



Universidad Internacional de La Rioja
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Máster Universitario en Gestión de la Seguridad Alimentaria

**APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA
EMERGENTE DE CAMPOS ELÉCTRICOS
PULSADOS (PEF) SOBRE ZUMOS DE FRUTA**

TFE presentado por:	Juan Izquierdo Ghodsian
Especialidad del TFE: (Tecnología de los Alimentos / Sistemas de Gestión de la Calidad y Seguridad Alimentaria)	Tecnología de los Alimentos
Director/a:	María Dolores Pérez Caballero
Fecha:	10/09/2024

Resumen

El presente proyecto se enfoca en investigar y analizar la aplicación de la tecnología de Campos Eléctricos Pulsados (PEF) en zumos de fruta con el objetivo de prolongar su vida útil y preservar sus propiedades fisicoquímicas, organolépticas, nutricionales y microbiológicas. Se plantea una comparativa entre los métodos tradicionales de conservación y los métodos innovadores, centrándose en los efectos del PEF en la calidad de los zumos. En este proyecto se busca explorar el potencial de la tecnología de Campos Eléctricos Pulsados como una alternativa innovadora y eficaz para la conservación de zumos de fruta, con el objetivo de mejorar la calidad del producto final, prolongar su vida útil y satisfacer las demandas de un mercado cada vez más orientado hacia la salud y el bienestar de los consumidores.

Palabras clave:

PEF, tecnologías no térmicas de conservación, Campos eléctricos Pulsados, compuestos bioactivos, zumos de frutas.

Abstract

This project focuses on investigating and analyzing the application of Pulsed Electric Field (PEF) technology in fruit juices with the aim of prolonging their useful life and preserving their physicochemical, organoleptic, nutritional, and microbiological properties. A comparison is made between traditional conservation methods and innovative methods, focusing on the effects of PEF on the quality of the juices. This project seeks to explore the potential of Pulsed Electric Field technology as an innovative and effective alternative for the conservation of fruit juices, with the aim of improving the quality of the final product, prolonging its useful life, and satisfying the demands of a market increasingly oriented towards the health and well-being of consumers.

Keywords:

PEF, non-thermal conservation technologies, Pulsed Electric Fields, bioactive compounds, fruit juices.

Agradecimientos.

Agradecimientos dedicados principalmente a mi familia y amigos de toda la vida. Gracias por brindarme esa estabilidad emocional en los momentos más duros.

Un agradecimiento especial a Vanesa Mancebo Campos, mi mentora durante el grado de Ciencia y Tecnología de los Alimentos en la UCLM, por animarme a seguir con mis estudios.

Finalmente me gustaría agradecer a María Dolores Pérez Caballero, mi Directora del presente TMF que ha velado por la integridad del proyecto.

«Las personas grandes nunca comprenden nada por sí solas» (Saint-Exupéry, 1946)

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

► Figuras:

1. Figura 1. Estructura química de la vitamina C	9
2. Figura 2. Ejemplo del procesado tradicional de un zumo de frutas a escala industrial.....	11
3. Figura 3. Diferentes tipos de zumos según el Real Decreto 781/2013.....	18
4. Figura 4. Esquema del equipo utilizado para el tratamiento de zumos de fruta mediante PEF.....	34
5. Figura 5. Organigrama de la empresa “Don Juan S.A.”	42
6. Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de elaboración actual de Don Juan S.A.	44
7. Figura 7. Estructura del análisis DAFO.....	46
8. Figura 8. Software XLSTAT integrado en Excel como matriz comparativa.....	50
9. Figura 9. Diagrama de flujo del proceso con los tratamientos PEF y HPP.....	65
10. Figura 10. Escala establecida para medición de las propiedades sensoriales	66
11. Figura 11. Resultado final de la evaluación	67

► Tablas:

1. Tabla 1. Comparativa entre tecnologías emergentes y métodos tradicionales de conservación	52
2. Tabla 2. Tecnologías emergentes no térmicas, ventajas y limitaciones	54
3. Tabla 3. Comparativa de las principales tecnologías no térmicas de conservación.....	59
4. Tabla 4. Efectos de PEF combinado con otras tecnologías sobre diferentes enzimas.....	61
5. Tabla 5. Resultados de la prueba.....	67

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Justificación	1
2.	Introducción	4
3.	Objetivos	8
3.1.	Objetivo general.....	8
3.2.	Objetivos específicos	8
4.	Marco Teórico	9
4.1.	Historia de los zumos de fruta	9
4.2.	Tecnologías PEF en relación con la Sostenibilidad	12
4.3.	Tipos de zumos de fruta.....	16
4.4.	Composición de los zumos de fruta.....	20
4.5.	Comparativa de las tecnologías tradicionales en contraposición a las tecnologías emergentes	29
4.5.1.	Aplicaciones de la tecnología PEF.....	35
4.6.	Técnicas de análisis empleadas en zumos de fruta	36
5.	Marco legal.....	40
6.	Descripción de la empresa	41
6.1.	Organigrama funcional de la compañía.....	41
6.2.	Etapas del proceso productivo actual de “Don Juan S.A.”	43
6.3.	Análisis y aplicación de PEF en la empresa Don Juan S.A.....	45
7.	Metodología	48
7.1.	Revisión bibliográfica	48
7.2.	Ánalisis crítico de los estudios existentes seleccionados	49
8.	Resultados y discusión	51

8.1. Comparativa entre los métodos tradicionales más usados en la industria de los zumos de fruta y los métodos innovadores	51
8.2. Propuesta para prolongar el contenido de antioxidantes en zumos mediante el diseño y la aplicación de métodos innovadores.....	60
8.3. Estudio de análisis sensorial por parte de Don Juan S.A.	66
9. Conclusiones.....	69
10. Referencias bibliográficas.....	71
11. Anexos	81
11.1. Anexo I. Glosario de abreviaturas	81

1. Justificación

Este Trabajo Fin de Máster estudia la aplicación de la tecnología emergente de Campos Eléctricos Pulsados (PEF) en zumos de fruta.

Este análisis parte en base a que el sector de los zumos de fruta se enfrenta constantemente al desafío de mantener la calidad, frescura y valor nutricional de sus productos, mientras cumple con las expectativas del consumidor en términos de seguridad alimentaria, inocuidad, calidad, textura y sabor.

La industria alimentaria, en su trayectoria de constante evolución, se ha enfrentado a gran cantidad de desafíos que han modelado su desarrollo, no solo ha tenido que adaptarse a las nuevas tecnologías y cambios de normativa que se producen, sino que también a las expectativas de los consumidores y la creciente complejidad existente en el mercado global. (Wani et al., 2024)

Las tendencias de los consumidores se deben a diversos movimientos que realiza la sociedad que generalmente se ven expandidos por las redes sociales. Estas medidas abarcan un gran abanico de opciones, las cuales pueden ir desde adoptar una nueva dieta como la vegetariana, hasta la búsqueda de alimentos no procesados o mínimamente procesados (Aledo Sevilla, 2020). La búsqueda de consumir productos los cuales se asemejen lo más posible a un zumo de fruta recién exprimido es una de las tendencias de los consumidores que más van a afectar a este sector.

El propósito de este TFM es ese, buscar un método o tratamiento el cual afecte mínimamente a las propiedades sensoriales y nutricionales de los zumos de fruta, que alargue su vida útil, y que a su vez garantice la calidad, seguridad e inocuidad alimentaria.

Por ello el método propuesto es la aplicación de la tecnología emergente de Campos Eléctricos Pulsados, más conocida por su nomenclatura en inglés «Pulses Electric Fields» o por sus siglas «PEF». Por otro lado, durante la elaboración de este proyecto, se van a analizar diferentes tecnologías emergentes además de la propuesta y se van a comparar con los métodos tradicionales.

Estos métodos tradicionales se caracterizan por ser o usar tratamientos térmicos los cuales pueden afectar significativamente la calidad sensorial y nutricional de los zumos de fruta, un ejemplo de ello es la pérdida de compuestos bioactivos y nutrientes que pueden producir las altas temperaturas de estos tratamientos térmicos causando la degradación de polifenoles como son los flavonoides, lignanos y estilbenos junto con la degradación de vitaminas termolábiles como la vitamina C. (Moreno et al., 2018; Velázquez Estrada, 2011)

Los tratamientos térmicos habitualmente son efectivos al eliminar a los microorganismos patógenos, pero en ciertos contextos pueden no serlo, ya que los zumos de fruta son matrices alimentarias muy sensibles y delicadas que con un tratamiento térmico excesivo se pueden alterar fácilmente sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales, produciendo el consiguiente rechazo por el consumidor, aunque estos sean seguros.

Para abordar estos problemas, la comunidad científica se ha embarcado en la búsqueda de nuevos tratamientos tecnológicos produciendo así las tecnologías no térmicas de conservación entre las que destacan las Altas Presiones Hidrostáticas y los Campos de Pulso Eléctricos entre otros. (García, 2021)

Es crucial que la industria pueda abordar estos desafíos que se plantean. Una de las razones destacadas es ajustarse a las tendencias del mercado y cumplir con el marco legal establecido tanto por nuestro país como el establecido internacionalmente.

Las normativas y las tendencias de mercado están encaminándose cada vez más a un mayor enfoque de calidad, seguridad y sostenibilidad.

La adopción de tecnologías como la tecnología de Campos Eléctricos Pulsados puede ayudar a las empresas a cumplir con estas regulaciones y mantenerse en sintonía con las tendencias de mercado.(Aledo Sevilla, 2020) Esto es debido a que este tipo de tecnología, como se irá discutiendo durante el desarrollo del presente proyecto, es una tecnología que se adapta muy bien a este proceso, ya que presenta un menor impacto sobre las propiedades nutricionales y organolépticas de los zumos de frutas.

