiento, en comparación con muestras tratadas por escaldado térmico (Castro et al., 2008). De igual manera F. Zhang et al. (2021), señalaron que posterior a la aplicación de HHP en pimientos morrones (*Capsicum annuum* L.), se observó una reducción de levaduras y mohos por debajo del límite de detección (10 UFC/g), sin afectar la aceptabilidad de las propiedades sensoriales; sin embargo, se observó un ablandamiento y pérdida de peso significativa.

En la Tabla 1, se detallan los parámetros y el efecto de la aplicación de HPP en diferentes frutas y vegetales. A manera de síntesis se puede observar una inactivación considerable de la carga microbiana a niveles de presión entre los 200 y 300 MPa; si bien se pueden incrementar estos niveles para una mayor reducción de microorganismos, esto puede afectar negativamente, debido a que a presiones mayores a los 600 MPa se observa cambios sensoriales y pérdidas de nutrientes que disminuyen la calidad de la matriz alimenticia.

Además, a valores elevados de presión se aprecia la inhibición del pardeamiento enzimático, que permite conservar de mejor manera las características organolépticas de las frutas y verduras. Sin embargo, un efecto contrario se observó a valores de presión bajos (200 MPa), con un aumento de la actividad de enzimas como las carboximetilcelulasa, poligalacturonasa y β -glicosidasa, siendo este efecto aprovechado en la extracción de compuestos bioactivos como ácido ascórbico, carotenoides, antocianinas y compuestos fenólicos.

Tabla 1. Efectos y parámetros de la aplicación de altas presiones hidrostáticas en frutas y vegetales

Alimento	Nombre científico	*Parámetros			Efecto	Referencia
		P (MPa)	T (°C)	t (min)		
Durazno	<i>Prunus Persica</i> L. cv. Romea	500	21-35	5	A valores altos de presión se inhiben totalmente el pardeamiento enzimático y se presenta una mejor extracción de ácido ascórbico y compuestos fenoles. Niveles de presión > 600 MPa afecta negativamente la textura, disminuyendo de manera significativa la dureza.	(Denoya et al., 2017)
Fresa	<i>Fragaria</i> cv. Camarosa	120	25	1	Presentó mayor estabilidad microbiológica, a diferencia del tratamiento térmico convencional. No existió pérdida significativa de dureza, presentó mayor contenido de fenol y antocianinas, y exhibió mejor preservación del color.	(Gao et al., 2016)
Chirimoya	<i>Annona cherimola</i> Mill.	600	23-27	8	La combinación de HHP con enterocina AS-48, redujo 5 ciclos logarítmicos el recuento microbiano (<i>Pantoea agglomerans</i> , <i>Pantoea vagans</i>).	(Pérez Pulido et al., 2015)
Naranja	<i>Citrus</i>	200 400	25 40	1 1	Se consiguió una pulpa más homogénea, que conservó su contenido de flavonoides y vitamina C, y mayor capacidad de retención de agua. Además, se identificó un incremento de los compuestos bioactivos (carotenoides).	(De Ancos et al., 2020)
Piña	<i>Ananas comosus</i>	500	25	10	Se observó la inactivación de microorganismos de descomposición (bacterias aerobias, levaduras y mohos, coliformes) en el jugo. Conservó sus características fisicoquímicas como: color, actividad antioxidante, componentes bioactivos y volátiles.	(Wu et al., 2021)
Mango	<i>Mangifera Indica</i> L.	250	25	10	Se inactivó completamente <i>Escherichia coli</i> O157:H7. No se afectó el contenido de sólidos solubles, ni el pH. Se logró conservar los compuestos aromáticos presentes en la fruta.	(Ragazzo Sánchez et al., 2019)

Aronia	<i>Aronia melanocarpa</i>	600	27-33	5	Se logró la inactivación completa de levaduras y mohos, asegurando la calidad y prolongando la vida útil del puré.	(Yuan et al., 2018)
Orujo de uva	-	200	32	5-10	Aumentó la actividad de las enzimas: carboximetilcelulasa, poligalacturonasa y β -glicosidasa, siendo eficiente para la extracción de compuestos bioactivos. Sin embargo, la combinación de enzimas y HHP presentaron mejores resultados de recuperación de compuestos bioactivos.	(Cascaes Teles et al., 2021)
Calabacín	<i>Cucurbita pepo L, cv. Nero di Milano</i>	400	20	1	Las muestras selladas al vacío, en bolsas de plástico flexibles, no presentaron cambios histológicos significativos, pero se observó la hinchazón de las paredes celulares y una deshidratación leve. Además, en estas condiciones se dió un 27% menos de efectividad en la inactivación de la actividad de la pectinmetilesterasa (PME). En general, la aplicación de HHP en calabacín provocó el oscurecimiento general de la epidermis y parénquima.	(Paciulli et al., 2021)
Cáscara de tomate	-	300	80	30-45	Las muestras fueron molidas y empacadas en bolsas de polietileno, para la extracción de pectina con ácido nítrico (0.1 mol/L). En estas condiciones, las pectinas extraídas fueron más brillantes, con altas fracciones de masa de ácido anhidrouónico (AUA); sin embargo, en tiempo de 10-20 minutos el contenido de pectina extraído es inferior al método convencional (180 min).	(Ninčević Grassino et al., 2020)
Col roja y rábano	-	100	<30	5	La turgencia del rábano y col roja no disminuyó por debajo del 30% después del tratamiento; sin embargo, los rábanos son significativamente más sensibles al tratamiento. Se observa pérdida de turgencia notable e irreversible, debido a las perturbaciones de la semipermeabilidad de la membrana, y este efecto depende de la intensidad, temperatura y duración del tratamiento.	(Rux et al., 2020)

Nota: P: presión, T: temperatura, t: tiempo. *Parámetros seleccionados del mejor tratamiento.

3.1.2. Irradiación

Es una técnica no térmica que consiste en someter a los alimentos a una dosis específica de radiaciones no ionizantes o ionizantes, de esta manera se destruyen los microorganismos que se pueden encontrar en los alimentos (Ilustración 2) (Nair & Sharma, 2016; Pathak et al., 2018). Esta tecnología se puede emplear en la prevención de enfermedades transmitidas por alimentos, conservación, esterilización, control de insectos, retraso de la maduración y germinación.

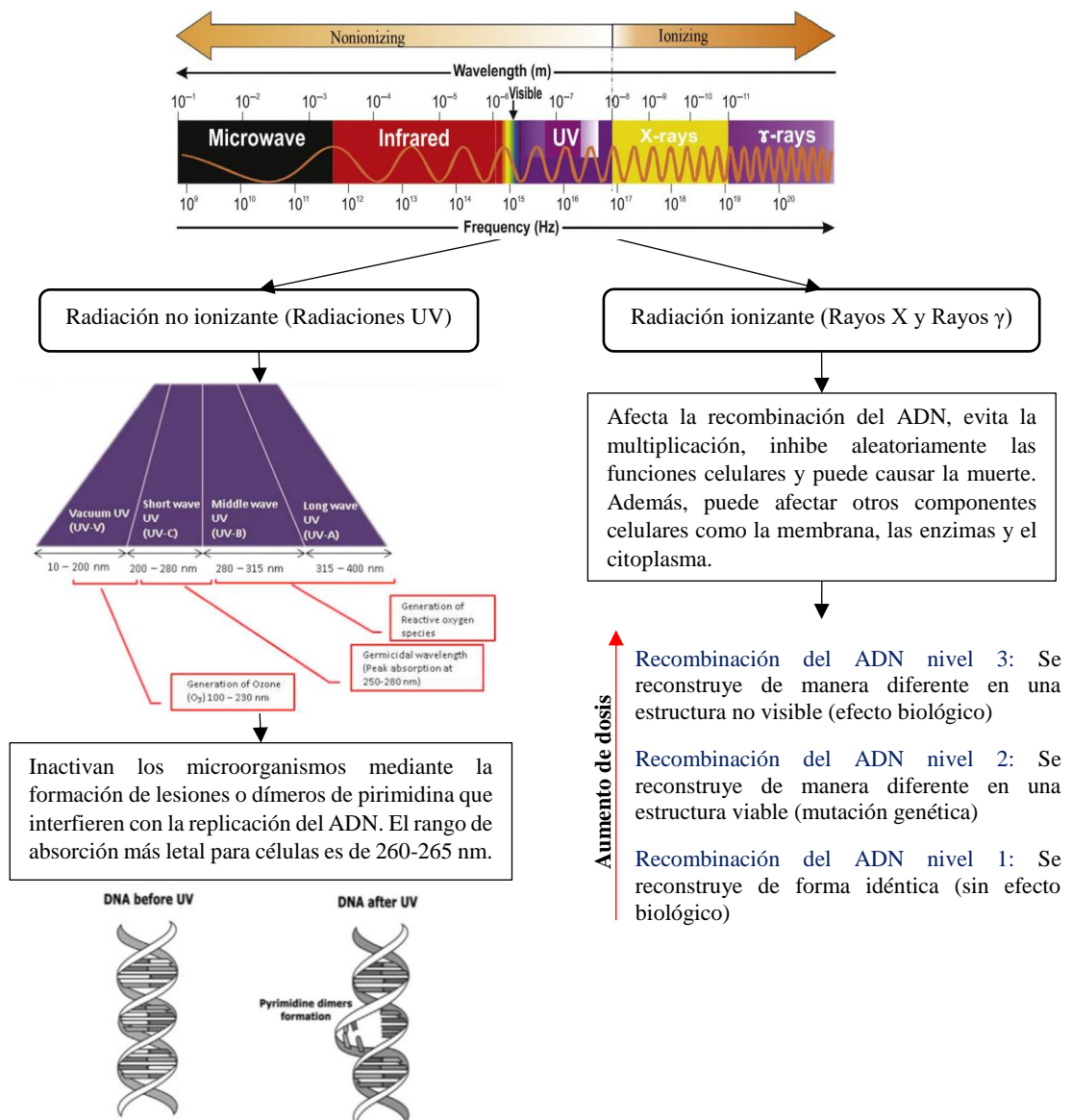


Ilustración 2. Efectos de la radiación ionizante y no ionizante sobre la destrucción microbiana

Fuente: (Delorme et al., 2020; Hinds et al., 2019; Prakash & Ornelas Paz, 2019)

Se han realizado diversas investigaciones que respaldan el consumo de los alimentos irradiados (**World Health Organization, 1994**), y se han creado normas internacionales y nacionales para su aplicación. Actualmente, las industrias deben identificar los alimentos que han sido sometidos a este tipo de tecnología con el símbolo de radura (Figura 6), junto con la declaración “manipulado con irradiación”.



Figura 6. Símbolo internacional que indica que el alimento ha sido sometido a irradiación

Fuente: Lirola (2020)

3.1.2.1. Clasificación

a. Radiación no ionizante

Es una forma de energía que viaja en forma de ondas electromagnéticas en el espacio, son producida por una máquina que trabaja a una determinada longitud de onda. Dicha energía no es capaz de arrancar electrones, solo produce excitaciones electrónicas (**Pathak et al., 2018**). Su espectro electromagnético se encuentra en un rango de 0 a 10¹⁵ Hz. Dentro de este grupo se encuentra: la radiofrecuencia, microondas, infrarrojos y ultravioleta que presentan una larga longitud de onda mayor a 100 nm (**Syaza et al., 2017**). Este tipo de radiación debe controlarse de manera adecuada, ya que presenta un riesgo considerable para la salud de los consumidores.

a.1. Microondas

Es una forma de energía electromagnética de ondas cortas de alta frecuencia (300 - 300000 MHz). Dicha energía procede de un magnetrón, que es un tubo electrónico al vacío, que genera un campo eléctrico dentro del horno o túnel microondas, el cual transforma las ondas de alta frecuencia en calor, debido a la interacción de moléculas polares o partículas cargadas (**Zapata et al., 2009**). Se caracteriza por reducir el tiempo de calentamiento y presentar mayor eficiencia energética.

a.1.1. Funcionamiento

Las ondas de alta frecuencia producen vibración de las moléculas, dicho movimiento causa una fricción interna que da lugar a condiciones hipertérmicas que afectan las moléculas ionizables o polares (**Velásquez Valderrama & Sánchez Arenas, 2008**). El proceso de calentamiento dieléctrico de los alimentos se debe a la presencia de componentes con dipolos eléctricos (carga positiva parcial y carga negativa parcial). La energía de las ondas provoca la polarización de la rotación dipolo, que implica que la carga positiva de la molécula se movilice hacia el extremo negativo del campo magnético y viceversa. Este cambio continuo de polaridad en el campo eléctrico, produce la oscilación de los dipolos de las moléculas, lo cual genera calor de dentro hacia afuera (**Soto Reyes et al., 2012**).

a.1.2. Aplicaciones y efectos en los alimentos

Las frutas y vegetales son alimentos que contribuyen a la salud y equilibran la dieta diaria, por lo general para su consumo necesitan ser tratados para inactivar los compuestos anti nutricionales y microbiológicos, y para resaltar las características organolépticas. Sin embargo, tratamientos como la cocción provocan cambios en la composición química y pueden afectar la concentración y biodisponibilidad de los compuestos bioactivos. Las microondas se han utilizado en este tipo de alimentos para el calentamiento, cocción, secado, extracción de compuestos fenólicos y como pretratamiento para la eliminación de humedad.

Por ejemplo, la aplicación de microondas a 2450 MHz en jugo de naranja evidenció una mayor conservación de ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos, en comparación a una pasteurización convencional; además, se observó menor pardeamiento y mayor actividad antioxidante (**Martins et al., 2021**).

Kernou et al. (2021), mencionan que la combinación de ultrasonido (42 kHz/20 min) y microondas (900W/30 s) en jugo de naranja, tiene mayor efectividad en la inactivación de *Escherichia coli* ATCC 25922, con una reducción de 8 log, en comparación a los resultados encontrados en los tratamientos por separado. Estos datos son de gran utilidad, debido a que permitirán optimizar la pasteurización de bebidas con presencia de cepas resistentes a los ácidos y a altas temperaturas.

De igual manera, **Yanpei Chen et al. (2021)**, reportaron que la aplicación de microondas en frutas de caqui a alta potencia (539 W/1.5 min) y baja potencia (231 W/3 min), extendió su vida útil debido al retraso en el ablandamiento. Además, se frenó la degradación de la celulosa y la pectina, este aspecto es positivo considerando que esta fruta es muy sensible y que su vida útil es de 3-4 días.

Mientras que la aplicación de 1000 W/10 min a orujos de uvas permitió un aumento del rendimiento en un 45% en la extracción de antocianinas; sin embargo, al emplear una solución de agua acidificada como disolvente, el contenido de antocianinas se vio afectado y el rendimiento fue inferior (**Brown da Rocha & Zapata Noreña, 2020**).

Por otro lado, se analizó el efecto de las microondas en tomate (**Baltacıoğlu et al., 2021**), y se determinó que las condiciones óptimas para la extracción de compuestos fenólicos totales, son 900 W por 90 s.