Estas tecnologías ofrecen productos muy ricos en compuestos bioactivos y nutrientes, más naturales. Entendiendo como más naturales a aquellos productos que aun siendo procesados, conservan, e incluso, mejoran su composición nutricional. (Gavino Nieto, 2022; Vivanco et al., 2021)

Otro factor que se puede abordar enfocado a las empresas con este tipo de tecnologías emergentes es el de la eficiencia operativa y la sostenibilidad. Los métodos de procesamiento utilizados tradicionalmente resultan ser métodos que conllevan un alto consumo energético además de producir desperdicio alimentario, factores que son ambiental y económico insostenibles. (Paucar-Menacho et al., 2024) Las tecnologías emergentes no térmicas como son la aplicación de ultrasonidos, campos eléctricos pulsados, altas presiones, irradiación, plasma frío, ... tienen la capacidad de reducir tiempos de procesamiento, ahorrar costos de mano de obra (muchos de ellos son altamente automatizados) y ahorrar energía, entre muchas otras cualidades. (Balasubramaniam et al., 2015; Chen et al., 2020)

El objetivo principal de este estudio es mejorar la composición, calidad y valor nutricional de los zumos, proporcionando una visión integral de los beneficios que PEF puede ofrecer, junto con los desafíos y oportunidades que conlleva su implementación en la industria. Se analizarán las mejoras en la conservación de nutrientes y calidad sensorial, la eficacia en la inactivación de microorganismos y enzimas, y la capacidad para mejorar la sostenibilidad operativa y reducir el impacto ambiental del procesamiento de alimentos.

La comprensión y optimización del uso de PEF en el procesamiento de zumos de fruta no solo pueden conducir a productos de mayor calidad y valor nutricional, sino que también pueden ofrecer una ventaja competitiva significativa en un mercado cada vez más orientado hacia la salud y la sostenibilidad.

Este trabajo proporcionará una base teórica y práctica para la implementación de esta tecnología, contribuyendo al avance de métodos de procesamiento de alimentos más eficientes y respetuosos con la integridad del producto.

2. Introducción

Las plantas juegan un papel fundamental en la dieta humana desde tiempos inmemoriales. Los vegetales, las frutas, las verduras contienen gran variedad de nutrientes esenciales entre los que se encuentran los compuestos bioactivos, denominados así porque pueden influir positivamente en muchos procesos fisiológicos de los seres humanos, como ayudar en determinadas enfermedades como pueden ser problemas cardiovasculares, obesidad, diabetes tipo II, etc. Algunos de estos compuestos bioactivos son antioxidantes, vitaminas y minerales.(Afraz et al., 2024; Moreno et al., 2018)

Según el Decreto 2484/1967 donde se establece el Código Alimentario Español (CAE), se define como fruto a las partes carnosas de los órganos florales que hayan alcanzado madurez adecuada para su consumo.(Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español., 1967) Otra posible definición que se puede aportar a este ensayo viene de la mano del Real Decreto 781/2013 donde se define que la fruta es el órgano comestible de una planta que se desarrolla a partir de la flor y contiene semillas. (Real Decreto 781/2013, de 11 de octubre, por el que se establecen normas relativas a la elaboración, composición, etiquetado, presentación y publicidad de los zumos de frutas y otros productos similares destinados a la alimentación humana., 2013)

Por otro lado, como objeto de estudio, debemos hablar de los zumos de fruta. Según el Real Decreto 781/2013, los zumos de fruta son el producto susceptible de fermentación, pero no fermentado obtenido a partir de las partes comestibles de las frutas sanas y maduras frescas o conservadas ya sea por refrigeración o congelación de una o varias especies mezcladas que posee el color el aroma y el sabor característicos del zumo de la fruta de la que procede.

Los zumos de fruta son consumidos ampliamente por sus propiedades nutricionales y beneficios para la salud, se clasifican según su método de procesamiento y composición. (Lorente et al., 2011) Según el Real Decreto 781/2013:

- ▶ Zumos de fruta.
- ▶ Zumos de fruta a partir de concentrado.
- ▶ Zumos de fruta concentrado.
- ▶ Zumos de fruta extraído con agua.
- ▶ Zumos de fruta deshidratado/ en polvo.
- ▶ Néctar de frutas.

Por otro lado, según el Código Alimentario Español, propone una clasificación más extensa y completa:

- ▶ Zumos frescos de fruta.
- ▶ Zumos naturales.
- ▶ Zumos conservados.
- ▶ Zumos básicos de frutas.
- ▶ Zumos concentrados.
- ▶ Zumos concentrados conservados.
- ▶ Zumos ligeramente azucarados.
- ▶ Zumos azucarados.
- ▶ Zumos gasificados.
- ▶ Néctares.
- ▶ Zumos deshidratados de frutas.
- ▶ Crema de frutas.
- ▶ Crema de frutas diluida.

Los ingredientes que se pueden utilizar para la elaboración de los zumos de frutas vienen definidos en los Anexos 1.A y 1.B del Real Decreto 781/2013. En el presente reglamento se establece que en la elaboración del zumo o zumos de frutas se podrán incluir como ingredientes la reincorporación del aroma la pulpa y células de la fruta siempre y cuando estos sean obtenidos por medios físicos apropiados que procedan de la misma especie de fruta o frutas. Cabe destacar, que en el caso que los zumos se obtengan a partir de frutas, no deberán incluir pepitas, semillas y pieles o componentes/partes de las pepitas semillas o piel.

Además, cuando este zumo proceda de un cítrico, el zumo de la fruta procederá exclusivamente del endocarpio.

Los zumos están compuestos principalmente por agua lo que generalmente supone entre 75-90% de su composición. (FEN & Nutrición, 2019)

Los carbohidratos son el segundo componente más abundante de la fruta que principalmente están presentes en forma de azúcares simples como fructosa, glucosa y sacarosa. El contenido total de azúcares dependiendo de la fruta y su grado de madurez puede variar entre 10-20 g/100 mL. (Collado González, 2011; FEN & Nutrición, 2019)

Se conoce que los zumos son gran fuente de vitaminas, minerales, ácidos orgánicos y fibra. Dentro del grupo de las vitaminas podemos destacar la vitamina C, vitaminas del grupo B (niacina, riboflavina, tiamina, folatos y ácido pantoténico) y la provitamina A (Betacaroteno). (FEN & Nutrición, 2019; Liu et al., 2012)

Dentro del grupo de los minerales destaca el potasio siendo el mineral más abundante con concentraciones que pueden oscilar entre 100-200 mg/100 mL. También son abundantes en más minerales como el fósforo, calcio, magnesio y cobre. (Liu et al., 2012)

Dependiendo de la fruta de la que estemos hablando podemos destacar un ácido orgánico u otro. Estos ácidos orgánicos van a contribuir al sabor y actúan como conservantes naturales. Los más comunes son el ácido málico (manzana), el ácido tartárico (uva) y el ácido cítrico (limón). (Liu et al., 2012; Lobera, 2017)

El último componente representativo es la fibra. La fibra dietética representa un bajo porcentaje en la composición del zumo de frutas, ya que la mayoría de fibra se pierde en el proceso de extracción del zumo, sin embargo, algunos zumos especialmente los que tienen pulpa pueden retener una pequeña cantidad de fibra. (FEN & Nutrición, 2019)

Por otro lado, vamos a hablar de algunas de las diferentes técnicas analíticas utilizadas para la evaluación de los zumos de fruta. (Collado González, 2011)

Para evaluar la eficacia del PEF en el procesamiento de zumos de fruta, se emplean diversas técnicas analíticas que permiten medir la calidad del producto, su composición y su valor nutricional. Los análisis más realizados son los siguientes:

- ▶ Medición de la Actividad Enzimática.
- ▶ Análisis de polifenoles.
- ▶ Análisis de su Capacidad Antioxidante.
- ▶ Análisis de Vitaminas.
- ▶ Evaluación Sensorial.
- ▶ Análisis Microbiológico.

Cada tipo de zumo enfrenta desafíos únicos en términos de calidad, composición nutricional y vida útil. En este contexto, la tecnología de Campos Eléctricos Pulsados (PEF, por sus siglas en inglés) se destaca como una alternativa prometedora a los métodos tradicionales de conservación.

Esta innovadora técnica, que utiliza ráfagas breves de electricidad, permite la inactivación de microorganismos y enzimas sin la necesidad de aplicar calor. Gracias a su capacidad para inducir la permeabilización en las membranas celulares, la tecnología PEF puede preservar de manera más eficaz las características sensoriales y nutricionales de los zumos. Al mantener las propiedades fisicoquímicas del producto final, PEF asegura que los zumos conserven su sabor, aroma y valor nutritivo, extendiendo su vida útil sin comprometer la calidad.(Afraz et al., 2024; Wang et al., 2014)

Esta tecnología no térmica ha demostrado ser prometedora en el procesamiento de alimentos, ya que preserva la frescura y seguridad de los alimentos mientras reduce la pérdida de calidad. Sus beneficios abarcan desde la extracción de compuestos bioactivos hasta la prolongación de la vida útil de los alimentos. (Wang et al., 2014) Un ejemplo de ello se observa en el siguiente artículo <<Tecnologías emergentes no térmicas en la industria alimentaria: Avances y potenciales aplicaciones en el procesamiento de alimentos>>, en el que se establece que los efectos más relevantes en la aplicación de los campos eléctricos pulsados sobre un zumo de grosella negra, es el incremento del contenido total de polifenoles, antocianinas monoméricas y la actividad antioxidante en un 19%, 6% y 45%, respectivamente. (Paucar-Menacho et al., 2024)

Estas capacidades hacen que esta tecnología sea muy útil debido a que mejora la calidad del producto final y contribuye a la sostenibilidad y seguridad del proceso de producción.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Diseñar una propuesta para la aplicación de la tecnología de campos eléctricos en zumos de fruta para prolongar su vida útil y sus efectos sobre sus propiedades fisicoquímicas, organolépticas, nutricionales y microbiológicas.

3.2. Objetivos específicos

- ▶ Investigar sobre la tecnología no térmicas de conservación de Campos Eléctricos Pulsados (PEF) para su aplicación en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.
- ▶ Estudiar y hacer una comparativa de diferentes métodos térmicos y no térmicos de conservación de alimentos
- ▶ Analizar la aplicación de Campos Eléctricos Pulsados (PEF) sobre distintos zumos de fruta.
- ▶ Elaborar una propuesta experimental para prolongar el contenido de antioxidantes en zumos mediante el diseño y aplicación de métodos innovadores, en contraposición a los tratamientos convencionales.
- ▶ Elaborar un estudio sensorial con consumidores para evaluar las propiedades organolépticas de un zumo de naranja que ha sido sometido a diferentes tratamientos.

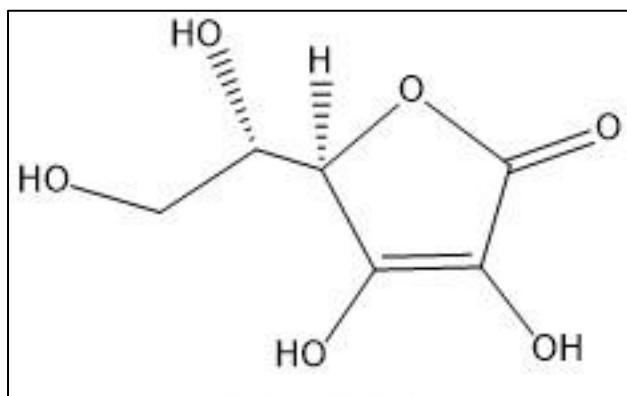
4. Marco Teórico

4.1. Historia de los zumos de fruta

El consumo de zumos de frutas tiene raíces profundas que se remontan a los albores de la civilización. La obtención de jugos a partir de frutas se registra ya en el año 8000 a.c en las antiguas civilizaciones egipcia, griega y romana, donde estos comenzaron a macerar frutas para la elaboración de bebidas. (Freshways, 2022) Hay documentos antiguos como los Manuscritos del Mar Muerto donde se relata el macerado de higos y granadas donde se mencionan ya propiedades saludables, sanadoras y revitalizantes de estos zumos. (Cohen, 2013)

En el siglo XVI se popularizaron los zumos de fruta en Europa, siendo de los zumos más consumidos la limonada. Posteriormente en el siglo XVIII, se descubrió que el jugo de los cítricos poseía increíbles beneficios para la salud, especialmente previniendo la enfermedad del escorbuto gracias a la vitamina C. Este hallazgo hizo que en Gran Bretaña se regularizase el zumo de los cítricos dentro de la Ley Marina Mercante del año 1867, donde se exigía la inclusión de zumos de cítricos en los navíos oceánicos. (Lobera, 2017)

Figura 1. Estructura química de la vitamina C



Fuente: Elaboración propia

No fue hasta finales del siglo XIX, en el año 1869, donde Thomas B. Welch introdujo innovaciones en el campo de la conservación de los zumos de frutas con el método de pasteurización que permitió el almacenamiento de los zumos de fruta sin fermentación. (libbys, 2019)

Durante el siglo XX hubo muchos avances tecnológicos que revolucionaron el sector de los zumos de frutas, ya que se produjo la invención de máquinas exprimidoras como «The Champion Machine» en la década de 1950. Esto permitió que la industria de los zumos pudiera integrar los zumos en la dieta cotidiana de las personas. Posteriormente en la década de los 70 se produjo la invención de los zumos de doble engranaje lo que hizo que se popularizaran los bares de zumo y batidos naturales.(Freshways, 2022)

En Estados Unidos en las décadas de 1920 y 1930, se desarrollaron tecnologías de evaporación y pasteurización de zumos que permitió la fabricación de concentrados. Estos avances tuvieron gran repercusión ya que permitieron la distribución masiva de zumos enlatados, especialmente durante la Segunda Guerra Mundial, donde los zumos de fruta se convirtieron en suministro alimentario para las tropas debido a que son alimentos que en esas condiciones de conservación pueden aguantar largos períodos de almacenamiento, son prácticos y son beneficiosos para la salud de las tropas. (Freshways, 2022)

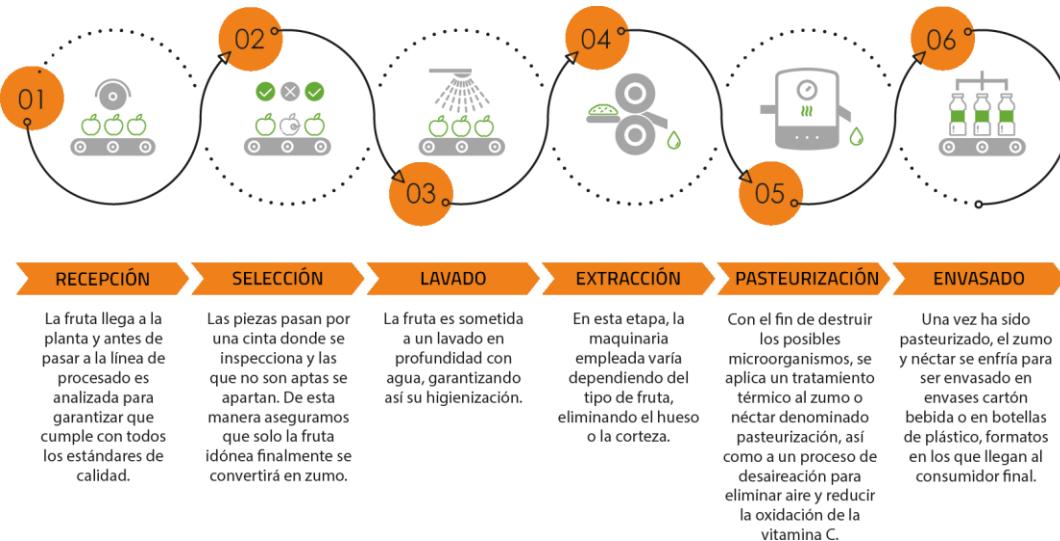
En España, la industrialización de los zumos de fruta ha sido un proceso que ha tenido mucha repercusión desde los inicios de esta. El movimiento comienza a principios del siglo XX en la zona de la Comunidad Valenciana. (Asozumos, 2024a; libbys, 2019) En 1935 se llevaron a cabo los primeros experimentos de envasado de zumo de naranja en la Estación Naranjera de Burjassot. Posteriormente en la década de 1950 se vivió el surgimiento de nuevas variedades de frutales destacando los cítricos, esto permitió la expansión de la industria de zumos en España, dando paso a la investigación e innovación en técnicas avanzadas para la extracción y conservación de los zumos. (Asozumos, 2024a; libbys, 2019)

La idea de los zumos industriales en España gustó mucho. Ya que al igual que pasó con Estados Unidos, España utilizó los zumos de fruta para la alimentación de sus tropas. Debido a este suceso se usaron los zumos industriales para satisfacer la demanda de la población procedente de grandes ciudades con dificultad de acceder a ciertos tipos de alimentos. (libbys, 2019)

En este preciso punto de la historia surge la problemática de llevar estos alimentos a los consumidores de forma inocua. Para ello la industria alimentaria ha tenido que ingeníárselas para poder producir alimentos seguros y de alta calidad para satisfacer la demanda de los clientes. (Asozumos, 2024a; Freshways, 2022)

Para la producción de los zumos de fruta se usaron tecnologías similares a los de la industria de las conservas vegetales, ya que en su inicio surgieron como un apéndice de estos, y posteriormente dan lugar a las fábricas que trabajan con los subproductos de las frutas como son las fábricas de aprovechamiento de aceites esenciales y cortezas de cítricos y a las fábricas que trabajan con pulpa de fruta. (FEN & Nutrición, 2019; libbys, 2019)

Figura 2. Ejemplo del procesado tradicional de un zumo de frutas a escala industrial



Fuente: (Asozumos, 2024b)

4.2. Tecnologías PEF en relación con la Sostenibilidad

La industria de los zumos de fruta está constantemente evolucionando para adaptarse a la normativa vigente tanto nacional como internacional. Por ello, actualmente, deben ajustarse al Proyecto de Ley de Prevención de las Pérdidas y el desperdicio Alimentario, aprobado en España el pasado 9 de enero de 2024 por el Consejo de Ministros. Este proyecto de Ley va de la mano del objetivo 12 de la Agenda 2030 propuesta por la ONU y adoptado por la Unión Europea. (Caballo, 2024)

Los Objetivos de Desarrollo sostenible (ODS) de la Agenda 2030 persiguen la igualdad entre las personas, asegurar la prosperidad y proteger el planeta. (Ministerio de España, 2024)

Algunos de estos objetivos que se proponen son irrealistas, sin embargo, hay que intentar cumplirlos en lo posible, que plantean hacer un mundo mejor, justo y más humano. (Wani et al., 2024)

Es cierto que las tecnologías emergentes como los campos eléctricos pulsados y las altas presiones, por las características que posee, pueden ayudar a solventar estos problemas y ayudar a cumplir estos objetivos.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 propuestos por el Ministerio de Derechos Sociales, Consumo y Agenda 2030 con relación a la tecnología emergente de Campos Eléctricos Pulsados son los siguientes:

► Objetivo 2: Hambre cero.