Según **Mohammad Salamatullah et al. (2021)**, la cocción mediante microondas es un método efectivo para el aumento de compuestos nutricionales en berenjena. Este alimento fue tratado por microondas a una potencia de 900 W de forma ligera (7 min), media (10 min) y alta (15 min), y se observó un aumento del contenido total de polifenoles y la actividad antioxidante. Sin embargo, algunos compuestos fenólicos pueden sufrir degradación, autooxidación y polimerización, como por ejemplo el ácido clorogénico, lo que conlleva a la reducción y liberación de otros compuestos bioactivos, los cuales pueden compensar la pérdida de algunas sustancias o incluso aportar en el aumento de la actividad antioxidante. De igual manera, el potencial antimicrobiano se incrementó en la cocción a microondas a 7 y 10 minutos, mientras que la cocción por 15 min no evidenció potencial antimicrobiano.

Un estudio realizado por **Buratti et al. (2020)**, en muestras de coliflor, zanahoria y batatas, sometidas a ebullición, cocción al vapor y microondas, evidenció que las condiciones de tiempo, temperatura y potencia influyen sobre las características de los alimentos. Las muestras tratadas por ebullición evidenciaron pérdida de sólidos totales y ácido ascórbico, debido a la absorción de agua que provoca la disolución de los compuestos; mientras que el tratamiento con microondas produjo un aumento de sólidos totales debido a la evaporación del agua, presentándose menores pérdidas en la concentración de ácido ascórbico.

En cuanto el contenido de polifenoles totales, la coliflor sometida a ebullición se vio fuertemente afectada, en comparación a la cocción al vapor y microondas, tratamientos en los que se observó un aumento en su valor, debido al ablandamiento de los tejidos vegetales, la ruptura de complejos polifenol-proteína y la liberación de compuestos fenólicos libres y derivados del hidrólisis de compuestos de alto peso molecular.

En la Figura 7, se observa que el tratamiento por microondas conserva los carotenoides y aumenta la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante de zanahoria.

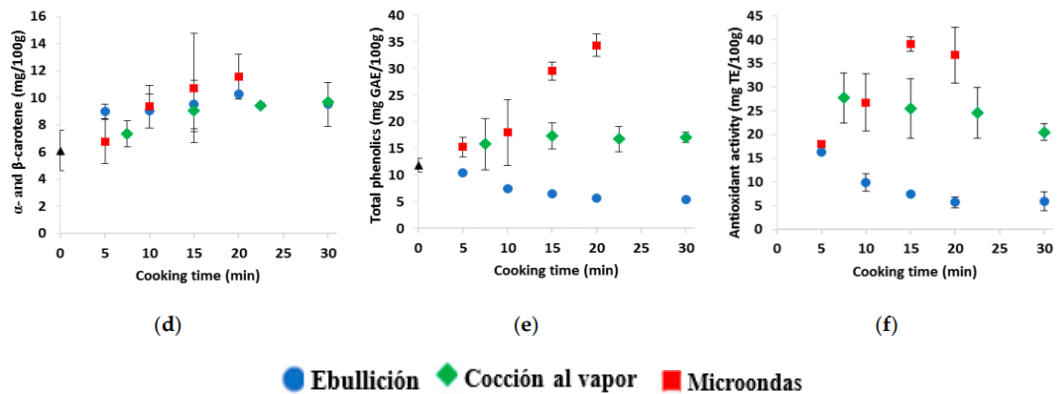


Figura 7. Propiedades nutricionales de zanahoria posterior al tratamiento de ebullición, cocción al vapor y microondas

Fuente: Buratti et al. (2020)

En la Tabla 2, se señalan los parámetros y el efecto de la aplicación de microondas en algunas frutas y vegetales. De manera general en alimentos como: la uva, piña, zanahoria, arándanos y frambuesa, se observa una conservación o disminución de los cambios sensoriales como: textura, color, olor y brillo. Además, se observó un aumento de los compuestos bioactivos y por ende una mayor extracción de los mismos; sin embargo, a potencias mayores a 400 W el contenido de polifenoles puede verse afectado y disminuir, debido a que los largos procesos y las altas temperaturas inducen a la pérdida de pigmentos.

Además, esta tecnología empleada como pretratamiento mejora la transferencia de masa durante los procesos de secado, deshidratación o liofilización, observándose mayor pérdida de humedad y por ende mayor concentración de sólidos.

Tabla 2. Efectos y parámetros de la aplicación de microondas

Frutas	Nombre científico	*Parámetros		Efecto	Referencia
		P (W)	t (min)		
Bagazo de marañon	<i>Anacardium occidentale</i> L.	390-460	12-18	Conservación del color y olor. A mayor potencia, mayor porcentaje de humedad se elimina. Aumento de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.	(Morales Cruz et al., 2019)
Cáscara de piña	<i>Fragaria cv. Camarosa</i>	372	15-20	Conservación de textura, color, brillo y características físicas. Aumento de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.	(Chávez Reyes et al., 2019)
Zanahoria	<i>Daucus carota</i> L.	900	1-3	Mínimos cambios de color. Disminución en la degradación de la textura. Mayor concentración de β -caroteno.	(Delfiya et al., 2017)
Arándanos	<i>Vaccinium macrocarpon</i> L.	100	1.5-20	Empleo de microondas al vacío como pretratamiento, ya que acelera la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica. Además, se observó dos o tres veces mayor pérdida de humedad y la ganancia de sólidos en comparación a la fruta sin tratar.	(Zielinska et al., 2018)
Semilla de mango	<i>Mangifera indica</i> L.	460	15	Mayor extracción de compuestos fenólicos y conservación del color, por el empleo de un menor tiempo en un peso mayor (200 g).	(Zavala Zavala et al., 2020)

Frambuesa	<i>Rubus idaeus L.</i>	437.5	1	Mayor contenido de polifenoles totales, debido a la ruptura celular que se da por el sobrecalentamiento interno del agua, que absorbe la energía producida por las microondas.	(Valdez Betanzos, 2021)
Fruta Sohiong	<i>Prunus nepalensis</i>	400	Pretratado 0.55% ácido cítrico y nivel de vacío de 690 mmHg	A una potencia mayor a 400 W el contenido de polifenoles totales disminuye, debido a que, al aumentar la potencia, manteniendo un peso constante, la temperatura incrementa y causa la oxidación enzimática de polifenoles a temperaturas altas. La aplicación de microondas permite mantener una calidad óptima del producto, conservando el contenido fenólico total, la actividad antioxidante, el color y el contenido de antocianinas.	(Kumar Dash et al., 2021)
Uva	<i>Vitis vinifera L.</i>	400	10	La hidrodifusión y las microondas son pretratamientos mucho más rápido, en comparación al secado convencional y la liofilización, debido a que solo en 10 min se dio una reducción del 50% de humedad, lo que en otros tratamientos se demora de 17-149 h. Por ende, la rapidez del tratamiento evita la degradación de compuestos bioactivos y parámetros sensoriales de las muestras, obteniéndose al final alto contenido fenólico y una mejor actividad antioxidante. La reducción del tiempo de secado se da debido a que las moléculas de agua, de la fruta, absorben la energía de las microondas proporcionando una evaporación rápida y una mayor difusividad de la humedad.	(Farias et al., 2021)

Nota: P: potencia; t: tiempo; *Parámetros seleccionados del mejor tratamiento.

a.2. Radiación ultravioleta (UV)

La comúnmente llamada radiación ultravioleta, es la radiación electromagnética a una longitud de onda entre 200 a 400 nm aproximadamente, la cual se subdivide en tres regiones: onda corta UV-C, onda media UV-B y onda larga UV-A (Tabla 3).

Tabla 3. Tipos de radiación UV

Tipo	Longitud de onda (nm)
UV-A	330-400
UV-B	270-330
UV-C	200-270

Fuente: Koutchma (2019)

a.2.1. Funcionamiento

La radiación UV-C tiene la capacidad de inducir la formación de dímeros, entre las moléculas de nucleótidos de pirimidina que alteran la hélice del ADN, bloqueando la replicación y otras funciones de las células microbianas, provocando que no puedan reparar el ADN y que finalmente mueran (Flores et al., 2020).

Sin embargo, es necesario conocer la inactivación decimal de los microorganismos, previo al diseño de un proceso de tratamiento. La desinfección con luz UV-C, dirigida a una sola población microbiana, se puede expresar con la Ecuación 1.

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-k \times E \times \Delta t} = e^{-k \times D} \quad (1)$$

Dónde: N_t y N_0 : población microbiana final e inicial respectivamente; Δt : variación de tiempo; k : constante de inactivación; E : irradiación germicida efectiva recibida por el microorganismo ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$); D : cantidad de energía radiante UV-C aplicada (mJ/cm^2).

De acuerdo con Singh et al. (2021), la cantidad de energía radiante (mJ/cm^2) expresa la acción germicida de la radiación UV-C y puede determinarse al multiplicar la intensidad ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) por el tiempo de exposición (segundos) (Ecuación 2).

$$D = I \times t \quad (2)$$

a.2.2. Aplicación y sus efectos en los alimentos

La aplicación de radiación UV-C presenta una gran efectividad germicida, ya que altera el ADN y la división celular de los microorganismos. Los tratamientos con luz UV son capaces de modular la tasa de maduración, reducir la respiración y activar la respuesta de defensa natural de las frutas, por lo que logra aumentar la vida útil después de la cosecha; además, es capaz de mejorar la actividad de algunas enzimas **(Andrade Cuvi et al., 2017; Millán Villarroel et al., 2015)**.

Según **Jeon y Ha (2020)**, la luz UV-A es capaz de producir daños en las células al inducir estrés oxidativo, daño a las proteínas, retraso del crecimiento y reducción del metabolismo energético; sin embargo, los efectos son subletales de tal forma que dañan la célula, pero no la matan. Por su longitud de onda tiene una mayor transmitancia en los alimentos; es decir que su permeabilidad es superior a la de otros rayos ultravioleta y su actividad antibacteriana es muy baja.

De acuerdo con **Ortiz Araque et al. (2018)**, la aplicación de radiación UV-C en dosis baja (4 kJm^{-2}), reduce el recuento de levaduras y hongos en frutilla, retrasando la maduración y la descomposición; además, reduce la velocidad de germinación de los codonios de *Botrytis* y *Rhizopus*. La aplicación previa al almacenamiento, en una sola dosis, reduce el recuento de mohos y levaduras y tiene un efecto inhibitor sobre las levaduras, pero es necesaria la aplicación de dos o más ciclos para inactivar lo mohos.

En arándanos la aplicación de radiación UV-C produjo una reducción de 2 o más órdenes logarítmicas en el recuento de mohos; sin embargo, la superficie rugosa de la fruta puede afectar la efectividad. En este sentido, se ha observado que, en frutas con rugosidades, como la piña, por el efecto sombra que se produce no se genera una inactivación de algunas células microbianas, afectando el efecto germicida en comparación a las frutas de superficie lisa o plana **(Frisón et al., 2021)**.

En carambolas cortadas se aplicó una dosis entre 10 y 12.5 kJm^{-2} de UV-C, logrando una reducción de la carga de mohos, levaduras y bacterias **(Moreno et al., 2017)**. Posterior al almacenamiento, las carambolas presentaron mejores características fisicoquímicas y organolépticas en comparación al control (Figura 8).

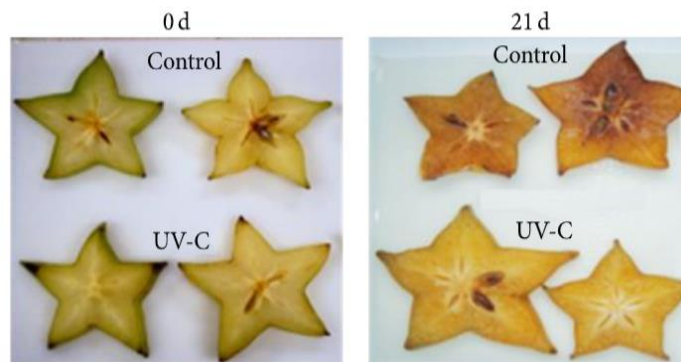


Figura 8. Rodajas de carambola tratadas con UV-C (12.5 kJm^{-2}) almacenadas durante 21 días a 4°C

Fuente: Moreno et al. (2017)

La aplicación de UV-C en calabaza amarga por 40 min, conserva la firmeza, aumenta los compuestos nutraceuticos (antioxidantes, carotenoides, clorofila, fenoles totales), reduce la pérdida de peso y la descomposición durante el almacenamiento. Este efecto se logra debido a que la irradiación activa el sistema antioxidante (aumento de carotenoides) con la finalidad de proteger a la planta (Prajapati et al., 2021). De igual forma Andrade Cuvi et al. (2017), determinaron que la uvilla y el mortiño tratados con radiación UV-C, en una dosis de 12.5 kJm^{-2} , presentaron mayor capacidad antioxidante. En melocotones y manzanas la irradiación estimula el sistema de defensa, retrasando la senescencia, conservando su calidad nutricional y extendiendo su vida útil (Lu et al., 1991).

De igual manera, los pulsos de luz ultravioleta han aumentado la vida útil de zumo de naranja y mango en casi 20 días, sin necesidad de aplicar ningún otro método de conservación (Peralta Pérez, 2019). Cabe señalar que, la transmitancia de la radiación UV-C en alimentos líquidos, como bebidas de frutas, es relativamente baja por la alta densidad óptica que posee, lo que reduce la eficacia antimicrobiana del tratamiento; por ende, para su aplicación se deben tener en cuenta variables como: viscosidad, pH, espesor, color, densidad óptica y composición química del alimento.

En la Tabla 4, se especifican los parámetros y el efecto de la aplicación de la radiación UV en algunas frutas y vegetales. A manera de síntesis, se puede observar que la aplicación de radiación UV-B y UV-C, reducen considerable la carga microbiana y aumentan los compuestos bioactivos (flavonoides, vitamina C, compuestos fenólicos) y la actividad antioxidante. Además de mejorar la apariencia sabor y textura, se señaló una disminución de la pérdida de peso por la limitada velocidad de respiración.