El objetivo es erradicar el hambre, garantizar la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible para garantizar que todos tengan acceso a alimentos sanos, nutritivos y adecuados, eliminando todas las formas de malnutrición. Esto incluye mejorar la producción de alimentos y todo el sistema alimentario. (Ministerio de España, 2024)

Es importante abordar las desigualdades que causan el hambre y fortalecer los servicios sociales y las redes de apoyo para prevenir el hambre. Además, las cuestiones alimentarias relacionadas con hábitos poco saludables se complementan con las metas de consumo y producción responsables (ODS 12) y educación de calidad (ODS 4), centrada en reducir el desperdicio de alimentos y educar sobre una alimentación

saludable, especialmente durante la infancia. (Ministerio de España, 2024; Wani et al., 2024)

La tecnología PEF se relaciona con este objetivo (ODS 2) ya que pueden aumentar la eficiencia de producción y la calidad nutricional de los zumos de frutas, por lo que puede contribuir a la seguridad alimentaria y a ayudar a eliminar la malnutrición.

► Objetivo 3: Salud y Bienestar.

El sistema de salud debe ser público, universal, gratuito y sostenible. Las políticas de I+D+i apoyan las estrategias de salud, incluidas medidas preventivas como la alimentación saludable y la promoción del deporte. La salud interactúa con otros Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como la reducción de la contaminación urbana y el hambre cero. El Gobierno español está estudiando la posibilidad de promulgar leyes para defender estos principios. (Ministerio de España, 2024)

Las tecnologías emergentes se pueden vincular al ODS 3 debido a que tecnologías como PEF mejoran la calidad de los alimentos al preservar mejor los nutrientes y los compuestos bioactivos, contribuyendo así a dietas más saludables de los consumidores. (Gavino Nieto, 2022)

► Objetivo 8: Trabajo decente y crecimiento.

El ODS 8 se centra en promover un crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, así como en garantizar el pleno empleo, la productividad y el trabajo decente para todos. Esto implica reducir el desempleo, mejorar las condiciones laborales y aumentar la productividad, especialmente para los jóvenes y los no cualificados.(Ministerio de España, 2024)

En España, el desempleo, especialmente entre los jóvenes, es uno de los mayores desafíos, exacerbado por una crisis económica que ha creado empleo precario, así como una mayor desigualdad y exclusión social. (Ministerio de España, 2024)

La tecnología PEF fomenta el crecimiento económico mediante la mejora de la eficiencia y la calidad en la producción de alimentos, y la generación de nuevos empleos en tecnologías innovadoras como esta.

► Objetivo 12: Producción y consumo responsable.

El ODS 12 tiene como objetivo promover patrones de consumo y producción sostenibles a través de una gestión eficiente de los recursos, la reducción de residuos y la promoción de prácticas respetuosas con el medio ambiente en el uso de productos químicos. Esto es importantísimo para la transición hacia modelos económicos y de consumo sostenibles, especialmente en los países desarrollados. En España, la estrategia se está implementando en base al marco decenal del programa sobre modos de consumo y producción sostenibles. La participación de todos los actores en la cadena de valor es esencial para lograr los objetivos del ODS 12, incluida la sensibilización y la mejora de la implementación de medidas ambientales en las organizaciones empresariales y los gobiernos.(Ministerio de España, 2024) Este objetivo repercute directamente con la tecnología que se está estudiando en el presente proyecto, ya que uno de los beneficios de los PEF que veremos posteriormente es la eficiencia energética. (Gavino Nieto, 2022)

► Objetivo 13: Acción por el clima.

El ODS 13 tiene como objetivo fomentar acciones urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos. España ha priorizado la reducción de emisiones y la adaptación al cambio climático. Esto significa avanzar hacia una economía neutra en emisiones, apoyar a los grupos vulnerables y coordinar la acción entre la administración pública, la sociedad civil y la ciencia. Sectores como la agricultura, el turismo, el agua y la energía son particularmente vulnerables y requieren especial atención a la adaptación y mitigación del clima. (Ministerio de España, 2024)

La tecnología PEF es más eficiente en términos energéticos, por lo que puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al procesamiento de alimentos adaptándose a este objetivo. (Gavino Nieto, 2022; Wani et al., 2024)

► Objetivo 15: Vida de ecosistemas.

Dada la rica diversidad natural y las vastas áreas escasamente pobladas, la gestión sostenible de los bosques, la lucha contra la desertificación, la reversión de la degradación de la tierra y la conservación de la biodiversidad son objetivos importantes para España. (Ministerio de España, 2024)

Los bosques y las zonas montañosas, destacados en la Agenda 2030, desempeñan un papel importante en el desarrollo socioeconómico, la protección ambiental y la prestación de servicios ecosistémicos esenciales, especialmente en las zonas rurales. Sin embargo, la migración de las zonas rurales a las ciudades ha creado nuevos desafíos, aumentando el riesgo de incendios forestales, plagas y enfermedades.

En relación con la tecnología PEF y gracias al procesamiento de los zumos de fruta más eficiente puede ayudar a reducir el impacto ambiental que esta industria puede causar, promoviendo así la conservación de los ecosistemas. (Wei et al., 2023)

4.3. Tipos de zumos de fruta

La problemática para conservar, almacenar y distribuir los alimentos procesados a grandes distancias hace surgir las tecnologías térmicas y no térmicas de conservación.

Estas tecnologías en condiciones óptimas hacen que nuestros alimentos procesados sean conservados manteniendo unas buenas características sensoriales, nutricionales y microbiológicas. Además, hacen que los alimentos sean de calidad, tengan una vida útil más larga, y una mayor seguridad y estabilidad microbiológica. (Figueroa-Sepúlveda et al., 2021)

Las diferentes denominaciones para los zumos de frutas se recogen dentro del Real Decreto 781/2013 por el que se establecen las normas relativas a la elaboración, etiquetado, composición, presentación y publicidad de los zumos de frutas y otros productos similares destinados al consumo humano. Estas denominaciones también se recogen dentro del Código Alimentario Español (CAE) donde se hace otra clasificación diferente a la propuesta del Real Decreto 781/2013. Las denominaciones establecidas para el Real Decreto 781/2013 son las siguientes:

1. Zumos de fruta:

Es el zumo que ha sido obtenido por procesos mecánicos a partir de frutas maduras y sanas, frescas o conservadas por refrigeración o congelación. Es un producto susceptible de fermentación por su elevada concentración de azúcares y nutrientes, pero que no ha sido fermentado. Se puede elaborar a partir de una o varias especies de frutas mezcladas, que posea el color, aroma y sabor característicos del zumo de fruta del que procede. A este tipo de zumo se le podrán reincorporar aromas, pulpa y células obtenidos por los medios físicos apropiados que procedan de la misma especie de fruta.

2. Zumos de fruta concentrado:

Es un producto obtenido a partir de zumos de frutas que se les ha eliminado una parte de agua por eliminación física. Cuando este producto esté destinado a su consumo directo, la eliminación del agua será de al menos un 50%. El proceso de fabricación de estos zumos será el adecuado para mantener las características organolépticas, nutricionales, físicas y químicas similares al zumo obtenido directamente. Se le podrán reincorporar aromas y pulpa de fruta que proceda de la misma especie.

3. Zumos de fruta a partir de concentrado:

Es el producto que ha sido obtenido al reconstruir el zumo de frutas con agua potable (esta agua debe de cumplir con los requisitos establecidos en el Real Decreto 140/2003, que establece normas sanitarias para la calidad del agua destinada al consumo humano).

Debe de tener un contenido mínimo de °Brix según el tipo de zumo del que estemos hablando. Este contenido mínimo de °Brix se encuentra especificado en el anexo V de este Real Decreto 781/2013.

El proceso de fabricación de este será adecuado para mantener las características, químicas, físicas, organolépticas y nutricionales similares al zumo obtenido directamente. Posteriormente, se podrán volver a agregar el mismo tipo de aroma y pulpa que correspondan a la misma especie de fruta (la cantidad de pulpa deberá aparecer en la etiqueta).

En la denominación de la etiqueta se puede poner «A partir de concentrado (s)» o «parcialmente a partir de concentrado (s)»

4. Zumos de fruta deshidratado/ en polvo:

Producto que es obtenido a partir de zumo por eliminación física de la práctica totalidad del agua. Este deshidratado se lleva a cabo por atomización o liofilización.

5. Néctar de fruta:

Este tipo de zumo se obtiene por adición de agua con o sin adición de azúcares y/o miel, a los zumos de frutas, al puré de frutas, y/o al puré de frutas concentrado. Deben de tener un contenido mínimo de un 25-50% de zumo y/o puré de frutas (según el tipo de néctar que se quiera elaborar). La adición de azúcar y/o miel <20% en peso.