Tabla 4. Efectos y parámetros de la aplicación de radiación ultravioleta

Alimentos	Nombre científico	Tratamiento	*Parámetro		Efecto	Referencia
			D (kJ/m ²)	t (min)		
Uvas	<i>Vitis vinifera</i>	UV-C	3.6	-	Incrementa los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante de las uvas.	(Sheng et al., 2018)
Piña	<i>Ananas comosus L</i>	UV-C	13.2	10	Mejoró la calidad postcosecha de la piña, ya que se redujo la incidencia de enfermedades y el pardeamiento interno. Aumentó el contenido de vitaminas C, compuestos fenólicos, flavonoides y la capacidad antioxidante de la piel.	(Kemala Sari et al., 2016)
Limones	<i>Citrus limon L.</i>	UV-B	22	3	Aumentó los compuestos bioactivos (flavonoides, fenoles). La aclimatación a los rayos UV-B, permite a la fruta resistir a los patógenos, mejorando las defensas naturales contra <i>Penicillium digitatum</i> .	(Ruiz et al., 2016)
Cereza	<i>Prunus avium</i>	UV-B UV-C Quitosano (1%)	21.6	10	El tratamiento de UV combinado con un recubrimiento, evita la pérdida de peso y ofrece una mayor firmeza, debido a que limita los procesos catabólicos y la velocidad de respiración y transpiración, reduciendo la pérdida de agua de la fruta. Además, previene la síntesis de etileno, manteniendo la firmeza, compuestos bioactivos y calidad sensorial.	(Abdipour et al., 2020)
Jugo de morera negra	<i>Morus nigra L.</i>	UV-C	5-20		No se afecta significativamente la actividad captadora de DPPH y pH. Al aumentar la dosis UV-C se observó una reducción de los microorganismos aerobios y mesófilos.	(Kenan, 2021)

Jugo de Naranja	-	UV-C Nisina (15.62 µg/ml de nisina)	2.52	3	<p>La radiación UV-C elimina las esporas de <i>A. acidoterrestris</i>, y combinado con nisina presenta mayor efectividad (recuento <1.7 log UFC). Además, conserva la vitamina C (sensible a la luz).</p> <p>Su mecanismo de acción consiste en daños directos sobre el ADN, induciendo la formación de dímeros de pirimidina denominados fotoproductos.</p> <p>Por la cantidad de sólidos solubles y materia en suspensión, la transmitancia de la radiación UV-C dependerá de las características de cada jugo, por lo cual no se puede comparar con otros jugos frutales.</p>	(Varela Ferreira et al., 2020)
Floretes de brócoli	<i>Brassica oleracea</i> L. var. Italica 'Diplomat	UV-B	7.2	-	<p>La hormesis por radiación UV-B retrasó la coloración amarillenta de los floretes de brócoli, debido a que retrasa la supresión de enzimas que degradan la clorofila.</p> <p>Por la exposición a tensiones abióticas se da una mayor frecuencia respiratoria y existe un mayor contenido de fenoles en comparación a la muestra control, además de mejorar el contenido de fotoquímicos.</p> <p>Menor pérdida de peso por los cambios en la tasa de trans- evaporación de humedad, que se da por la modificación morfológica de la superficie.</p>	(Duarte Sierra et al., 2020)
Espinacas	<i>Spinacia oleracea</i> L.	UV-B	0.6	4	<p>Hojas cortadas se colocaron en platos de espuma de poliestireno envuelto con film. Posterior a la aplicación, se observó un incremento de sólidos solubles, y una mejor apariencia de color, sabor y textura.</p> <p>Reducción del amarilleo de las hojas.</p>	(Kasim & Kasim, 2017)

Nota: D: dosis; t: tiempo. *Parámetros seleccionados del mejor tratamiento.

b. Radiación ionizante

De acuerdo a **Khan et al. (2019)**, la radiación ionizante es una tecnología de muy corta longitud de onda y alta intensidad, que es capaz de modificar átomos sustrayendo un electrón para formar un ion; sin embargo, no suministra la energía suficiente como para dividir átomos, haciendo que las fuentes expuestas sean radioactivas. Dentro de este grupo los más comunes son: rayos X y rayos gamma.

Los efectos de la radiación ionizante pueden ser directos e indirectos. Los directos dañan los componentes celulares como carbohidratos, el ADN y los lípidos, mientras que, en los indirectos, los componentes de los alimentos reaccionan con los radicales libres, especies reactivas como hidroelectrones, átomos de hidrógeno o radicales hidroxilos, siendo el agua el principal mecanismo para la transferencia de irradiación ionizante (**Fan & Wang, 2020**).

Tabla 5. Efecto de las radiaciones ionizantes de acuerdo con la dosis aplicada

	Dosis	Efecto
Baja	10 Gy – 1 kGy	Inhibir la germinación y el retraso de maduración.
Media	1 – 10 kGy	Inactivar los patógenos y el deterioro de microorganismos.
Alta	>10 kGy	Esterilizar y descontaminar.

Fuente: Indiarto y Hasan Qonit (2020)

Cabe mencionar que la dosificación reportada en literatura no se puede utilizar como indicador preciso, ya que la dosis dependerá de las condiciones del alimento (madurez, circunstancias de cosecha) y del procesamiento.

b.1. Funcionamiento

La formación de los iones cargados se da por la interacción de los fotones con las moléculas de los alimentos, las que sufren una serie de cambios y generan radicales libres reactivos, que además de reaccionar entre sí, reaccionan con las moléculas no cargadas.

b.2. Aplicación y efectos en los alimentos

Las frutas son alimentos muy perecederos, lo que dificulta su disponibilidad y comercio en los mercados. La aplicación de irradiación gamma es una metodología muy empleada para la higienización, ha sido reconocida como un tratamiento eficaz que garantiza la seguridad alimentaria y el comercio de productos como frutas y vegetales (Ic & Cetinkaya, 2021).

Según Saxena et al. (2021), el aplicar irradiación gamma (^{60}Co a 5 kGy) a ciruela Java deshidratada y envasada en paquetes de polietileno de alta densidad (LDPE), garantiza su calidad comercial. Posterior al tratamiento se observó una carga microbiana por debajo del nivel detectable, debido a que la radiación causa daños directos e indirectos al ADN y por ende muerte microbiana. Las muestras tratadas mantuvieron las características organolépticas y ausencia de mohos hasta 5 meses (Figura 9).

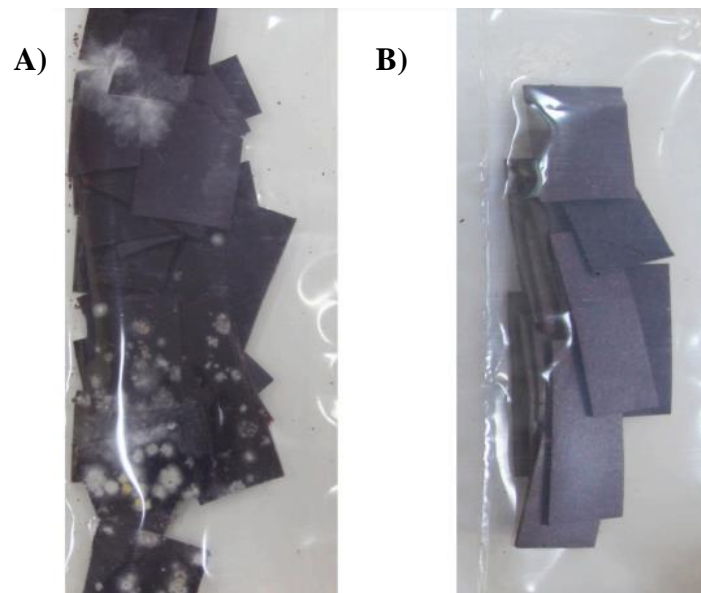


Figura 9. A) Deterioro de las muestras de ciruela Java no irradiadas, B) Muestras irradiadas (5 kGy)

Fuente: Saxena et al. (2021)

Asimismo, Sharma et al. (2020), aplicaron irradiación gamma ^{60}Co en un rango de 0 – 0.2 kGy a bulbos de ajo e identificaron que a 0.12 kGy los bulbos presentaron mínimas pérdidas de peso, menor pudrición y mejores atributos sensoriales, logrando mantener su vida útil por 4 meses.

Un estudio realizado en zanahoria cortada se encontró que la aplicación combinada de un recubrimiento bioactivo (nano-emulsión antimicrobiana con una matriz encapsulada a base de caseinato de calcio) e irradiación de 32 kGy, mejora las propiedades reológicas del recubrimiento, y que con un post tratamiento de irradiación gamma a dosis baja (0.5 kGy), es posible extender la vida útil (**Ben Fadhel et al., 2021**).

Por otra parte, los autores **Mohammad Razdari et al. (2021)**, detallan que la aplicación de radiación por rayos gamma y ^{60}Co a 5kGy en manzana (*Golden delicious*), reduce el tiempo de deshidratación, debido a que el tratamiento contribuye a mejorar la tasa de pérdida de humedad.

De acuerdo con los estudios anteriormente mencionado, la aplicación de irradiación gamma mantiene la calidad de las frutas en la etapa de post cosecha, beneficiando a los horticultores debido a que previene el deterioro físico y conserva el estado higiénico de las frutas.

En Ecuador, en la norma técnica **NTE INEN 2735 (2003)**, se establece que las únicas fuentes de radiación permitidas son: rayos gama ^{60}Co o ^{137}Cs , rayos X y electrones generados por máquinas que funcionen con una energía mayor o igual a 5 MeV y menor o igual a 10 MeV. Y en todos los casos, la dosis absorbida en los alimentos no debe exceder los 10 kGy.

En la Tabla 6 se detallan los parámetros y el efecto de la aplicación de rayos gamma en diferentes frutas y vegetales. De manera resumida, se puede observar un aumento considerable en el tiempo de vida útil de los alimentos, debido a la ralentización de la tasa de descomposición y la reducción de la carga microbiana.

Además, en algunos casos se reporta conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales, con un aumento de la disponibilidad de los sólidos totales, vitamina C, antocianinas y una mejor actividad antioxidante. Por otra parte, se observó que este tratamiento y no influye en la acidez titulable y el pH; sin embargo, las altas dosis pueden provocar un variaciones en el contenido de sólidos totales, acidez y compuestos bioactivos.

Tabla 6. Efectos y parámetros de la aplicación de los rayos gamma

Alimentos	Nombre científico	*Parámetros		Efecto	Referencia
		Dosis (kGy)			
Fresa	<i>Fragaria x ananassa</i> <i>cv. Festival</i>	0		Disminuyó significativa la pérdida de peso y la tasa de descomposición durante el almacenamiento. No influyó sobre la acidez titulable y el pH, pero hubo una disminución de vitamina C y un aumento de antocianinas.	(Maraei & Elsaywy, 2017)
		0.3			
		0.6			
		0.9			
Dátiles	<i>Phoenix dactylifera</i> <i>L.</i>)	5		Los rayos gamma evitaron la disminución del contenido fenólico total, los sólidos solubles, la humedad y el pH. Además, mejoraron la capacidad de la actividad antioxidante y fue eficaz para la descontaminación microbiana.	(Zarbakhsh & Rastegar, 2019)
Ponkan	-	0.5		La irradiación gamma rompió las membranas, lo que provocó la fuga de contenido intracelular (azúcares y proteínas). Afecta el funcionamiento metabólico de la malato deshidrogenasa y succinato deshidrogenasa, dentro del ciclo del ácido tricarbóxico. Ralentizó la tasa de descomposición y disminuyó la pérdida de nutrientes y peso. Y extendió la vida útil a temperatura ambiente.	(B. Zhao et al., 2020)
Granada	<i>Punica granatum L</i>	1		Redujo la carga microbiana de bacterias, hongos y levaduras, significativamente. Se observó una mejor actividad de la polifenoloxidasas. A dosis altas se observó menor contenido de sólidos solubles, fenoles, antocianinas y ácido ascórbico.	(Ashtari et al., 2019)

Arándanos	<i>Semen trigonellae</i>	2.5	Se inhibió la intensidad de la respiración, la producción de etileno y de lipoxigenasa, intensificando el efecto antioxidante. Reduce el aumento del contenido de malondialdehído y la permeabilidad de las membranas celulares. Presentó efectos de conservación óptimos.	(C. Wang et al., 2017)
Jugo de uva	-	2	Se observó un aumento en el contenido de antioxidantes y vitamina C. Se conservaron los atributos sensoriales. Se redujo la cantidad de levaduras y mohos durante el almacenamiento a temperatura ambiente.	(Mesquita et al., 2020)
Ajo	-	1.5	Se observaron cambios significativos en las propiedades fisicoquímicas del alimento. Aumentó la disponibilidad de los sólidos solubles y disminuyó la firmeza. La aplicación de altas dosis de irradiación, aumentó la disponibilidad de ácido ascórbico y alicina.	(Sharma et al., 2021)
Calabaza	<i>Cucurbita pepo</i>	1	Se observó un aumento del tiempo de vida útil de la calabaza lista para cocinar. El tratamiento no afectó la actividad de las curcubitacinas. Se observó una reducción del contenido de glucósidos y se conservó la calidad sensorial.	(Tripathi et al., 2016)
Verduras listas para hornear (pimiento, cebolla y tomate)	-	2	Prolongó la vida útil de los vegetales, garantizando la seguridad microbiológica, con un recuento de aerobio totales por debajo del límite permitido. Se conservaron las propiedades organolépticas y nutricionales (grasas, proteínas, carbohidratos, minerales y vitaminas).	(Bandyopadhyay et al., 2020)

*Parámetros seleccionados del mejor tratamiento.

3.1.3. Campo eléctrico pulsado

La tecnología de campo eléctrico pulsado (PEF), fue introducida en los años 60, usa pulsos de alto voltaje con una intensidad de 10 a 80 kV durante mili y microsegundos, donde el alimento (líquido, semisólido o sólido), es sometido en una solución electrolítica de baja conductividad térmica entre dos electrodos (**Vivanco et al., 2021b**). Los parámetros más utilizados se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros para la aplicación de campo eléctrico pulsado

Parámetro	Unidad	Rango
Fuerza de campo eléctrico	kV/cm	0.6 – 100
Distancia de electrodos	mm	3 – 77
Frecuencia de pulso	Hz	0.2 – 50
Número de pulsos aplicados	-	1 - 120
Volumen de muestra	ml	0.5 – 1.6
Tiempo de pulso	μs	1 – 10

Fuente: Ho y Mittal (2000)

3.1.3.1. Funcionamiento

El sistema se compone por un generador de impulsos de alto voltaje y una cámara de procesamiento que está compuesta por dos electrodos en paralelo, separados por materiales aislantes (**Cerón Carrillo et al., 2010**). La configuración del equipo debe evitar que se rompa la matriz alimenticia y existen opciones que permiten la aplicación por lotes o de forma continua, siendo la disposición de la cámara la que marca la diferencia. Durante el procesamiento se debe considerar la descomposición dieléctrica de los alimentos, que sucede al aplicar una fuerza alta que incrementa la presión y provoca daños al electrodo (**Barbosa Cánovas & Sepúlveda, 2005**).

3.1.3.2. Aplicación y efectos en los alimentos

Los campos eléctricos pulsados generan una diferencia de potencial entre los dos lados de la membrana celular de los microorganismos, cuando esta diferencia alcanza un cierto valor crítico (que varía según el tipo de microorganismo), provoca la formación de vacíos irreversibles en la membrana (cohesión eléctrica), perdiendo su integridad, aumentando su permeabilidad y eventualmente destruyéndola.

Como se observa en la Figura 10, el mecanismo de acción de PEF consiste en la inestabilidad local y la tensión que provoca la compresión electromagnética en la membrana celular, estos dos efectos promueven la formación de poros en la membrana y dan paso al fenómeno de electroporación. En el caso de que la muestra se encuentre tratada en solución, la descomposición eléctrica de las membranas celulares aumenta la permeabilidad y puede facilitar el paso de compuestos intracelulares a la solución circundante (Kim et al., 2019). Este efecto en la permeabilidad se utiliza en forma positiva en la industria, debido a que mejora los procesos de transferencia de calor y masa, reduciendo el tiempo de tratamiento en procesos como de deshidratación (Niu et al., 2020).