6. Puré de fruta:

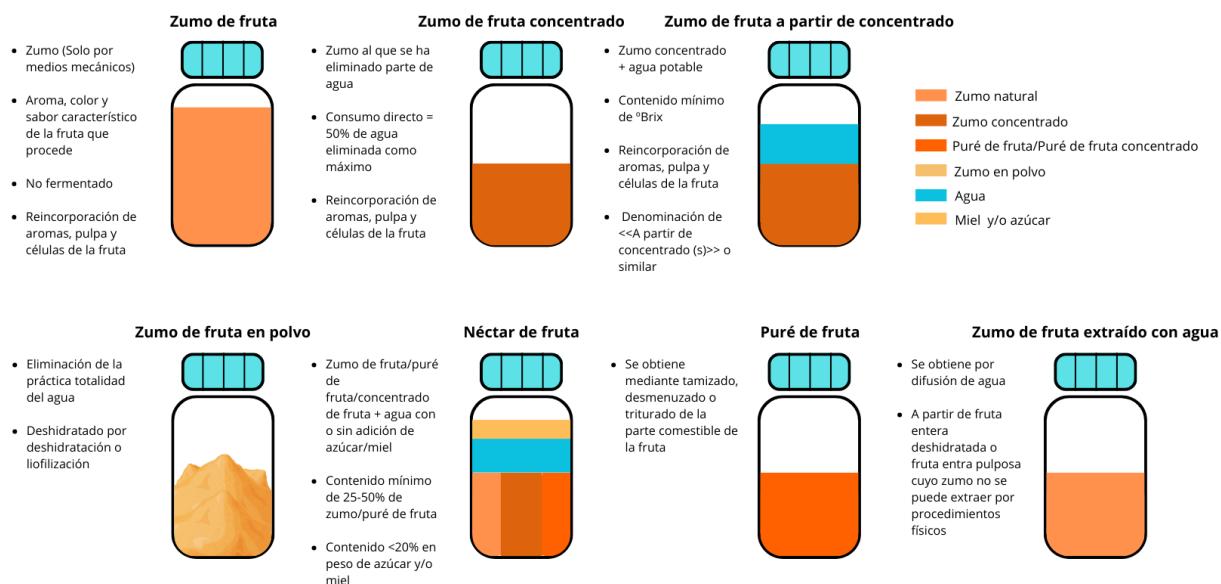
Este producto se obtiene mediante tamizado, desmenuzado o triturado de la parte comestible de las frutas.

7. Zumo de fruta extraído con agua:

Se obtiene por difusión de agua de:

- Fruta entera deshidratada
- Fruta pulposa entera cuyo zumo no puede extraerse por procedimiento físicos.

Figura 3. Diferentes tipos de zumos según el Real Decreto 781/2013



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, según el Código Alimentario Español, aun siendo un Decreto de 1967, propone una clasificación más extensa y completa de los tipos de zumos de fruta:

1. Zumos frescos de fruta:

Son zumos lavados obtenidos de frutas sanas, frescas y maduras obtenidas mediante procesos industriales homologados. No debe estar diluido ni presentar signos de fermentación. Puede corresponder al líquido solo, al líquido clarificado o a un líquido correspondiente al endocarpio y pulpa en suspensión, sin epicarpio, mesocarpio ni residuos de semillas. La pulpa está finamente dividida.

2. Zumos naturales:

Se trata de jugos frescos que han sido estabilizados mediante un procesamiento físico aprobado para garantizar su conservación. El CAE también comenta que debería de haber algún tipo de opción de fermentar este tipo de zumo.

3. Zumos conservados:

Se trata de zumos frescos o naturales a los que se les añaden conservantes y figuran en la lista positiva complementaria del Capítulo XXXIII.

4. Zumos básicos de frutas:

Se trata de productos frescos cuya conservación definitiva está asegurada mediante procesos físicos o mediante conservantes incluidos en la lista positiva complementaria del Capítulo XXXIII y que no pueden consumirse en su estado natural pero que sirven de base a otros productos.

5. Zumos concentrados:

Estos se obtienen a partir de jugos frescos o naturales extrayendo al menos el 50% del contenido de agua mediante procesos técnicos aprobados (como la evaporación) y pueden conservarse para procesos físicos posteriores. Estos concentrados deben diluirse con agua potable para recuperar su concentración original y tener las mismas propiedades que el zumo utilizado. Las leyes y reglamentos relacionados definen las denominaciones según el grado de concentración.(Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español., 1967)

6. Zumos concentrados conservados:

Se trata de zumos de frutas concentrados a los que se les han añadido conservantes y figuran en la Lista Positiva Suplementaria del Capítulo XXXIII. (Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español., 1967)

7. Zumos ligeramente azucarados:

Se trata de zumos en conserva, concentrados, frescos y naturales, a los que se les añaden algunos edulcorantes naturales permitidos. La cantidad total de edulcorantes añadidos debe ser inferior a 70 gramos de sacarosa por kg de zumo.

8. Zumos azucarados:

Se trata de zumos naturales, frescos, concentrados y conservados con un añadido de al menos 70 gramos y menos de 150 gramos de edulcorantes naturales por kilogramo de producto.

9. Zumos gasificados:

Se trata de zumos elaborados a partir de zumos de frutas predefinidos con la adición de dióxido de carbono purificado.

10. Néctares:

Son productos obtenidos a partir de jugos frescos, naturales y en conserva, con la adición de almíbares o jarabe del mismo °Brix que el jugo original, en proporciones mayores al 40% y menores al 60%. La cantidad total de azúcar expresada como sacarosa será menor al 30%. (Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español., 1967)

11. Zumos deshidratados de frutas:

Se obtiene a partir de zumo fresco con menos del 10% de contenido de agua.(Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español., 1967)

12. Crema de frutas:

El producto se obtiene triturando fruta fresca, sana, limpia y madura, que luego es sometida a homogeneización y conservación mediante procesos físicos.(Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español., 1967)

13. Crema de frutas diluida:

El producto se obtiene a partir de crema de frutas añadiendo agua, almíbar o zumo de frutas naturales y puede conservarse mediante procesos físicos.(Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español., 1967)

4.4. Composición de los zumos de fruta

Hace no muchos años surgió una estrategia nutricional denominada zumoterapia. Estrategia basada en la ingesta de frutas en forma de zumo para facilitar a la población su consumo y buscando la máxima asimilación de nutrientes, ya que en esta forma los componentes beneficiosos de los zumos de fruta tienen una mayor biodisponibilidad. (Collado González, 2011)

La biodisponibilidad según la definición FDA (Food and Drug Administration) es la velocidad y el grado en que un ingrediente de un fármaco o una porción terapéutica de un fármaco se absorbe y está disponible en su sitio de acción. (FDA, 2018)

Si extrapolamos esta definición al ámbito nutricional, es la velocidad y el grado en que un nutriente es asimilado por el organismo.

Los componentes nutricionales aportados por el consumo de frutas en general y beneficiosos para la salud del consumidor, se pueden clasificar de la siguiente manera:

► **Agua:**

Es el ingrediente principal de frutas y zumos de frutas. Las frutas suelen contener un alto porcentaje de agua; Por ejemplo, las uvas negras contienen un 90%. En el zumo de frutas, el agua constituye aproximadamente el 85 % del peso total, lo que lo convierte en una buena herramienta para mantenerse hidratado. (Collado González, 2011; FEN & Nutrición, 2019)

► **Hidratos de carbono:**

Son los nutrientes dominantes en la composición de los zumos de frutas después del agua, existiendo principalmente en forma de azúcares simples como la fructosa y la glucosa, y en formas combinadas como la sacarosa. La cantidad y el tipo de azúcar en el jugo depende del tipo de fruta utilizada, siendo el jugo de tomate, zanahoria y limón el que contiene las menores cantidades de este azúcar. Por ejemplo, las cerezas son una fruta destacada con un alto contenido de fructosa.(Abobatta, 2021; FEN & Nutrición, 2019)

► **Proteínas y grasas:**

Son componentes minoritarios de los zumos de frutas. La concentración de proteínas varía entre 0,1-1,1 g / 100 g de zumo, mientras que la concentración de grasas es inferior a 0,2 g/100 g. (FEN & Nutrición, 2019; Moreiras Tuny et al., 2016)

► **Fibra:**

Es un componente que se encuentra presente en frutas y otros alimentos, cuya cantidad puede variar significativamente según el consumo y los métodos de preparación. Generalmente está compuesta por pectina, lignina y celulosa. (Liu et al., 2012) Por ejemplo, los zumos de frutas generalmente tienen un contenido de fibra menor que la fruta entera, excepto en determinados casos como los zumos de frutos rojos, donde el contenido puede ser mayor (por ejemplo, las uvas tintas contienen 4,2 g por 100 g de producto). (FEN & Nutrición, 2019) La cantidad de fibra en el jugo depende del método de extracción y del contenido final de pulpa.

A modo de comparación, 100 g de zumo de naranja contienen sólo 0,1 g de fibra, mientras que la misma cantidad de naranja fresca aporta unos 2 g. Algunas frutas, como los arándanos, son especialmente ricas en fibra y ayudan a mejorar el tránsito intestinal. (Collado González, 2011; Vegara Gómez, 2014)

► **Ácidos orgánicos:**

Las frutas contienen ácidos orgánicos como ácido ascórbico, ácido tartárico y ácido málico. (Vegara Gómez, 2014) Estos compuestos afectan en el sabor, aroma y actúan como conservantes naturales además de proporcionar algunos efectos beneficiosos para el organismo. Por ejemplo, en las fresas distinguimos la presencia de ácido cítrico (efecto antiséptico), ácido málico, oxálico y salicílico (efecto anticoagulante y antiinflamatorio). (FEN & Nutrición, 2019)

Las frutas destacan por contener gran cantidad de vitaminas, minerales y otros que son esenciales y beneficiosos en el correcto funcionamiento del organismo, estos son los compuestos bioactivos. Los compuestos bioactivos son sustancias químicas que se encuentran en los alimentos y que tienen efectos beneficiosos para la salud. (Enriquez-Valencia et al., 2020; NIH, 2011) Un ejemplo de alimento que contiene compuestos bioactivos es la espirulina. La espirulina es un tipo de alga que contiene muchos compuestos biológicamente activos diferentes, como vitaminas, minerales, antioxidantes y especialmente proteínas. Estos compuestos bioactivos que se encuentran en la espirulina se caracterizan por su capacidad para mejorar el metabolismo de los lípidos y la glucosa, reducir la grasa almacenada en el hígado y proteger el corazón.(Malpartida Y. et al., 2022). Los compuestos bioactivos que encontramos en los zumos de frutas son los siguientes:

► **Vitaminas:**

Las vitaminas son un grupo de sustancias necesarias para el funcionamiento, crecimiento y desarrollo normal de las células. (Medline Plus, 2023) Los zumos de frutas contienen las siguientes vitaminas:

• **Vitamina C:**

Es un antioxidante soluble en agua que actúa como cofactor de diversas enzimas, reduciendo los efectos nocivos de los radicales libres y previniendo el daño oxidativo. La vitamina C tiene efectos biológicos similares tanto en su forma reducida (ácido ascórbico) como en su forma oxidada (ácido dehidroascórbico).