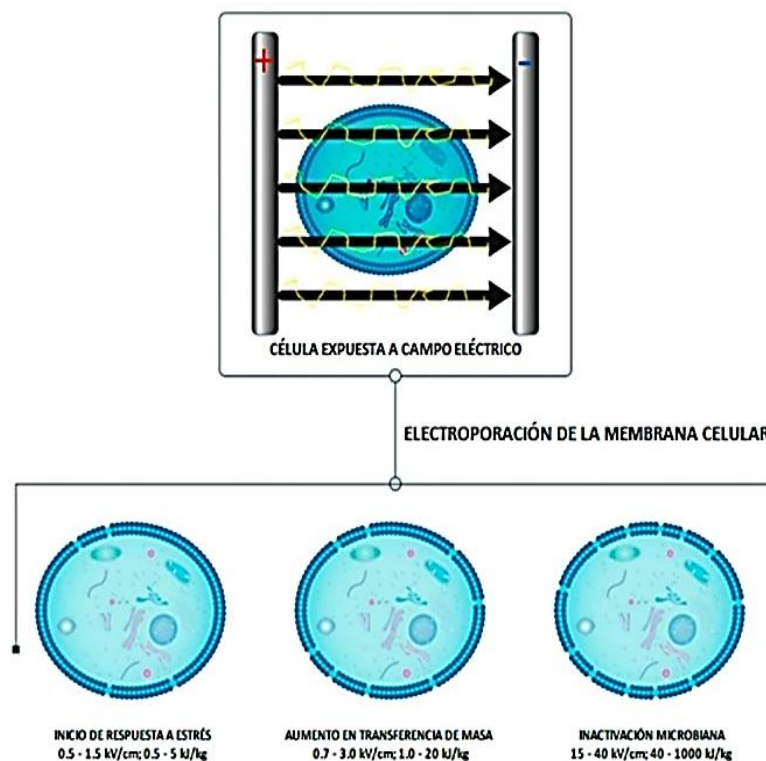


Figura 10. Electroporación de la célula según la intensidad del pulso eléctrico

Fuente: Vivanco et al. (2021a)

El campo eléctrico pulsado se ha aplicado para la inactivación de microorganismos en los alimentos y para el análisis de sus efectos sobre los compuestos nutritivos; dosis de 20-80 kV/cm se emplean para la inactivación de microorganismos, de 2.5-90 kV/cm para la inactivación de enzima y 0.5-1 kV/cm para la extracción de compuestos intracelulares (Lin et al., 2016).

Entre las aplicaciones estudiadas se encuentra la inactivación de *S. cerevisiae* en jugo de manzana. En este estudio se evidenció que el efecto depende de parámetros como: el número de pulsos, la intensidad, el ancho del pulso y el contenido de azúcar. Una aplicación de menos de 20 pulsaciones tiene un efecto nulo sobre la inactivación de *S. cerevisiae*; mientras que al aumentar el número de pulsos de 50 a 400 se observa un mejor efecto de inactivación; y similar efecto de inactivación se observó al aumentar el ancho del pulso de 1 a 2.5 μ s. El contenido de azúcar de igual manera es importante, ya que a niveles de 20 a 50% se observa una resistencia, disminuyendo la efectividad del tratamiento, mientras que a niveles inferiores a 20% no presenta ningún efecto protector y hay más posibilidad de inactivación (**Kan et al., 2021**).

Al tratar fresas y kiwis con PEF se observó una reducción significativa del tiempo de deshidratación, debido a que la eliminación de agua del producto se ve facilitada por la electroporación. Además, existió menor degradación bioquímica y se mantuvieron niveles altos de compuestos nutricionales; sin embargo, este tratamiento es capaz de afectar el color, debido a que el tratamiento PEF provoca la formación de poros en la membrana celular dándose gran fuga de pigmentos hacia la solución del tratamiento y por la degradación de las antocianinas (**Tylewicz et al., 2020**).

Por otro lado, **Yu et al. (2018)**, reportaron que arándanos tratados con PEF mostraron una menor pérdida de polifenoles del 66% después de la deshidratación osmótica, en comparación con las muestras de control que presentaron una pérdida de 79%.

En la Tabla 8 se detallan los parámetros y el efecto de la aplicación de campo eléctrico pulsado en algunas frutas y vegetales, como: naranja, zanahoria, tomate, toronja, fresa, remolacha, entre otros. A manera de síntesis se puede observar un mayor tiempo de vida útil y una reducción del recuento microbiano. La aplicación no provocó cambios en el color, pH y contenido de sólidos solubles de la matriz alimenticia. Además, se identificó que la aplicación de esta tecnología como pretratamiento, mejora la transferencia de masa (eliminación de agua) y aumentando la conductividad eléctrica del tejido, favoreciendo el proceso de secado. Así mismo este tratamiento permite obtener productos con mayor potencial antioxidante y conserva significativamente los compuestos bioactivos, especialmente los carotenoides.

Tabla 8. Efectos y parámetros de la aplicación de campos eléctricos pulsados

Alimentos	Nombre científico	*Parámetros					Efecto	Referencia
		I (kV/cm)	T (°C)	t (μs)	F (Hz)	# Pulsos		
Jugo de naranja		20	35	25	-	-	<p>Posterior a la aplicación las muestras conservaron los compuestos asociados con el sabor fresco de la naranja, resultando similar a un jugo sin tratar.</p> <p><i>Escherichia coli</i> y <i>Saccharomyces</i> presentaron reducciones decimales de 9 y 8 unidades, respectivamente.</p>	(H. Lee et al., 2021)
Jugo de toronja	-	20	40	600	1	-	<p>La combinación de campos eléctricos pulsados con ultrasonido (600 W, 28 kHz, 20°C, 30min) reducen significativamente la carga microbiana.</p> <p>Además, el tratamiento preserva la concentración de compuestos bioactivos (carotenoides, licopeno, antocianinas y la actividad antioxidante).</p>	(Muhammad Aadil et al., 2017)
Jugo de fresa	-	35	-	27	155	-	<p>El tratamiento alargó la vida útil por 28 días en condiciones de refrigeración.</p> <p>Se presentó un aumento del 5% del contenido fenólico total, 17% antocianinas y un aumento considerable en la actividad antioxidante.</p> <p>En el aspecto microbiológico, se observó la inactivación de <i>E. coli</i> (al menos 5 log) y no se observaron diferencias en los valores de acidez y pH.</p>	(Yildiz et al., 2021)

Damasco deshidratado	<i>Prunus armeniaca</i> L	1.25	-	20	100	-	Se observó la desintegración de las membranas celulares y este efecto facilitó el proceso de secado debido a la rápida transferencia de masa y eliminación de agua. No se identificaron efectos sobre la actividad de polifenoloxidasas, pero se observó conservación del β -caroteno, mayor actividad antioxidante y menor pardeamiento durante el procesamiento.	(W. Huang et al., 2019)
Tomate fresco	<i>Lycopersicon esculentum</i> cv. Ra	2	20		0.1	30	El empleo de pulsos eléctricos como pretratamiento permite obtener productos con mayor potencial antioxidante. Se observó un aumento de la concentración de carotenoides totales en un 50% de los productos elaborados. La concentración de licopeno fue 1.5 veces más alta; sin embargo, su bioaccesibilidad fue menor en comparación al fitoeno y el fitoflueno.	(González Casado et al., 2018)
Zanahoria	-	3.5		0-20-48-120	0.1	5	Se observó un aumento de los carotenoides, debido al mejoramiento de la difusión de los solutos dentro de la célula. Las muestras no presentaron cambios de color, pH y sólidos solubles totales.	(López Gámez et al., 2021)
Remolacha	<i>Beta vulgaris</i> L	4.38	-	10	-	20	La aplicación de PET como pretratamiento proporcionó un aumento de la conductividad eléctrica del tejido. Se observó un aumento en la intensidad del color y del contenido de betalaína y vulgaxantina.	(Malgorzata Nowacka et al., 2019)

Nota: I: intensidad; T: temperatura; t: tiempo; F: frecuencia. *Parámetros seleccionados del mejor tratamiento.

3.1.4. Plasma frío

Al plasma frío se lo conoce como el cuarto estado de la materia y es considerado como un gas electrificado, que se genera por la inyección de una gran cantidad de energía, capaz de ionizar el gas y liberar más electrones. Los electrones liberados conducen a la formación de átomos y radicales libres y a la disociación molecular, generando múltiples reacciones químicas que generan un gran impacto en las biomoléculas de los alimentos (Muhammad et al., 2018).

3.1.4.1. Funcionamiento

El plasma frío puede aplicarse por diferentes fuentes como:

- **Descarga de la barrera dieléctrica (DBD):** Es uno de los más utilizados y se caracteriza por trabajar en un amplio rango de voltajes y frecuencias, con una gran cantidad de micro descargas de corta duración. Es una corriente continua de al menos una barrera dieléctrica.
- **Descarga de radiofrecuencia (RF):** Este tipo de fuente no requiere una cámara de vacío, requiere tiempos cortos de tratamiento y es flexible, por lo que se puede aplicar directamente sobre la superficie de los alimentos. Utiliza un generador que proporciona energía para ionizar el gas y su intensidad se puede manipular mediante la potencia del generador, la distancia y el caudal del gas.
- **Descarga de microondas:** Trabaja a una frecuencia a nivel de GHz, dando como resultado temperaturas extremadamente altas, debido a la entrada alta de energía. El gas procesado con plasma debe fluir por un sistema de enfriamiento, para asegurar una reacción no térmica en presencia de los alimentos (Qi Chen et al., 2020).

3.1.4.2. Aplicación y efectos en los alimentos

El plasma frío es una tecnología empleada para la inactivación de microorganismos (especialmente levaduras y endosporas). Provee una esterilización eficiente y es considerada una tecnología ecológica, debido a que no requiere envases con alta tecnología.

El plasma frío altera parcial o totalmente las membranas celulares, lo que conlleva a la liberación de sustancias intracelulares al entorno extracelular, esta liberación mejora la transferencia de masa y la extracción de polifenoles, debido a que existe la penetración completa y más rápida del solvente al interior celular. El grado de degradación del tejido celular por acción del plasma, depende del tipo de estructura tisular y del nivel de frescura (Kobzev et al., 2013; Landbo & Meyer, 2001).

El mecanismo de acción del plasma frío sobre los microorganismos se debe a la interacción de la membrana celular con las especies reactivas y radicales libres. Dicha interacción incide en los fosfolípidos y proteínas de la membrana celular, provocando su destrucción. Además, la formación de poros en la membrana plasmática conduce al desequilibrio osmótico y a la entrada de especies reactivas de oxígeno (ROS) en la célula, dañando varios orgánulos e incluso el núcleo (Hati et al., 2018).

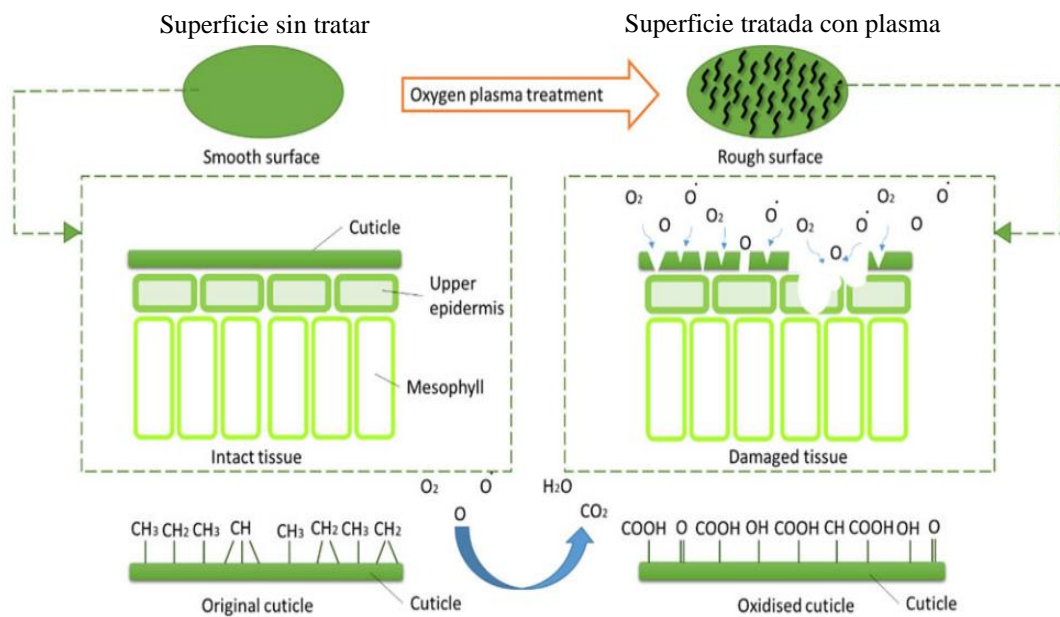


Figura 11. Interacción física y química entre el plasma frío y la superficie del producto

Fuente: Qi Chen et al. (2020)

Además, es una tecnología que influye positivamente en la calidad, mejorando el sabor y el aroma; sin embargo, el tiempo del tratamiento y la concentración del oxígeno, son los factores que más se debaten en la comunidad científica (Hou et al., 2019).

En cuanto a la aplicación, un estudio desarrollado en uvas por **Guo et al. (2017)**, comprobó que la aplicación de agua activada por plasma no afecta su color, ni el contenido de antocianinas totales. Mientras que un estudio realizado en fruta de granada evidenció un mayor contenido de antocianinas posterior a la aplicación de plasma frío. De acuerdo con **Tiwari et al. (2009)**, el aumento de antocianinas se debe al rompimiento de la pared celular, que provocan una mayor extracción de antocianinas. De todos los tratamientos evaluados, el que se aplicó por 3 min, en 5 cm³ de muestra y 0.75 dm³/min de flujo de gas, presentó una mayor estabilidad de las antocianinas; además se observó que el aumento del flujo de gas afecta el color de la fruta (**Kovačević et al., 2016**).

De igual manera **Gunaydin Dasan y Hakki Boyaci (2018)**, aplicaron plasma frío en jugo de manzana, naranja, tomate y néctar de cereza (25 kHz, 650 W, aire seco 3000 L/h) y se observó un aumento del 10 al 15% en el contenido fenólico total, manteniendo los valores de pH y la temperatura por debajo de los 40°C. Además, se evidenció la inactivación de *E. coli*, debido a que disminuyó gradualmente el recuento de colonias, con el aumento del tiempo de exposición al plasma. La curva de inactivación siguió un modelo cinético de inactivación bifásico, ya que en la fase inicial se dio una reducción más lenta, seguida de una segunda fase de inactivación mayor log-lineal. Mientras que, en melón, se observó un mayor contenido de materia seca y un menor contenido de sólidos solubles, causado por la mayor pérdida de agua que ocurre durante el almacenamiento. Además, se observó un color más oscuro y traslúcido, en comparación al control, debida a la variación de concentración de pigmentos (**Tappi et al., 2016**).

De igual manera, **Shah et al. (2019)**, evaluaron el efecto del plasma frío en hojas de col rizada y obtuvieron como resultado la reducción de *E. coli* O157:H7, por debajo de los límites de detección. Además, el tratamiento no afectó el color, ni los grupos funcionales de la cutícula. **T. Lee et al. (2018)**, aplicaron plasma de descargas de corona intermitente (4 amperios por 2 minutos) e identificaron que la superficie del tomate alcanzó una temperatura máxima de 33.7°C, y no presentó cambios de color firmeza, contenido fenólico total, licopeno y ácido ascórbico, y evidenció una reducción del recuento microbiano.