Participa en la formación de tejido conectivo, metabolismo de lípidos y vitaminas, síntesis de hormonas y neurotransmisores y fortalece el sistema inmunológico. (Liu et al., 2012)

Sus beneficios incluyen inhibir la oxidación de LDL en la aterosclerosis, reducir la formación de compuestos cancerígenos en el cáncer de colon, reducir el riesgo de cataratas y degeneración macular y reducir la duración y la gravedad de los resfriados mediante efectos antihistamínicos. (FEN & Nutrición, 2019)

También mejora la absorción del hierro de los alimentos. Se recomienda una ingesta diaria de 60 mg de vitamina C, que se puede conseguir mediante una dieta rica en frutas y verduras o un vaso de zumo de cítricos. Las frutas cítricas como las fresas, las naranjas y los pomelos son buenas fuentes de vitamina C.

Una naranja de tamaño mediano contiene entre 56 y 70 mg de ácido ascórbico y un vaso de zumo de naranja contiene aproximadamente 125 mg. El contenido de vitamina C en el jugo recién exprimido se mantiene estable incluso después de un almacenamiento refrigerado a corto plazo sin una pérdida significativa de rendimiento.

(Liu et al., 2012; Moreiras Tuny et al., 2016)

- **Vitamina A:**

Se puede presentar de dos formas diferentes dependiendo de si su origen es animal (retinoides o retinol) o si es de origen vegetal (carotenoides). Los carotenoides, principalmente el β-caroteno, está presente en frutas de colores intensos como melocotones, naranjas y mandarinas. Esta vitamina tiene importantes funciones antioxidantes y participa en la visión, la diferenciación celular y el sistema inmunológico. La ingesta recomendada de vitamina A es de 800 µg/día para las mujeres y 1000 µg/día para los hombres.(Liu et al., 2012; Negri Rodríguez, 2021)

- **Vitaminas del grupo B**

- **Vitamina B1 (Tiamina):**

Esta vitamina es importante para el sistema nervioso, promueve la salud del corazón y previene el beriberi. Además, es importante para el metabolismo de los carbohidratos y la producción de energía. También es un precursor del neurotransmisor acetilcolina. Los ácidos grasos esenciales son importantes para el desarrollo neuronal y la prevención de enfermedades neurodegenerativas. (Liu et al., 2012; Malpartida Y. et al., 2022)

- Vitamina B6 (Piridoxina):

Importante en la función inmunitaria y la formación de glóbulos rojos. Esta vitamina participa en el metabolismo de grasas, proteínas y carbohidratos. Además, ayuda a prevenir enfermedades cardiovasculares. (FEN & Nutrición, 2019; Liu et al., 2012)

- Vitamina B9 (Folato):

Conocida también como Ácido fólico. El ácido fólico es esencial y su deficiencia puede provocar anemia, defectos del tubo neural, problemas de regulación de la homocisteína, riesgo de cáncer de colon y deterioro cognitivo. Para los adultos se recomienda una ingesta diaria de 400 µg, dependiendo de la edad y el estado fisiológico. Los zumos de naranja y de limón son las principales fuentes alimenticias. (FEN & Nutrición, 2019)

- Vitamina B3 (Niacina):

Vitamina esencial para el correcto funcionamiento del sistema nervioso y digestivo. Presente en el metabolismo de las proteínas, carbohidratos y grasas. Además, ayuda a mantener los triglicéridos y el colesterol en niveles saludables. (Liu et al., 2012; Moreiras Tuny et al., 2016)

- Vitamina B2 (Riboflavina):

Necesaria para el desarrollo celular y por ende el crecimiento. Ayuda a mantener sana la piel, las uñas y el pelo. Participa en la producción de glóbulos rojos y en el metabolismo energético. (Liu et al., 2012)

- Vitamina B5 (Ácido pantoténico):

Participa en la producción de hormonas. (Liu et al., 2012)

► **Minerales:**

Los minerales más importantes que se encuentran en los zumos de frutas son el potasio y el magnesio. También contienen otros minerales como son el yodo, sodio, zinc, fósforo, calcio, hierro y selenio

• Magnesio:

El magnesio participa en la contracción muscular y la mineralización ósea, reduce la excitabilidad del sistema nervioso y es un activador de numerosas enzimas. Los zumos que tienen mayor concentración de magnesio son los de zanahoria, melocotón y piña. (FEN & Nutrición, 2019)

- **Potasio:**

El potasio juega un papel fundamental en el mantenimiento del equilibrio osmótico. Entre las frutas destacan por su contenido en este mineral el plátano, la uva, la naranja, la ciruela, el dátil y el melón. Los zumos de frutas con mayor contenido de potasio son los de melocotón, tomate, zumos de cítricos (mandarinas y naranjas) y zumo de uva.(FEN & Nutrición, 2019)

► **Otros compuestos bioactivos:**

- **Compuestos fenólicos:**

Poseen propiedades antiinflamatorias, cardioprotectoras y antioxidantes. Ayudan a prevenir enfermedades crónicas. Presentes en cítricos, uvas, frutos rojos, etc. (Abobatta, 2021) Algunos de estos polifenoles son resveratrol, isotiocianatos, ácidos fenólicos, flavonoides y compuestos organosulfurados.(Navarro-Cortez et al., 2022)

- **Ácidos hidroxibenzóicos:**

El ácido hidroxibenzoico, que tiene una estructura C6-C1, existe libremente o como ésteres de ácido benzoico en diversas plantas y animales. Los más importantes son el ácido gálico, el ácido p-hidroxibenzoico, el ácido protocatequiico, el ácido vainílico y el ácido siríngico. Su presencia en los alimentos es generalmente baja, pero es alta en ciertos frutos rojos, cebollas y rábanos negros. Químicamente, es un derivado del ácido hidroxibenzoico con un anillo aromático y un carbono de fenilpropanoide después de que se eliminan dos carbonos de la cadena de propano. También forman parte de estructuras complejas como los taninos hidrolizables (galotaninos) que se encuentran en mangos y frutos rojos como granadas, fresas y moras (ellagitaninos). (Collado González, 2011)

- **Ácidos hidroxicinámicos:**

Algunos de estos ácidos son el ácido clorogénico, el ácido ferúlico, el ácido p-cumárico, el ácido cafeico y el ácido sinápico se encuentran en las paredes celulares de las plantas, siendo el ácido ferúlico y el ácido p-cumárico los más comunes. Químicamente hablando, constan de un anillo aromático, un grupo alifático y un ácido carboxílico con un grupo -OH en el anillo. Debido a su baja solubilidad, está esterificado en la pared celular y es conocido por sus propiedades antioxidantes.(Collado González, 2011; Navarro-Cortez et al., 2022)

- Flavonoides:

Cumplen un rol importante mejorando la salud cardiovascular. (Abobatta, 2021) Los flavonoides también son conocidos como vitamina P, mejoran la función de la vitamina C al mejorar la absorción y proteger contra la oxidación. Estos compuestos vegetales, que dan color a muchas flores y frutos, se producen mediante vías biosintéticas mixtas. En cuanto a la estructura C6-C3-C6 y a menudo hidroxilados en muchas posiciones diferentes, los flavonoides se dividen en dos grupos: 3-hidroxiflavonoides (como los flavonoles y antocianidinas) y los no hidroxilados en la posición 3 (como las flavonas y las isoflavonas). Estos son los antioxidantes más poderosos que se encuentran en los alimentos vegetales como en las frutas y por ende en los zumos de frutas. (Collado González, 2011; Navarro-Cortez et al., 2022)

- Flavonas:

Son compuestos amarillos que se encuentran en flores como las primulas y la piel de algunas frutas como las uvas, le dan al vino blanco su color amarillento. Se caracterizan por un doble enlace en la posición 2-3 del heterociclo y un grupo carbonilo en el carbono 4. Estas moléculas carecen de un grupo hidroxilo C3. (Collado González, 2011)

- Flavanonas:

A diferencia de las flavonas, carecen de insaturación heterocíclica. Estas sustancias se encuentran en los cítricos y son las responsables de su sabor amargo, siendo las principales la naringenina, la herperitina y sus diferentes glicosilados correspondientes.(Collado González, 2011)

- Isoflavonas:

Las isoflavonas, como la genisteína y la daidzeína, son compuestos bioactivos que se unen a los receptores de estrógeno y actúan como agonistas y antagonistas. Regulan los niveles hormonales, ayuda a prevenir la osteoporosis y actúa como antioxidante que protege contra el cáncer de mama. Compiten con los estrógenos endógenos dentro de las células y reducen los efectos de la menopausia y ciertas enfermedades asociadas con el exceso de estrógenos.(Collado González, 2011)

- Flavonoles:

Los flavonoles tienen un doble enlace C2 y un grupo hidroxilo C3 en el heterociclo. Se les conoce también como agliconas. Algunos de estos flavonoles son la quercetina, el kaempferol, la miricetina y la isorhamnetina. (Collado González, 2011)

- Flavanoles:

Los principales flavanoles son la catequina y epicatequina, junto con la galocatequina y epigalocatequina. (Collado González, 2011)

- Antocianinas:

Las antocianinas son glucósidos de antocianidina, que consisten en una antocianidina (aglicona) unida a un azúcar mediante un enlace glicosídico. La estructura básica de la antocianidina es un ion flavilio, con dos grupos aromáticos: un benzopirilio y un anillo fenólico, que suele actuar como catión. En los alimentos, las agliconas libres son raras, excepto en trazas resultantes de su descomposición. De las 20 antocianidinas conocidas, las principales son pelargonidina, delphinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina, nombradas según su origen vegetal. Se combinan con varios azúcares para formar alrededor de 150 antocianinas diferentes, principalmente glucosa y ramnosa, seguidas de galactosa, xilosa y arabinosa, ocasionalmente gentiobiosa, rutinosa y soforosa, a menudo unidas en 3 y 5 como 3-O-glucósido y 3, 5 -di-O-glucósido. Se encuentran en frutas como las frutas rojas. (Abobatta, 2021; Collado González, 2011; Navarro-Cortez et al., 2022)

• Carotenoides:

La provitamina A actúa como antioxidantes que protegen las células y los tejidos del daño oxidativo. Estos incluyen α -caroteno, β -caroteno, licopeno, xantofilas, así como pigmentos liposolubles de color naranja, amarillo y rojo. (Negri Rodríguez, 2021) Además, tiene propiedades antiinflamatorias y antioxidantes que mejoran la función visual y reducen el riesgo de enfermedades metabólicas y cardiovasculares. Son especialmente importantes los carotenoides como la zeaxantina y la luteína. (Abobatta, 2021)

- Taninos:

El contenido de taninos de una fruta es crucial para su calidad, influyendo en aspectos como el color, la astringencia y el amargor. La investigación también se ha centrado en los efectos antioxidantes, antibacterianos, antiinflamatorios y anticancerígenos de los taninos. Se dividen en taninos hidrolizables (galotaninos y elagitaninos) y taninos condensados (proantocianidinas), cada uno de los cuales tiene características estructurales que influyen en sus propiedades biológicas. (Navarro-Cortez et al., 2022)

- Lignanos:

Los lignanos son metabolitos secundarios de las plantas ampliamente distribuidos en semillas de lino, calabaza, centeno y algunas bayas. Son considerados fitoestrógenos como las isoflavonas, los lignanos son convertidos por bacterias intestinales en enterolactona y enterodiol, que tienen efectos similares al estrógeno. Se investiga su potencial en la prevención del cáncer, especialmente el de mama, actuando como moduladores del estrógeno en las células. Además, se ha sugerido que los lignanos tienen efectos antioxidantes que combaten los radicales libres.(Collado González, 2011)

- Estilbenos:

Estilbeno tiene una estructura básica de 14 átomos de carbono (C6-C2-C6). El resveratrol y el piceido (un tipo de resveratrol) contenidos en las uvas y el vino llaman la atención por su valor nutricional. Estos compuestos tienen propiedades antioxidantes, anticancerígenas, cardioprotectoras, neuroprotectoras y antiinflamatorias. Los estudios en ratones han demostrado que complementar la dieta de ratones obesos con resveratrol no sólo prolonga la vida útil, sino que también contrarresta los efectos negativos de una dieta alta en calorías.

El resveratrol es el estilbeno más extendido en el reino vegetal, pero se encuentra en pequeñas cantidades en los cacahuetes, algunas bayas, las uvas (piel y semillas) y derivados como el zumo de algunas bayas y el vino. Su concentración puede aumentar debido a que son fitoalexinas, inducibles por estrés como la luz ultravioleta.(Collado González, 2011)

4.5. Comparativa de las tecnologías tradicionales en contraposición a las tecnologías emergentes

Como se ha mencionado anteriormente, lo que se busca en la industria en la actualidad es satisfacer las crecientes demandas de los consumidores. (Sulaiman et al., 2017) En los últimos años, se han producido muchos cambios en los hábitos de compra de los consumidores, estos van a reclamar alimentos visualmente atractivos, organolépticamente apetecibles, microbiológicamente seguros, con alto valor nutritivo, con una vida útil lo más extensa posible, fáciles de preparar y consumir, estables frente a factores extrínsecos e intrínsecos (cambios de humedad, temperatura, pH, efecto de la luz solar, etc.)(Lorente et al., 2011)

Desde hace décadas los científicos y tecnólogos están trabajando arduamente para asegurar la estabilidad de los componentes nutritivos y fitoquímicos presentes en las frutas durante su procesamiento y conservación, impidiendo que se modifiquen sus propiedades en la mayor parte de lo posible, manteniendo su valor nutritivo y beneficios para la salud. (Lorente et al., 2011)

Se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre el impacto ejercido por las tecnologías térmicas tradicionales durante el procesado de fruta para la elaboración de zumos de frutas. Estos trabajos de investigación han conseguido que estos productos completen sus procesados controlando diversos parámetros, como son el tiempo y la temperatura, permitiendo así la mínima destrucción de compuestos nutritivos y fitoquímicos. (Lorente et al., 2011)

Las tecnologías térmicas tradicionales más usadas dentro del ámbito de la elaboración de zumos son:

► **Pasteurización.**

Consiste en calentar los alimentos a una temperatura moderada por un tiempo específico para eliminar patógenos y reducir microorganismos, manteniendo las propiedades sensoriales. (Negri Rodríguez, 2021) existen varios tipos de pasteurización, siendo la más utilizada la HTST donde el producto se lleva a una temperatura de 72ºC durante 15 segundos. (Ellab, 2023)

► **Ultra pasteurización o temperatura ultra alta o uperización (UHT).**

Es utilizado para disminuir la cantidad de microorganismos en los alimentos, normalmente leche o zumos de frutas, sin embargo, este proceso afecta a las propiedades nutricionales y sensoriales de estos haciendo que se modifiquen. Generalmente, el tratamiento usado en matrices líquidas como es el caso de la leche y los zumos de fruta es 135-140°C durante 2-4 segundos, rápidamente seguido de un enfriamiento rápido. Este tratamiento se realiza en un sistema cerrado y continuo donde el líquido se envasa asépticamente. (RAM, 2019)

► **Esterilización.**

La esterilización térmica utiliza temperaturas más altas (más de 100°C) y tiempos más prolongados para eliminar tanto patógenos como esporas, prolongando la vida útil del alimento. (INOXMIM, 2023)

Afecta negativamente a las propiedades sensoriales y nutricionales de algunos alimentos con matrices sensibles, ya que hay muchos compuestos que son termolábiles (Negri Rodríguez, 2021)

► **Escaldado.**

Se emplea principalmente en vegetales. Consiste en calentar agua hasta el punto de ebullición para añadirles los alimentos o por acción de vapor directo sobre el alimento durante un periodo breve de tiempo. (INOXMIM, 2023) Generalmente en este tratamiento se utilizan tiempos entre 1 y menos de 10 minutos, y temperaturas entre 70-100°C. (Tigreros et al., 2021)

Por ello, se han creado tecnologías no térmicas como alternativas para preservar la calidad de los alimentos sin depender exclusivamente del calor para inactivar microorganismos. (Barbosa-Cánovas & Bermúdez-Aguirre, 2010)

Las tecnologías no térmicas son muy eficaces desde el punto de vista de mantenimiento de las características de la calidad organoléptica y nutritiva, y también desde el punto de vista de la destrucción microbiológica y enzimática en alimentos vegetales. (Lorente et al., 2011)

Algunas de estas nuevas tecnologías de procesado no térmico comúnmente estudiadas son:

► **Tratamiento con Ultrasonidos (US).**

Este tratamiento está basado en el fenómeno de cavitación. Este fenómeno ocurre por la acción de ondas que son generadas por ultrasonidos, que van a generar en un medio líquido burbujas microscópicas.(Paucar-Menacho et al., 2024) Estas burbujas dañan las paredes celulares de los microorganismos debido a que estas microburbujas oscilantes, crecen y eventualmente estallan, provocando daños físicos a los microorganismos. A este tipo de tratamiento se le suele llamar termosonicación ya que, durante su proceso, se suelen generar picos extremos de temperatura además de darse cambios bruscos de presión y formación de radicales libres de los compuestos. (Sulaiman et al., 2017) Todos estos factores les imponen un estrés físico importante a los microorganismos favoreciendo su inactivación. (Paucar-Menacho et al., 2024)

► **Tratamiento con Ultravioletas (UV).**

Este tipo de tratamiento produce radiación no ionizante con una longitud de onda de 200-280 nm y con propiedades antimicrobianas. Es ideal para el tratamiento de alimentos, ingredientes líquidos y superficies. Se usa para esterilizar y desinfectar.

El mecanismo de este tratamiento consiste en aplicar breves ráfagas de luz UV de alta intensidad a los zumos de fruta dañando el ADN de los microorganismos, sean patógenos o no, impidiendo su crecimiento y reproducción. En definitiva, inactiva los microorganismos de la matriz en la que se apliquen. (García, 2021)

► **Filtración por membrana (MF).**

Este tratamiento se centra en filtrar microorganismos a través de una membrana microporosa la cual está elaborada a base de materiales polímeros, metálicos o cerámicos. Durante la filtración por membrana se dan dos efectos importantes; el primer efecto se da en las interacciones fisicoquímicas entre los microorganismos y la membrana que pueden influir en la retención de los microorganismos y su eliminación; el segundo efecto que se da es el de tamizado, donde se retienen a los microorganismos mayores que el tamaño de poro.