Tabla 9. Efectos y parámetros de la aplicación de plasma frío

Alimentos	Nombre científico	*Parámetros				Efecto	Referencia
		P (GHz)	t (min)	Fuente de Gas	Dispositivo		
Manzana recién cortada	Pink Lady Fuji Modi Red delicious	60% HR	30-60	Aire	DBD	<p>La exposición de rodajas de manzana recién cortadas al plasma frío, provocó una disminución de la tasa de pardeamiento, debido a cambios en la estructura secundaria de las proteínas y la modificación de algunas cadenas laterales de aminoácidos de las enzimas.</p> <p>De las tres muestras, las manzanas Red Delicious, presentaron afecciones sobre la textura y pérdida de crujencia.</p>	(Tappi et al., 2019)
Mandarina	<i>Citrus unshiu</i> Marc	2.45 900W 0.7 kPa	10	Nitrógeno	Plasma frío por microondas	<p>La aplicación de plasma frío inhibió el crecimiento de <i>Penicillium italicum</i> de manera óptima.</p> <p>Se observó un aumento del contenido fenólico total y de la actividad antioxidante; además no se observó alteración de las propiedades biológicas del alimento, ni se afectó la generación de CO₂ por lo que se considera que no existió estrés fisiológico.</p> <p>La potencia del plasma frío genera cambios en la superficie de las frutas, alterando la difusión de los gases y del vapor de agua en la capa epidérmica, conllevando una reducción del peso de la fruta. Sin embargo, en esta fruta no se observaron cambios, debido a que la mandarina presenta una superficie gruesa y rugosa, recubierta con una capa de cera epicuticular que tolera el efecto del plasma.</p>	(Yeon Won et al., 2017)

Jugo de manzana	<i>Golden delicious</i>	10.5 kV	5	-	Descarga por chispa	<p>Se observó la inactivación casi total de la polifenoloxidasa, la cual se mantuvo durante el almacenamiento, siguiendo un modelo cinético de dos fracciones (mayor tiempo de exposición, mayor porcentaje de inactivación).</p> <p>Se observó un incremento del contenido fenólico total en un 69% y de la capacidad antioxidante, después de los 5 minutos de tratamiento.</p> <p>El color se volvió más claro, en comparación a las muestras sin tratar, y se observó una disminución significativa del pH.</p>	(Illera et al., 2019)
Papas y manzana cortadas	-	2.45	10	Aire atmosférico (el plasma generado luego se oxidó para que contenga al menos 0.5% de NO ₂)	Plasma de microondas combinado con liofilización o secado con aire caliente	<p>Se observó una disminución de la actividad de polifenoloxidasa y peroxidasa (entre un 62 y 77% en papas y manzana, respectivamente).</p> <p>En cuanto al color el plasma frío es capaz de controlar el ennegrecimiento en el tejido de papas. Además, en la superficie de las muestras el valor del pH descendió 1.5 veces y no afectó significativamente la integridad celular y el contenido de materia seca.</p>	(Bußler et al., 2017)
Tomate	<i>Lycopersicon Esculentum cv. Apis F1</i>	50 Hz 40W	5	Nitrógeno	Plasma frío a presión atmosférica	<p>Se observó una inactivación de mohos y levaduras, y una reducción de 3.54 log UFC/ml de aerobios mesófilos. Además, se conservó su color rojo intenso, su olor a fresco y no presentó fenómenos de deterioro.</p> <p>La aplicación de plasma frío para extender la vida útil es un proceso eficaz; sin embargo, para la esterilización de los jugos se debe considerar el tipo de generador, tipo de gas, volumen de muestra, agitación y tiempo de tratamiento.</p>	(Starek et al., 2019)

Nota: P: potencia; t: tiempo. *Parámetros seleccionados del mejor tratamiento.

3.1.5. Ultrasonido

El ultrasonido es una forma de energía en forma de ondas de sonido, que se emite en un rango de frecuencia de 20-100 kHz. La baja intensidad no produce ninguna modificación en el estado del medio, a diferencia de las altas intensidades que producen cambios permanentes (**Robles Ozuna & Ochoa Martínez, 2012**).

3.1.5.1.Fundamento

La generación de ondas ultrasónicas se basa en la deformación elástica de materiales ferro eléctricos en un campo eléctrico de alta frecuencia, y es causada por la atracción mutua de moléculas polarizadas en el campo eléctrico. Para la polarización de moléculas, la frecuencia alterna debe transmitirse al material ferro eléctrico a través de dos electrodos, y luego convertirse en oscilación mecánica, finalmente el sonido se puede transmitir al amplificador y de éste al medio. El ultrasonido es generado por la corriente convertida por el transductor, los sistemas más comúnmente utilizados son el de accionamiento por líquido, el magneto rígido y el transductor piezoeléctrico, los cuales generan una eficiencia del 95% aproximadamente (**Mason, 1998**).

3.1.5.2.Aplicación y efectos en los alimentos

El ultrasonido es un tipo de tecnología que puede ser aplicado en diferentes operaciones básicas como: filtración, extracción, congelación, descongelación, deshidratación, pasterización y rehidratación de frutas y vegetales.

La extracción asistida por ultrasonido se basa en el fenómeno de cavitación, que consiste en la propagación de una onda de presión sonora, con una alternancia de compresión y escasez en el medio de transmisión, que se produce a lo largo de la dirección de propagación. Cuando se aplica una gran presión negativa al líquido, la fuerza intermolecular de Van der Waals no es suficiente para mantener la cohesión y se forman pequeñas micro burbujas llenas de gas, las cuales no son esféricas y se deformarán radial y tangencialmente antes de colapsar. El colapso ocurre adiabáticamente y el volumen es tan pequeño que la energía del colapso se transfiere a un número relativamente pequeño de moléculas (**Ramón & Gil Garzón, 2021**).

Debido a que la cavitación provoca la ruptura de las paredes celulares, facilita la penetración del solvente en la matriz sólida y por ende mejora la transferencia de masa. Generalmente se emplea para la extracción de compuestos bioactivos por la versatilidad, fácil operación y empleo de menos solventes. Sin embargo, la eficacia dependerá de la potencia ultrasónica, amplitud, intensidad, frecuencia, temperatura, disolvente y la naturaleza de la matriz.

De acuerdo con **De Leon Serna (2021)**, la extracción de polifenoles totales asistida por ultrasonido de uva syrah (a una frecuencia de 55 kHz, potencia de 435 W en ciclos de 0.5 s), evidencia un aumento de 3.1 veces el rendimiento de extracción en comparación al método convencional; además se observó que la temperatura influye positivamente sobre el rendimiento de la extracción, ya que es capaz de causar variación en las propiedades del solvente y facilitar la difusión (**Vernés et al., 2020**). Un efecto similar se observó en el proceso de extracción de antocianinas de ñame púrpura, que se realizó mediante ultrasonido a 750 W a 30°C por 10 minutos, el que permitió obtener un mayor contenido de antocianinas en comparación al método convencional (**Ochoa et al., 2020**).

En el proceso de congelación, la cavitación ultrasónica acelera el enfriamiento, evitando la formación de cristales grandes de hielo que provoquen daños a las células, estas cavitaciones actúan como núcleo para el crecimiento de cristales más finos. Los alimentos congelados a la vez absorben la energía ultrasónica y esto optimiza la velocidad de descongelación, la cual evita una alta deshidratación del producto, mantiene el color de alimentos e inhibe la oxidación de lípidos (**Li et al., 2020**).

Según **Kowalski et al. (2017)**, la aplicación de ultrasonido acelera la velocidad del secado y por ende la reduce el tiempo de procesamiento, debido a que la cavitación del agua provoca la formación de nuevos micro canales intra y extracelulares y genera turbulencia en la interface medio-producto. **Carcel et al. (2018)**, demostraron que la aplicación de ultrasonido (21.7 kHz), mejoró significativamente la cinética de secado en pimiento rojo fresco y redujo en un 20-30% aproximadamente el tiempo de secado, especialmente si el proceso de secado se realiza a una velocidad de aire baja y temperatura reducida (50°C ya que disminuye la pérdida y degradación de propiedades antioxidantes, en comparación al tratamiento realizado a 70°C).

De igual manera **Malgorzata Nowacka et al. (2021)**, mencionan que el tratamiento con ultrasonido destruye la estructura celular y forma micro canales. En las microfotografías de la Figura 13 se observa que las células de la manzana presentan distorsiones y coalescencia en su estructura; mientras que la papa presentó rotura del tejido, exponiendo los gránulos de almidón. En general, el ultrasonido aumenta la velocidad de secado, reduce la actividad de agua, mejora el color del producto y disminuye la pérdida de flavonoides, fenoles y vitamina C (**D. Huang et al., 2020**).

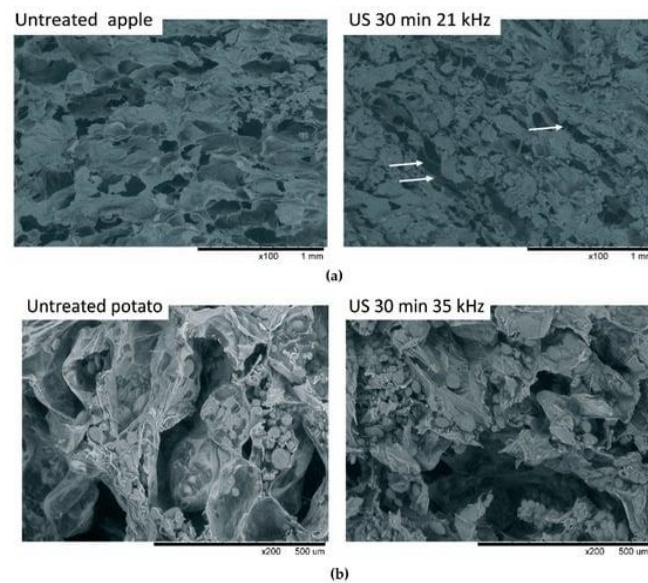


Figura 13. Efecto en la estructura de a) manzana y b) papa por la aplicación de ultrasonido

Fuente: Malgorzata Nowacka et al. (2021)

Esta tecnología se aplica también en frutas con altos contenidos de polifenoles y antocianinas. Por ejemplo, la aplicación en puré de mora (20 kHz por 10 minutos y 40% de amplitud), redujo la carga microbiana y retuvo el 90% de antocianinas monoméricas, obteniendo finalmente un producto que aporta casi el 100% de la recomendación de consumo diario (**Pérez Grijalva et al., 2018**).

Kiwis tratados a 20 kHz en un intervalo de tiempo de 0 a 30 min, evidenciaron una reducción del tiempo de secado en un 25%. Además, se conservó la composición de los compuestos fenólicos, y no existió influencia negativa sobre el ácido ascórbico. Y se redujo el tiempo de rehidratación debido al aumento de las tasas de difusión de agua y a los espacios más grandes creados por el ultrasonido (**J. Wang et al., 2019**). Resultados similares de rehidratación se observaron en fresa (**Amami et al., 2017**), hongo shiitake (**Y. Y. Zhao et al., 2019**) y manzana (**Rojas et al., 2020**).

De igual manera, **Kumar et al. (2020)**, aplicaron ultrasonido como pretratamiento antes del secado de calabaza (40 kHz, potencia 70 W) y observaron que la cavitación genera presión localizada, que ayuda a la eliminación de agua fuertemente ligada; además se identificó un aumento en la rehidratación, debido a las cavidades formadas.

Tao et al. (2019), observaron que coles tratadas con ultrasonido (1131.1 W/m^2) y observaron una reducción en el tiempo de secado en un 83.4% y presentaron una tasa de rehidratación ligeramente mayor (Figura 14).

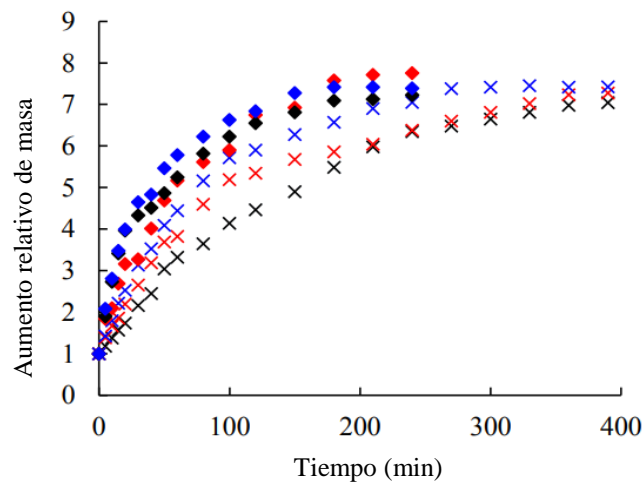


Figura 14. Curvas cinéticas de rehidratación de hojas de col secadas por diferentes métodos

x: coles secadas solo con aire caliente; x: coles secadas por aire caliente con ultrasonido a 492.3 W/m^2 ; x: coles secadas por aire caliente con ultrasonido a 1131.1 W/m^2 ; ◆: coles secadas por escaldado + aire caliente; ◆: coles secadas por escaldado + aire caliente con ultrasonido a 492.3 W/m^2 ; ◆: coles secadas por escaldado + aire caliente con ultrasonido a 1131.1 W/m^2 .

Fuente: Tao et al. (2019)

La aplicación de ultrasonido en rodajas de zanahoria (41 W/L ; 25 kHz), mejoró los tiempos de secado y rehidratación, a pesar del aumento del contenido de humedad que provocó. Es decir, se presentó un efecto esponja por la compresión y expansión alternativas de la matriz (**Ricce et al., 2016**).

De manera sintetizada se identificó un aumento de compuestos bioactivos, mientras que los parámetros fisicoquímicos no presentaron cambios significativos. Este tipo de tecnología no tiene gran efectividad en temas de inactivación de patógenos, a pesar de que es capaz de inactivar levaduras y mohos; sin embargo, para mayor efectividad se requiere un mayor tiempo de aplicación o la combinación con otras tecnologías. Como pretratamiento, reduce el tiempo de secado y presenta mayor retención de vitaminas (Tabla 10).

Tabla 10. Efectos y parámetros de la aplicación de ultrasonido

Frutas	Nombre científico	Parámetros				Efecto	Referencia
		f (kHz)	P (W)	T (°C)	t (min)		
Fresa	<i>Fragaria xanannassa</i> Duch	25	-	20	30	Las muestras tratadas no presentaron cambios significativos de °Brix, actividad de agua, acidez y color, y se observó un aumento de los compuestos bioactivos. Sin embargo, no se observó una reducción microbiana significativa, en comparación a la muestra control.	(Bhat & Ming Goh, 2017)
Jugo de pera	<i>Pyrus bretschneideri</i> R.	25	-	25	45-60	Se observó estabilidad de las características fisicoquímicas de la pera y un incrementó de compuestos bioactivos (ácido ascórbico, fenoles totales, Fe y Mg). Además, se evidenció que a mayor tiempo de aplicación, existe una mayor disminución de la población microbiana.	(Saeeduddin et al., 2016)
Jugo de naranja	<i>Citrus sinensis</i> cultivar Navelina	24	-	45	30	Se observó un aumento de compuestos bioactivos (carotenoides, antocianinas, ácido ascórbico y fenoles totales) y una reducción significativa de la carga microbiana.	(Guerrouj et al., 2016)
Jugo de manzana y arándano	-	20	-	60	3, 6 y 9	Existió una inactivación completa de levaduras y mohos. Sin embargo, se comprobó que el ultrasonido no es eficaz sobre el número de <i>A. acidoterrestis</i> DSM 3922, ya que no hubo una reducción significativa.	(Režek Jambrak et al., 2018)

Jugo de toronja	-	28	600	20	30	El ultrasonido combinado con el campo eléctrico pulsado, presentó una reducción significativa de la carga microbiana. Además, se evidenció una conservación de los compuestos bioactivos.	(Aadil et al., 2018)
Jugo de naranja, lima dulce. Zanahoria y espinacas	-	20	100	30	15	Se evidenció la inactivación microbiana de 5 reducciones logarítmicas, donde cada microorganismo tuvo diferente grado de afectación, debido a las diferentes estructuras de la pared celular.	(Khandpur & Gogate, 2016)
Pimiento verde	<i>Capsicum annuum</i> L	-	100	54	30-300	Se redujo el tiempo de secado y los niveles de decoloración del pimiento. Además se observó una mayor retención de vitamina C (aproximadamente 70% superior a la muestra control).	(Szadzińska et al., 2017)
Cáscara de tomate	-	30	400	20.8-59.7	5-10-15	Las muestras se sometieron a ultrasonidos y posteriormente a un tratamiento de extracción de pectina por altas presiones. Esta combinación evidenció un rendimiento de extracción menor, debido a la migración de compuestos; sin embargo, por el tiempo y tipo de disolvente utilizado, el contenido de polifenoles totales obtenidos al final del estudio fue elevado. La polaridad del disolvente puede influir considerablemente en la extracción de compuestos fenólicos. El empleo de etanol 70% proporciona mejores rendimientos en comparación al etanol 96%.	(Ninčević Grassino et al., 2020)

Nota: f: frecuencia; P: potencia; T: temperatura; t: tiempo *Parámetros seleccionados del mejor tratamiento.

3.2. Usos de la información recopilada

De acuerdo con la información recopilada, las tecnologías no térmicas pueden emplearse dentro de la industria alimenticia para alargar la vida útil y facilitar la extracción de componentes bioactivos; además ofrecen una alternativa para lograr los niveles de inactivación microbiológica requeridos.

La información recopilada en el presente documento es de gran valor para las industrias, debido a que, si se consideran los parámetros identificados como los óptimos de proceso y se los aplica en la elaboración de matrices alimenticias similares, se cuenta en realidad con la información necesaria para que pueda ser utilizada en la innovación de las cadenas productivas.

La implementación conlleva grandes beneficios, ya que actualmente, existe una gran demanda por parte de los consumidores por alimentos más naturales, orgánicos, sin aditivos y que conserven sus propiedades.

La mayoría de las tecnologías analizadas, son utilizadas a nivel mundial en la elaboración de productos con alto valor agregado, debido a que mantienen las características nutricionales y organolépticas que el alimento presenta en estado fresco.

Además, la aplicación de esta tecnología es amigable con el medio ambiente, ya que reduce la huella de carbono, el tiempo de tratamiento y el consumo de energía y agua en la industria alimentaria.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

4.1. Conclusiones

- Los tratamientos no térmicos son tecnología que funcionan por alta presión, ondas electromagnéticas, energía sonora y lumínica, y se han convertido en una nueva alternativa de procesamiento, que permite a las industrias innovar sus procesos productivos y generar alimentos más seguros, con mayor aceptabilidad en el mercado y que conserven de mejor manera sus propiedades nutricionales y organolépticas. Además, todas ellas se consideran tecnologías sostenibles con el medio ambiente, ya que reduce la huella de carbono y el consumo de energía y agua.
- Los tratamientos no térmicos pueden emplearse para extender la vida útil, mejorar la extracción de compuestos bioactivos (antocianinas, compuestos fenólicos totales, carotenoides), acelerar el proceso de secado, congelación, deshidratación y rehidratación de diferentes frutas y vegetales. Sin embargo, la aplicación depende de la dosis, las características de la matriz alimenticia, tiempo de exposición, temperatura, presión, frecuencia y potencia; estos parámetros pueden afectar considerablemente la composición nutricional y organoléptica de los alimentos.
- El mecanismo de acción de las tecnologías no térmicas se enfoca, en su mayoría, en la afectación de la membrana o pared celular de los alimentos, lo que provoca su ruptura y permite un mayor ingreso de los solventes utilizados durante los procesos de extracción de compuestos bioactivos. Además, este cambio estructural es el que precisamente permite reducir la carga microbiana, debido a que afectan el ADN, la membrana celular de los microorganismos e incluso daña los orgánulos de la célula, evitando que puedan restaurarse.

- El tratamiento vía ultrasonido presenta una limitada acción sobre los microorganismos patógenos que se encuentran en los alimentos, por lo que requieren de la combinación con métodos tradicionales o con otros métodos no térmicos para una mayor eficacia.
- De todas las tecnologías analizadas, la más polémica es la radiación UV-A, debido a que existe evidencia de que puede provocar daños en el ADN y por fotooxidación puede afectar otras dianas biológicas como proteínas, lípidos y esteroides, por lo que se sugiere evaluar los parámetros de procesamiento en cada producto en específico, para definir las condiciones óptimas de aplicación y los posibles cambios en la calidad del producto. Sin embargo, esta tecnología inactiva con éxito una amplia gama de bacterias patógenas transmitidas por alimentos como: *Listeria*, *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Bacillus* y *Clostridium*.
- El análisis de la dosis final absorbida por un alimento después de un tratamiento con radiación, es necesario a nivel industrial y los valores se encuentran regulados para el comercio internacional. Actualmente en Ecuador solo se cuenta con la normativa para alimentos irradiados, debido a que es un tema muy estudiado debido a la preocupación y desconfianza de los consumidores. Sin embargo, la inexistencia de normativa que sustente la aplicación de otras tecnologías no térmicas (como altas presiones hidrostáticas, ultrasonidos, microondas, plasma frío y campo eléctrico pulsado), la falta de información y los altos costos de implementación, dificultan el hecho de que las industrias alimenticias inviertan en este tipo de tecnologías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdipour, M., Sadat Malekhossini, P., Hosseinfarahi, M., & Radi, M. (2020). Integration of UV irradiation and chitosan coating: A powerful treatment for maintaining the postharvest quality of sweet cherry fruit. *Scientia Horticulturae*, 264, 109197.
- Akdemir Evrendilek, G., & Ozdemir, P. (2019). Effect of various forms of non-thermal treatment of the quality and safety in carrots. *LWT*, 105, 344-354.
- Amami, E., Khezami, W., Mezrigui, S., Badwaik, L. S., Bejar, A. K., Tellez Perez, C., & Kechaou, N. (2017). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 36, 286-300.
- Andrade Cuvi, M. J., Moreno, C., Zaro, M. J., Vicente, A. R., & Concellón, A. (2017). Improvement of the antioxidant properties and postharvest life of three exotic Andean fruits by UV-C treatment. *Journal of Food Quality*, 2017.
- Ashtari, M., Khademi, O., Soufbaf, M., Afsharmanesh, H., & Askari Sarcheshmeh, M. A. (2019). Effect of gamma irradiation on antioxidants, microbiological properties and shelf life of pomegranate arils cv. 'Malas Saveh'. *Scientia Horticulturae*, 244, 365-371.
- Balasubramaniam, V. M., Martínez Monteagudo, S. I., & Rockendra, G. (2015). Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6, 435-462.
- Baltacıoğlu, H., Baltacıoğlu, C., Okur, I., Tanrıvermiş, A., & Yalıç, M. (2021). Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tomato: Characterization by FTIR and HPLC and comparison with conventional solvent extraction. *Vibrational Spectroscopy*, 113, 103204.
- Bandyopadhyay, N. C., More, V., Tripathi, J., & Gautam, S. (2020). Gamma radiation treatment to ensure microbial safety of ready to bake (RTB) vegetable toppings/fillers and retain their nutritional qualities during cold storage. *Radiation Physics and Chemistry*, 176, 108939.
- Barbosa Cánovas, G. V., & Sepúlveda, D. (2005). Present status and the future of PEF technology. *Novel food processing technologies*, 1-44.

- Ben Fadhel, Y., Cingolani, M. C., Li, L., Chazot, G., Salmieri, S., Horak, C., & Lacroix, M. (2021). Effect of γ -irradiation and the use of combined treatments with edible bioactive coating on carrot preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 100635.
- Bhat, R., & Ming Goh, K. (2017). Sonication treatment convalesce the overall quality of hand-pressed strawberry juice. *Food Chemistry*, 215, 470-476.
- Brown da Rocha, C., & Zapata Noreña, C. P. (2020). Microwave-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from grape pomace. *International Journal of Food Engineering*, 16(1-2).
- Buratti, S., Cappa, C., Benedetti, S., & Giovanelli, G. (2020). Influence of cooking conditions on nutritional properties and sensory characteristics interpreted by e-senses: Case-study on selected vegetables. *Foods*, 9(5), 607.
- Buñler, S., Ehlbeck, J., & Schlüter, O. K. (2017). Pre-drying treatment of plant related tissues using plasma processed air: Impact on enzyme activity and quality attributes of cut apple and potato. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 40, 78-86.
- Carcel, J. A., Castillo, D., Simal, S., & Mulet, A. (2018). Influence of temperature and ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of red pepper. *Drying Technology*, 37(4), 486-493.
- Cascaes Teles, A. S., Hidalgo Chávez, D. W., Zarur Coelho, M. A., Rosenthal, A., Fortes Gottschalk, L. M., & Valeriano Tonon, R. (2021). Combination of enzyme-assisted extraction and high hydrostatic pressure for phenolic compounds recovery from grape pomace. *Journal of Food Engineering*, 288, 110128.
- Castro, S. M., Saraiva, J. A., Lopes da Silva, J. A., Delgadillo, I., Van Loey, A., Smout, C., & Hendrickx, M. (2008). Effect of thermal blanching and of high pressure treatments on sweet green and red bell pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*, 107(4), 1436-1449.
- Cerón Carrillo, T., Palou, E., & López Malo, A. (2010). Pulsos eléctricos: fundamentos y aplicaciones en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería Química*, 4(1), 9-26.

- Chávez Reyes, Y., Morales Cruz, A., La Cruz Guzmán, O. J., Carrillo Landeros, J. E., Velez Rodríguez, M. P., & Gómez Sánchez, J. A. (2019). Efecto de secado con microondas sobre los compuestos fenólicos de la cáscara de piña en la elaboración de un jugo de mango manila. *Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la seguridad alimentaria*, 439.
- Chen, Y., Feng, X., Ren, H., Yang, H., Liu, Y., Gao, Z., & Long, F. (2020). Changes in physicochemical properties and volatiles of kiwifruit pulp beverage treated with high hydrostatic pressure. *Foods*, 9(4), 485.
- Chen, Y., Zhang, X., Luo, Z., Sun, J., Li, L., Yin, X., . . . Xu, Y. (2021). Effects of inside-out heat-shock via microwave on the fruit softening and quality of persimmon during postharvest storage. *Food Chemistry*, 349, 129161.
- Claude Cheftel, J. (1995). Review: High-pressure, microbial inactivation and food preservation. *Food Science and Technology International*, 1(2-3), 75-90.
- De Ancos, B., Rodrigo, M. J., Sánchez Moreno, C., Pilar Cano, M., & Zacarías, L. (2020). Effect of high-pressure processing applied as pretreatment on carotenoids, flavonoids and vitamin C in juice of the sweet oranges' Navel' and the red-fleshed'Cara Cara'. *Food Research International*, 132, 109105.
- De Leon Serna, F. E. (2021). *Estudio de transporte de masa en la extracción asistida con ultrasonido de alta intensidad de compuestos fenólicos en uva syrah (vitis vinífera)*. (Maestría), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
- Delfiya, A., Mohapatra, D., Kotwaliwale, N., & Mishra, A. K. (2017). Effect of microwave blanching and brine solution pretreatment on the quality of carrots dried in solar-biomass hybrid dryer. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13510.
- Delorme, M. M., Guimarães, J. T., Coutinho, N. M., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Silva, R., . . . Freitas, M. Q. (2020). Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 146-154.
- Denoya, G. I., Vaudagna, S. R., Chamorro, V. C., Godoy, M. F., Budde, C. O., & Polenta, G. A. (2017). Suitability of different varieties of peaches for

producing minimally processed peaches preserved by high hydrostatic pressure and selection of process parameters. *LWT*, 78, 367-372.

Duarte Sierra, A., Munzoor Hasan, S. M., Angers, P., & Arul, J. (2020). UV-B radiation hormesis in broccoli florets: Glucosinolates and hydroxy-cinnamates are enhanced by UV-B in florets during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 168, 111278.

Fan, X., & Wang, W. (2020). Quality of fresh and fresh-cut produce impacted by nonthermal physical technologies intended to enhance microbial safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-21. doi:10.1080/10408398.2020.1816892

Farias, C. A. A., Moraes, D. P., Lazzaretti, M., Ferreira, D. F., Zobot, G. L., Barin, J. S., . . . Barcia, M. T. (2021). Microwave hydrodiffusion and gravity as pretreatment for grape dehydration with simultaneous obtaining of high phenolic grape extract. *Food Chemistry*, 337, 127723.

Figueroa Sepúlveda, K., Castillo Robles, N. Z., & Martínez Girón, J. (2021). Aplicación de altas presiones y otras tecnologías en frutas como alternativa de tratamientos térmicos convencionales. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 19, 271-285. doi:https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1363

Flores, M., González, E., & Escalona, V. (2020). Radiación UV-C: una tecnología sanitizante alternativa. *CEPOC*, 2-7.

Frisón, L. N., Rivas, M. Z., Chiericatti, C. A., & Piagentini, A. M. (2021). Efecto de la radiación UV-C sobre la calidad y la flora fúngica contaminante natural de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L., variedad O'Neal). *Innotec*(22 jul-dic), e575-e575.

Gao, G., Ren, P., Cao, X., Yan, B., Liao, X., Sun, Z., & Wang, Y. (2016). Comparing quality changes of cupped strawberry treated by high hydrostatic pressure and thermal processing during storage. *Food and Bioprocess Processing*, 100, 221-229.

González Casado, S., Martín Belloso, O., Elez Martínez, P., & Soliva Fortuny, R. (2018). Application of pulsed electric fields to tomato fruit for enhancing the

- bioaccessibility of carotenoids in derived products. *Food & Function*, 9(4), 2282-2289.
- Guerrouj, K., Sánchez Rubio, M., Taboada Rodríguez, A., Cava Roda, R. M., & Marín Iniesta, F. (2016). Sonication at mild temperatures enhances bioactive compounds and microbiological quality of orange juice. *Food and Bioproducts Processing*, 99, 20-28.
- Gunaydin Dasan, B., & Hakki Boyaci, I. (2018). Effect of cold atmospheric plasma on inactivation of *Escherichia coli* and physicochemical properties of apple, orange, tomato juices, and sour cherry nectar. *Food and Bioprocess Technology*, 11(2), 334-343.
- Guo, J., Huang, K., Wang, X., Lyu, C., Yang, N., Li, Y., & Wang, J. (2017). Inactivation of yeast on grapes by plasma-activated water and its effects on quality attributes. *Journal of food protection*, 80(2), 225-230.
- Hati, S., Patel, M., & Yadav, D. (2018). Food bioprocessing by non-thermal plasma technology. *Current opinion in food science*, 19, 85-91.
- Hinds, L. M., O'Donnell, C. P., Akhter, M., & Tiwari, B. K. (2019). Principles and mechanisms of ultraviolet light emitting diode technology for food industry applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 56, 102153.
- Hite, B. H., & Giddings, N. J. (1914). *The effect of pressure on certain micro-organisms encountered in the preservation of fruits and vegetables* (Vol. 146): The Station.
- Ho, S., & Mittal, G. S. (2000). High voltage pulsed electrical field for liquid food pasteurization. *Food Reviews International*, 16(4), 395-434.
- Hou, Y., Wang, R., Gan, Z., Shao, T., Zhang, X., He, M., & Sun, A. (2019). Effect of cold plasma on blueberry juice quality. *Food Chemistry*, 290, 79-86.
- Huang, D., Men, K., Li, D., Wen, T., Gong, Z., Sunden, B., & Wu, Z. (2020). Application of ultrasound technology in the drying of food products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104950.
- Huang, W., Feng, Z., Aila, R., Hou, Y., Carne, A., & Ahmed Bekhit, A. E. D. (2019). Effect of pulsed electric fields (PEF) on physico-chemical properties, β -

- carotene and antioxidant activity of air-dried apricots. *Food Chemistry*, 291, 253-262.
- Ic, E., & Cetinkaya, N. (2021). Food safety and irradiation related sanitary and phytosanitary approaches-Chinese perspective. *Radiation Physics and Chemistry*, 109324.
- Illera, A. E., Chaple, S., Sanz, M. T., Ng, S., Lu, P., Jones, J., . . . Bourke, P. (2019). Effect of cold plasma on polyphenol oxidase inactivation in cloudy apple juice and on the quality parameters of the juice during storage. *Food chemistry: X*, 3, 100049.
- Indiarto, R., & Hasan Qonit, M. A. (2020). A review of irradiation technologies on food and agricultural products. *International Journal of Scientific & Techonology Research*, 9(1), 4411-4414.
- Jeon, M. J., & Ha, J. W. (2020). Inactivating foodborne pathogens in apple juice by combined treatment with fumaric acid and ultraviolet-A light, and mechanisms of their synergistic bactericidal action. *Food microbiology*, 87, 103387.
- Kan, J., Hui, Y., Lin, X., Liu, Y., & Jin, C. (2021). Postharvest ultraviolet-C treatment of peach fruit: Changes in transcriptome profile focusing on genes involved in softening and senescence. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15813.
- Kasim, M. U., & Kasim, R. (2017). Yellowing of fresh-cut spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves delayed by UV-B applications. *Information processing in agriculture*, 4(3), 214-219.
- Kemala Sari, L., Seta, S., & Naradisorn, M. (2016). Effect of UV-C irradiation on postharvest quality of 'Phulae'pineapple. *Scientia Horticulturae*, 213, 314-320.
- Kenan, T. (2021). Quality Attributes of Black Mulberry (*Morus Nigra* L.) Juice Treated with Ultraviolet Radiation.
- Kernou, O. N., Belbahi, A., Amir, A., Bedjaoui, K., Kerdouche, K., Dairi, S., . . . Madani, K. (2021). Effect of sonication on microwave inactivation of

- Escherichia coli in an orange juice beverage. *Journal of Food Process Engineering*, 44(5), e13664.
- Khan, S., Sayed, M., Sohail, M., Shah, L. A., & Raja, M. A. (2019). Advanced oxidation and reduction processes. *Advances in Water Purification Techniques*, 135-164.
- Khandpur, P., & Gogate, P. R. (2016). Evaluation of ultrasound based sterilization approaches in terms of shelf life and quality parameters of fruit and vegetable juices. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29, 337-353.
- Khouryieh, H. A. (2021). Novel and emerging technologies used by the U.S. food processing industry. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 67.
- Kim, Y. N., Kwon, H. J., & Lee, D. U. (2019). Effects of pulsed electric field (PEF) treatment on physicochemical properties of Panax ginseng. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 58, 102232.
- Kobzev, E., Kireev, G., Rakitskii, Y. A., Martovetskaya, I., Chugunov, V., Kholodenko, V., . . . Grushin, M. (2013). Effect of cold plasma on the E. coli cell wall and plasma membrane. *Applied biochemistry microbiology*, 49(2), 144-149.
- Koutchma, T. (2019). *Ultraviolet light in food technology: principles and applications* (Vol. 2): CRC press.
- Kovačević, D. B., Putnik, P., Dragović Uzelac, V., Pedisić, S., Jambrak, A. R., & Herceg, Z. (2016). Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. *Food Chemistry*, 190, 317-323.
- Kowalski, S., Mierzwa, D., & Stasiak, M. (2017). Ultrasound-assisted convective drying of apples at different process conditions. *Drying Technology*, 35(8), 939-947.
- Kumar Dash, K., Shangpliang, H., Bhagya Raj, G. V., Chakraborty, S., & Sahu, J. K. (2021). Influence of microwave vacuum drying process parameters on phytochemical properties of sohiong (*Prunus nepalensis*) fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3), e15290.

- Kumar, Y., Sharanagat, V. S., Singh, L., & Nema, P. K. (2020). Convective drying of spine gourd (*Momordica dioica*): Effect of ultrasound pre-treatment on drying characteristics, color, and texture attributes. *Journal of Food Processing Preservation, 44*(9), e14639.
- Kyung, M. P., Sang, H. P., & Toshinori, S. (2019). Innovative Strategies and Emerging Technologies for Food Safety. *Journal of Chemistry, 2019, 2*. doi:<https://doi.org/10.1155/2019/4276426>
- Landbo, A. K., & Meyer, A. S. (2001). Enzyme-assisted extraction of antioxidative phenols from black currant juice press residues (*Ribes nigrum*). *Journal of Agricultural Food Chemistry, 49*(7), 3169-3177.
- Landl, A., Abadias, M., Sárraga, C., Viñas, I., & Picouet, P. (2010). Effect of high pressure processing on the quality of acidified Granny Smith apple purée product. *J Innovative Food Science Emerging Technologies, 11*(4), 557-564.
- Lee, H., Choi, S., Kim, E., Kim, Y.-N., Lee, J., & Lee, D.-U. (2021). Effects of Pulsed Electric Field and Thermal Treatments on Microbial Reduction, Volatile Composition, and Sensory Properties of Orange Juice, and Their Characterization by a Principal Component Analysis. *Applied Sciences, 11*(1), 186.
- Lee, T., Puligundla, P., & Mok, C. (2018). Intermittent corona discharge plasma jet for improving tomato quality. *Journal of Food Engineering, 223*, 168-174.
- Li, D., Zhao, H., Muhammad, A. I., Song, L., Guo, M., & Liu, D. (2020). The comparison of ultrasound-assisted thawing, air thawing and water immersion thawing on the quality of slow/fast freezing bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets. *Food Chemistry, 320*, 126614.
- Lin, S., Liang, R., Li, X., Xing, J., & Yuan, Y. (2016). Effect of pulsed electric field (PEF) on structures and antioxidant activity of soybean source peptides-SHCMN. *Food Chemistry, 213*, 588-594.
- Lirola, A. (2020). Son saludables los alimentos irradiados? Recuperado de <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/alimentos-irradiados/>

- López Gámez, G., Elez Martínez, P., Martín Belloso, O., & Soliva Fortuny, R. (2021). Changes of carotenoid content in carrots after application of pulsed electric field treatments. *LWT*, *147*, 111408.
- Lu, J. Y., Stevens, C., Khan, V. A., Kabwe, M., & Wilson, C. L. (1991). The effect of ultraviolet irradiation on shelf-life and ripening of peaches and apples. *Journal of Food Quality*, *14*(4), 299-305.
- Maraei, R. W., & Elsayy, K. M. (2017). Chemical quality and nutrient composition of strawberry fruits treated by γ -irradiation. *Journal of Radiation Research Applied Sciences*, *10*(1), 80-87.
- Martins, C. P., Cavalcanti, R. N., Cardozo, T. S., Couto, S. M., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., . . . Raices, R. S. (2021). Effects of microwave heating on the chemical composition and bioactivity of orange juice-milk beverages. *Food Chemistry*, *345*, 128746.
- Mason, T. (1998). Power ultrasound in food processing-the way forward. *Ultrasound in food processing*, 105-126.
- Mesquita, T. C., Vasconcelos Schiassi, M. C. E., Teixeira Lago, A. M., Careli Gondim, Í., Silva, L. M., De Azevedo Lira, N., . . . De Oliveira Lima, L. C. (2020). Grape juice blends treated with gamma irradiation evaluated during storage. *Radiation Physics Chemistry*, *168*, 108570.
- Millán Villarroel, D., Romero González, L., Brito, M., & Ramos Villarroel, A. Y. (2015). Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas. *Saber*, *27*(3), 454-469.
- Mohammad Razdari, A., Ebrahimi, R., Zarein, M., Mahfeli, M., & Yoosefian, S. H. (2021). Investigation of ^{60}Co gamma irradiation on dehydration kinetics: A case study of apple slices. *Journal of Food Process Engineering*, *44*(6), e13697.
- Mohammad Salamatullah, A., Saeed Alkaltham, M., Hayat, K., Asif Ahmed, M., Arzoo, S., Mabood Husain, F., & Alzahrani, A. (2021). Bioactive and antimicrobial properties of eggplant (*Solanum melongena* L.) under microwave cooking. *Sustainability*, *13*(3), 1519.

- Morales Cruz, A., Higuera Ramírez, A., García, V. R., & Chávez Reyes, Y. (2019). Evaluación del efecto de secado con microondas en los compuestos bioactivos del bagazo de marañón.
- Moreno, C., Andrade Cuvi, M. J., Zaro, M. J., Darre, M., Vicente, A. R., & Concellón, A. (2017). Short UV-C treatment prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut carambola. *Journal of Food Quality*, 2017.
- Muhammad Aadil, R., An Zeng, X., Han, Z., Sahar, A., Ahmed Khalil, A., Ur Rahman, U., . . . Mehmood, T. (2017). Combined effects of pulsed electric field and ultrasound on bioactive compounds and microbial quality of grapefruit juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13507.
- Muhammad, A. I., Xiang, Q., Liao, X., Liu, D., & Ding, T. (2018). Understanding the impact of nonthermal plasma on food constituents and microstructure—a review. *Food Bioprocess Technology*, 11(3), 463-486.
- Nair, P., & Sharma, A. (2016). Food irradiation. In *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 19-29).
- Ninčević Grassino, A., Ostojić, J., Miletić, V., Djaković, S., Bosiljkov, T., Zorić, Z., . . . Brnčić, M. (2020). Application of high hydrostatic pressure and ultrasound-assisted extractions as a novel approach for pectin and polyphenols recovery from tomato peel waste. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 64, 102424.
- Niu, D., Zeng, X. A., Ren, E. F., Xu, F. Y., Li, J., Wang, M. S., & Wang, R. (2020). Review of the application of pulsed electric fields (PEF) technology for food processing in China. *Food Research International*, 137, 109715.
- Nowacka, M., Dadan, M., & Tylewicz, U. (2021). Current applications of ultrasound in fruit and vegetables osmotic dehydration processes. *Applied Sciences*, 11(3), 1269.
- Nowacka, M., Tappi, S., Wiktor, A., Rybak, K., Miszczykowska, A., Czyzewski, J., . . . Tylewicz, U. (2019). The impact of pulsed electric field on the extraction of bioactive compounds from beetroot. *Foods*, 8(7), 244.

- NTE INEN 2735. (2003). *Norma General para los alimentos irradiados (CODEX STAN 106-1983, MOD)*. Quito-Ecuador
- Ochoa, S., Durango Zuleta, M. M., & Osorio Tobón, J. F. (2020). Techno-economic evaluation of the extraction of anthocyanins from purple yam (*Dioscorea alata*) using ultrasound-assisted extraction and conventional extraction processes. *Food Bioproducts Processing*, 122, 111-123.
- Oey, I., Van der Plancken, I., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2008). Does high pressure processing influence nutritional aspects of plant based food systems? *Trends in Food Science & Technology*, 19(6), 300-308.
- Oh, Y. A., Roh, S. H., & Min, S. C. (2016). Cold plasma treatments for improvement of the applicability of defatted soybean meal-based edible film in food packaging. *Food Hydrocolloids*, 58, 150-159.
- Orrego, C. E., Salgado, N., & Díaz, M. S. (2020). Estudio de mercado interno y externo de la fruta fresca y sus derivados. In Fontagro (Ed.), *Productividad y Competitividad frutícola andina*. Recuperado de https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16111_-_Producto_9.pdf.
- Ortiz Araque, L. C., Rodoni, L. M., Darré, M., Ortiz, C. M., Civello, P. M., & Vicente, A. R. (2018). Cyclic low dose UV-C treatments retain strawberry fruit quality more effectively than conventional pre-storage single high fluence applications. *LWT*, 92, 304-311.
- Paciulli, M., Ganino, T., Medina Meza, I. G., Rinaldi, M., Rodolfi, M., Morbarigazzi, M., & Chiavaro, E. (2021). High pressure and thermal processing on the quality of zucchini slices. *European Food Research Technology*, 247(2), 475-484.
- Pathak, B., Omre, P. K., Bisht, B., & Saini, D. (2018). Effect OF thermal and NON-thermal processing methods ON food allergens. *Progressive Research-An International Journal*, 13, 314-319.
- Paucar, E. (2019). USD 334 millones en pérdidas por alimentos en Ecuador. *El Comercio*. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/tendencias/sociedad/toneladas-alimento-pierden-ecuador-crisis.html>

- Peralta Pérez, A. (2019). *Aplicación de métodos combinados para aumentar la vida útil del jugo de naranja*. (Licenciado Químico Farmacobiólogo), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla - México.
- Pérez Grijalva, B., Herrera Sotero, M., Mora Escobedo, R., Zebadúa García, J. C., Silva Hernández, E., Oliart Ros, R., . . . Guzmán Gerónimo, R. (2018). Effect of microwaves and ultrasound on bioactive compounds and microbiological quality of blackberry juice. *LWT*, 87, 47-53.
- Pérez Pulido, R., Toledo, J., Grande, M. J., Gálvez, A., & Lucas, R. (2015). Analysis of the effect of high hydrostatic pressure treatment and enterocin AS-48 addition on the bacterial communities of cherimoya pulp. *%J International Journal of Food Microbiology*, 196, 62-69.
- Prajapati, U., Asrey, R., Varghese, E., Singh, A., & Singh, M. P. (2021). Effects of postharvest ultraviolet-C treatment on shelf-life and quality of bitter melon fruit during storage. *Food Packaging Shelf Life*, 28, 100665.
- Prakash, A., & Ornelas Paz, J. d. J. (2019). Irradiation of fruits and vegetables. In *Postharvest technology of perishable horticultural commodities* (pp. 563-589): Elsevier.
- Qi Chen, Y., Hu Cheng, J., & Wen Sun, D. (2020). Chemical, physical and physiological quality attributes of fruit and vegetables induced by cold plasma treatment: Mechanisms and application advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(16), 2676-2690.
- Ragazzo Sánchez, J., Calderón Santoyo, M., López Quintana, G., Ramírez de Leon, J., & Jiménez Sánchez, D. (2019). Efecto de la alta presión hidrostática sobre la inactivación de *Escherichia coli* O157: H7 y el perfil aromático en néctar de mango. *Revista Bio Ciencias*, 6, 19.
- Ramírez, R., Martín, M. J., Trejo, A., Onrubia, M., Delgado Adámez, J., Pintado, C., . . . García Parra, J. (2021). *Manual Práctico de aplicación de Altas presiones Hidrostáticas*. España.
- Ramón, C., & Gil Garzón, M. A. (2021). Efecto de los parámetros de operación de la extracción asistida por ultrasonido en la obtención de polifenoles de uva: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), e1822-e1822.

- Ramos Parra, P. A., Hernández Brenes, C., & Díaz de la Garza, R. I. (2021). High hydrostatic pressure modulates the folate and ascorbic acid accumulation in papaya (*Carica papaya* cv. Maradol) fruit. *Food Engineering Reviews*, 1-9.
- Reddy, N. R., Solomon, H. M., Telzloff, R. C., Balasubramaniam, V. M., Rhodehamel, E. J., & Ting, E. Y. (2001). Inactivation of *Clostridium botulinum* spores by high pressure processing. *Annual Report of the National Centre for Food Safety and Technology*, 36-42.
- Režek Jambrak, A., Šimunek, M., Evačić, S., Markov, K., Smoljanić, G., & Frece, J. (2018). Influence of high power ultrasound on selected moulds, yeasts and *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple, cranberry and blueberry juice and nectar. *Ultrasonics*, 83, 3-17.
- Ricce, C., Lindsay Rojas, M., Claudio Miano, A., Siche, R., & Esteves Duarte, A. P. (2016). Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. *Food Research International*, 89, 701-708.
- Robles Ozuna, L. E., & Ochoa Martínez, L. A. (2012). Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista iberoamericana de tecnología postcosecha*, 13(2), 109-122.
- Roig Sagués, A. X., Hernández Herrero, M. M., Trujillo, A. J., & Buffa, M. N. (2021). Avenços en tecnologia no tèrmica per tractar aliments líquids. *UAB divulga*.
- Rojas, M. L., Augusto, P. E., & Cárcel, J. A. (2020). Ethanol pre-treatment to ultrasound assisted convective drying of apple. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 61, 102328.
- Ruiz, V. E., Interdonato, R., Cerioni, L., Albornoz, P., Ramallo, J., Prado, F. E., . . . Biology, P. B. (2016). Short-term UV-B exposure induces metabolic and anatomical changes in peel of harvested lemons contributing in fruit protection against green mold. *159*, 59-65.
- Rux, G., Gelewsky, R., Schlüter, O., & Herppich, W. B. (2020). High hydrostatic pressure treatment effects on selected tissue properties of fresh horticultural products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 61, 102326.

- Saeeduddin, M., Abid, M., Jabbar, S., Hu, B., Muhammad Hashim, M., Ammar Khan, M., . . . Zeng, X. (2016). Physicochemical parameters, bioactive compounds and microbial quality of sonicated pear juice. *International Journal of Food Science & Technology*, *51*(7), 1552-1559.
- Savedra, W. (2018). Mejore su marca y evite el deterioro de alimentos con tecnología HPP. Recuperado de <https://www.elempaque.com/temas/Mejore-su-marca-y-evite-el-deterioro-de-alimentos-con-tecnologia-HPP+125807>
- Saxena, S., Kumar, J., Gupta, S., & Gautam, S. (2021). Effect of gamma irradiation on microbial safety and functionality of value added ambient storable pulp product from Java Plum. *Food Bioscience*, *41*, 101022.
- Sehrawat, R., Pal Kaur, B., Nema, P. K., Tewari, S., & Kumar, L. (2021). Microbial inactivation by high pressure processing: principle, mechanism and factors responsible. *Food Science and Biotechnology*, *30*(1), 19-35.
- Shah, U., Ranieri, P., Zhou, Y., Schauer, C. L., Miller, V., Fridman, G., & Sekhon, J. K. (2019). Effects of cold plasma treatments on spot-inoculated *Escherichia coli* O157: H7 and quality of baby kale (*Brassica oleracea*) leaves. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *57*, 102104.
- Sharma, P., Sharma, S., Dhall, R., Mittal, T., & Bhatia, S. (2020). Physio-chemical behavior of γ -irradiated garlic bulbs under ambient storage conditions. *Journal of Stored Products Research*, *87*, 101629.
- Sharma, P., Sharma, S. R., Dhall, R. K., Mittal, T. C., & Kumar, S. (2021). Variation in quality and acceptability of minimally processed garlic in response to γ -irradiation and packaging during refrigerated storage. *Radiation Physics and Chemistry*, *180*, 109193.
- Sheng, K., Zheng, H., Shui, S., Yan, L., Liu, C., & Zheng, L. (2018). Comparison of postharvest UV-B and UV-C treatments on table grape: Changes in phenolic compounds and their transcription of biosynthetic genes during storage. *Postharvest Biology and Technology*, *138*, 74-81.
- Singh, H., Bhardwaj, S. K., Khatri, M., Kim, K.-H., & Bhardwaj, N. (2021). UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chemical Engineering Journal*, *417*, 128084.

- Smelt, J. P. (1998). Recent advances in the microbiology of high pressure processing. *Trends in Food Science & Technology*, 9(4), 152-158.
- Soto Reyes, N., Rojas Laguna, R., & Sosa Morales, M. (2012). Modelación del calentamiento dieléctrico (microondas y radiofrecuencia) en sistemas alimenticios modelo. *Temas selectos de ingeniería alimentos*, 6(2), 19-31.
- Starek, A., Pawłat, J., Chudzik, B., Kwiatkowski, M., Terebun, P., Sagan, A., & Andrejko, D. (2019). Evaluation of selected microbial and physicochemical parameters of fresh tomato juice after cold atmospheric pressure plasma treatment during refrigerated storage. *Scientific reports*, 9(1), 1-11.
- Syaza, S. K., Umar, R., Hazmin, S. N., Kamarudin, M. K., Hassan, A., & Juahir, H. (2017). Non-ionizing radiation as threat in daily life. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(2S), 308-316.
- Szadzińska, J., Łechtańska, J., Kowalski, S. J., & Stasiak, M. (2017). The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 531-539.
- Tao, Y., Han, M., Gao, X., Han, Y., Show, P.-L., Liu, C., . . . Xie, G. (2019). Applications of water blanching, surface contacting ultrasound-assisted air drying, and their combination for dehydration of white cabbage: Drying mechanism, bioactive profile, color and rehydration property. *Ultrasonics Sonochemistry*, 53, 192-201.
- Tappi, S., Gozzi, G., Vannini, L., Berardinelli, A., Romani, S., Ragni, L., & Rocculi, P. (2016). Cold plasma treatment for fresh-cut melon stabilization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 225-233.
- Tappi, S., Ragni, L., Tylewicz, U., Romani, S., Ramazzina, I., & Rocculi, P. (2019). Browning response of fresh-cut apples of different cultivars to cold gas plasma treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 53, 56-62.
- Tiwari, B. K., O'donnell, C. P., & Cullen, P. J. (2009). Effect of non thermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices. *Trends in Food Science & Technology*, 20(3-4), 137-145.

- Tripathi, J., Prasad Variyar, A., Kumar Mishra, P., & Shekhar Variyar, P. (2016). Impact of radiation processing on the stability of cucurbitacin glycosides in ready-to-cook (RTC) pumpkin during storage. *LWT*, 73, 239-242.
- Tylewicz, U., Oliveira, G., Alminger, M., Nohynek, L., Dalla Rosa, M., & Romani, S. (2020). Antioxidant and antimicrobial properties of organic fruits subjected to PEF-assisted osmotic dehydration. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 62, 102341.
- Valdez Betanzos, A. (2021). *Evaluación del efecto del jugo de frambuesa (Rubus idaeus L.) procesado con microondas sobre la conducta tipo depresiva y el estrés oxidativo en la rata Wistar*. Universidad Veracruzana,
- Varela Ferreira, T., Mizuta, A. G., Lima de Menezes, J., Dutra, T. V., Bonin, E., Castro, J. C., . . . Graton Mikcha, J. M. (2020). Effect of ultraviolet treatment (UV-C) combined with nisin on industrialized orange juice in *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores. *LWT*, 133, 109911.
- Vega, E. (2020). Ecuador desperdicia 939 000 toneladas métricas de alimentos al año, es uno de los países que más desecha comida en América Latina. *El Universo*. Recuperado de <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/09/29/nota/7995577/desperdicio-alimentos-ecuador-fao-sostenibilidad-economia-wwf/>
- Velásquez Valderrama, Á. M., & Sánchez Arenas, R. L. (2008). Utilización de microondas en el tratamiento de jugo de mango. *Revista Lasallista de investigación*, 5(2), 13-19.
- Vernés, L., Vian, M., & Chemat, F. (2020). Ultrasound and microwave as green tools for solid-liquid extraction. In *Liquid-phase extraction* (pp. 355-374): Elsevier.
- Viacava, F., Ortega Hernández, E., Welti Chanes, J., Cisneros Zevallos, L., & Jacobo Velázquez, D. A. (2020). Using high hydrostatic pressure processing come-up time as an innovative tool to induce the biosynthesis of free and bound phenolics in whole carrots. *Food and Bioprocess Technology*, 13(10), 1717-1727.

- Vivanco, D., Ardiles, P., Castillo, D., & Puente, L. (2021a). Tecnología emergente: Campo de pulsos eléctricos (PEF) para el tratamiento de alimentos y su efecto en el contenido de antioxidantes. *Revista chilena de nutrición*, 48(4), 609-619.
- Vivanco, D., Ardiles, P., Castillo, D., & Puente, L. J. R. c. d. n. (2021b). Tecnología emergente: Campo de pulsos eléctricos (PEF) para el tratamiento de alimentos y su efecto en el contenido de antioxidantes. 48(4), 609-619.
- Wang, C., Gao, Y., Tao, Y., Wu, X., & Zhibo, C. (2017). Influence of γ -irradiation on the reactive-oxygen metabolism of blueberry fruit during cold storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 397-403.
- Wang, J., Xiao, H. W., Ye, J. H., Wang, J., & Raghavan, V. (2019). Ultrasound pretreatment to enhance drying kinetics of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) slices: pros and cons. *Food and Bioprocess Technology*, 12(5), 865-876.
- Wen Huang, H., Ping Hsu, C., & Yi Wang, C. (2020). Healthy expectations of high hydrostatic pressure treatment in food processing industry. *Journal of Food and Drug Analysis*, 28(1), 1-13.
- World Health Organization. (1994). *Safety and nutritional adequacy of irradiated food*: World Health Organization.
- Wu, W., Xiao, G., Yu, Y., Xu, Y., Wu, J., Peng, J., & Li, L. (2021). Effects of high pressure and thermal processing on quality properties and volatile compounds of pineapple fruit juice. *Food Control*, 108293.
- Xu, X., Deng, J., Luo, D., Bao, Y., Liao, X., Gao, H., & Wu, J. (2018). Comparative study of high hydrostatic pressure and high temperature short time processing on quality of clear and cloudy Se-enriched kiwifruit juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 49, 1-12.
- Xu, Z., Wang, Y., Ren, P., Ni, Y., & Liao, X. (2016). Quality of banana puree during storage: a comparison of high pressure processing and thermal pasteurization methods. *Food and Bioprocess Technology*, 9(3), 407-420.
- Yeon Won, M., Jo Lee, S., & Min, S. C. (2017). Mandarin preservation by microwave-powered cold plasma treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 39, 25-32.

- Yildiz, S., Pokhrel, P. R., Unluturk, S., & Barbosa Cánovas, G. V. (2021). Shelf life extension of strawberry juice by equivalent ultrasound, high pressure, and pulsed electric fields processes. *Food Research International*, *140*, 110040.
- Yu, Y., Jin, T. Z., Fan, X., & Wu, J. (2018). Biochemical degradation and physical migration of polyphenolic compounds in osmotic dehydrated blueberries with pulsed electric field and thermal pretreatments. *Food Chemistry*, *239*, 1219-1225.
- Yuan, B., Danao, M. G., Lu, M., Weier, S. A., Stratton, J. E., & Weller, C. L. (2018). High pressure processing (HPP) of aronia berry puree: Pilot scale processing and a shelf-life study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *47*, 241-248.
- Zapata, D. A., Pujol, R. O., & Coda, F. E. (2009). La química de la radiación de microondas. *Técnica industrial*(284), 54-59.
- Zarbakhsh, S., & Rastegar, S. (2019). Influence of postharvest gamma irradiation on the antioxidant system, microbial and shelf life quality of three cultivars of date fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Scientia Horticulturae*, *247*, 275-286.
- Zavala Zavala, L., Castro de la Cruz, Y., Calva Angeles, F., Morales, A., Sánchez Cruz, M. d. I. L., & Chávez Reyes, M. Y. (2020). Optimización de deshidratación de la semilla de mango con microondas y conservación de los compuestos fenólicos. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, *7*, 19-29.
- Zhang, F., Chai, J., Zhao, L., Wang, Y., & Liao, X. (2021). The impact of N₂-assisted high-pressure processing on the microorganisms and quality indices of fresh-cut bell peppers. *Foods*, *10*(3), 508.
- Zhang, Y., Liu, X., Wang, Y., Zhao, F., Sun, Z., & Liao, X. (2016). Quality comparison of carrot juices processed by high-pressure processing and high-temperature short-time processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *33*, 135-144.
- Zhao, B., Hu, S., Wang, D., Chen, H., & Huang, M. (2020). Inhibitory effect of gamma irradiation on *Penicillium digitatum* and its application in the preservation of Ponkan fruit. *Scientia Horticulturae*, *272*, 109598.

- Zhao, Y. Y., Yi, J. Y., Bi, J. F., Chen, Q. Q., Zhou, M., & Zhang, B. (2019). Improving of texture and rehydration properties by ultrasound pretreatment for infrared-dried shiitake mushroom slices. *Drying Technology*, *37*(3), 352-362.
- Zielinska, M., Zielinska, D., & Markowski, M. (2018). The effect of microwave-vacuum pretreatment on the drying kinetics, color and the content of bioactive compounds in osmo-microwave-vacuum dried cranberries (*Vaccinium macrocarpon*). *Food and Bioprocess Technology*, *11*(3), 585-602.