Este método no es del todo selectivo, ya que no solo retiene microorganismos, sino que también puede retener biomoléculas de gran valor nutricional como vitaminas y esto repercute en la calidad del producto final. (García, 2021)

► **Irradiación.**

La irradiación de alimentos es un tratamiento que utiliza radiación ionizante para esterilizar alimentos y prolongar su vida útil. Las fuentes de energía ionizante usada en este tratamiento son los rayos gamma, los rayos X y los rayos beta. Este proceso inhibe a los microorganismos ya que inhibe su síntesis de ADN y por ende su crecimiento. Este tratamiento depende de la dosis y la longitud de onda aplicada. (García, 2021; Paucar-Menacho et al., 2024) según la OMS, esta tecnología ha demostrado ser segura para seres humanos y cuidadosa con el medioambiente, afirmando que no presenta riesgos si la dosis se encuentra entre 0,4-10 kGy (Abreviatura de kiloGray). (Paucar-Menacho et al., 2024)

► **Tratamiento por Altas presiones hidrostáticas (HPP).**

Este tratamiento está basado en aplicar presiones elevadas a productos que han sido sellados. Se suelen aplicar presiones de 40.000 – 80.000 psi durante un tiempo menor a 5 minutos, a temperaturas de entre 0-100 °C. (Hurtado Gómez, 2016) Este tratamiento permite conservar las características de los alimentos y extender su vida útil, se suele usar principalmente para conservar salsa, zumos, mermeladas y jaleas. (Paucar-Menacho et al., 2024)

Este método es capaz de inactivar esporas, microorganismos y enzimas. Este tratamiento al igual que las tecnologías PEF y las demás tecnologías emergentes, presentan altos costos de inversión y los rendimientos actualmente están limitados. (Paucar-Menacho et al., 2024)

► **Plasma frío**

Se sabe que el plasma frío mejora la calidad y seguridad de los alimentos. Este se forma aumentando la energía gaseosa del material, reorganizando así la estructura eléctrica de átomos y moléculas. En la fase gaseosa, los átomos tienen cargas positivas y negativas; Al aplicar energía, el vacío relativo entre ellos aumenta, provocando la ionización y separación de los electrones del compuesto. Este proceso continuo en el gas energético crea nubes de electrones e iones libres, formando plasma. El plasma aplicado en la industria alimentaria funciona a bajas presiones y temperaturas, lo que hace que sea efectivo para aumentar la actividad antioxidante e inactivar enzimas y microorganismos. (Paucar-Menacho et al., 2024)

El plasma frío también destaca por ser respetuoso con el medio ambiente, ya que no requiere agua ni productos químicos adicionales, no genera residuos y no deja residuos químicos. Cuando se utiliza en plantas procesadoras de alimentos, puede reducir el consumo de agua y energía debido a sus bajos requerimientos energéticos. (Paucar-Menacho et al., 2024)

► **Campos Eléctricos Pulsados (PEF).**

Esta tecnología usa pulsos de alto voltaje de corta duración. La duración puede variar entre milisegundos y microsegundos; y el voltaje de esta puede ir de 1 a 80 kV/cm. La intensidad y la duración de este método depende de la finalidad que se le dé al proceso. (Paucar-Menacho et al., 2024)

Existen tres tipos de Campos Eléctricos Pulsados según (Vivanco et al., 2021):

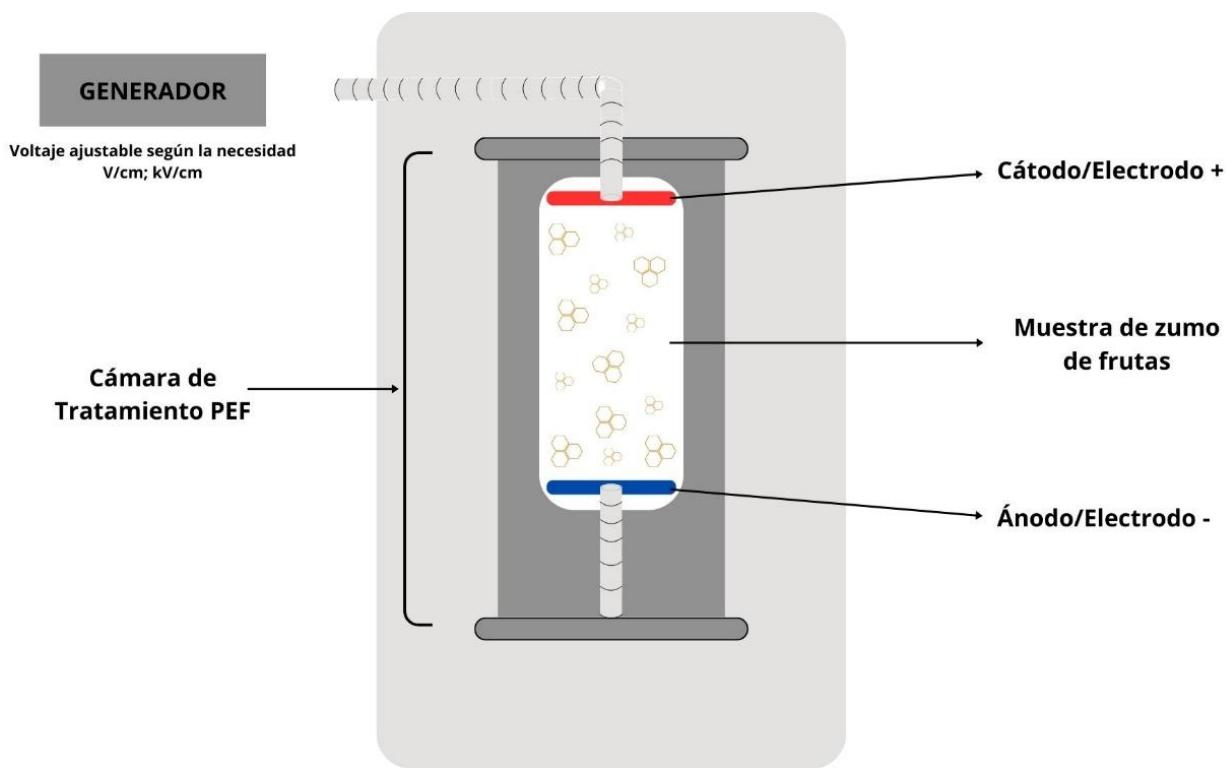
- Campo de Pulso Eléctrico de alta intensidad o HIPEF (de sus siglas en inglés High Intensity Pulsed Electric Fields), el cual abarca voltajes de 20 a 80 kV/cm
- Campo de Pulso Eléctrico de media intensidad o MIPEF (de sus siglas en inglés Medium Intensity Pulsed Electric Fields), este comprende voltajes entre 0,5 a 5 kV/cm.
- Campo de Pulso Eléctrico de baja intensidad o LIPEF (de sus siglas en inglés Low Intensity Pulsed Electric Fields), este comprende voltajes entre 2 a 5 kV/cm.

Sin embargo, según otros autores como (Afraz et al., 2024) establecen otra clasificación al operar sobre zumos de frutas:

- Campo de Pulso Eléctrico de alta intensidad o HIPEF, la energía usada es superior a 1kV/cm
- Campo de Pulso Eléctrico de media intensidad o MIPEF, la energía usada comprende valores entre 0,1 a 1 kV/cm.
- Campo de Pulso Eléctrico de baja intensidad o LIPEF el voltaje usado es inferior a 0,1 kV/cm

El procedimiento se realiza en una cámara de tratamiento equipada con dos electrodos conectados y una distancia específica entre ellos. (Vivanco et al., 2021) Se puede observar un ejemplo del diseño de esta máquina en la figura 3 «Esquema del equipo utilizado para el tratamiento de zumos de fruta mediante PEF»

Figura 4. Esquema del equipo utilizado para el tratamiento de zumos de fruta mediante PEF



Fuente: Elaboración propia a partir de (Vivanco et al., 2021)

La PEF genera inestabilidad local y tensión en la membrana celular debido a la compresión electromecánica, lo que conduce a la formación de poros en la membrana, conocido como electroporación. (Vivanco et al., 2021) La magnitud del campo eléctrico externo necesaria para alcanzar el punto de voltaje transmembrana se denomina intensidad crítica del campo eléctrico. En otras palabras, es la cantidad de energía requerida para provocar el incremento en la permeabilidad de la membrana o electroporación.(Paucar-Menacho et al., 2024; Vivanco et al., 2021)

Si la muestra está en solución, la descomposición eléctrica de las membranas celulares aumenta la permeabilidad, facilitando el paso de compuestos intracelulares a la solución circundante. (Vivanco et al., 2021)

Esta mayor permeabilidad celular mejora los procesos de transferencia de calor y masa, lo que resulta beneficioso al tratar alimentos posteriormente, como en el secado, reduciendo así la exposición al calor y la degradación de compuestos termolábiles. (Vivanco et al., 2021) Dado que la electroporación está vinculada al potencial de membrana, es importante entender que este es la diferencia de carga a ambos lados de una membrana que separa dos soluciones con diferente concentración de iones. Este

potencial puede ser alterado por un campo eléctrico externo, cuyo resultado está influenciado por la intensidad del campo, el tamaño y la forma de la célula. Cuando el campo eléctrico supera un umbral específico, se produce un fenómeno denominado electroporación. (Vivanco et al., 2021)

4.5.1. Aplicaciones de la tecnología PEF

El uso de la tecnología de campos eléctricos pulsados (PEF) se vislumbra como una herramienta altamente prometedora para extender la vida útil de frutas como la atemoya.

La atemoya es un híbrido de dos frutas, piña y chirimoya. (Chang et al., 2023) En un estudio reciente, se ha demostrado que el tratamiento con PEF, aplicado a una fuerza moderada de 50 kV/m, resulta eficaz para mitigar la pérdida de firmeza en la atemoya, lo que conlleva a un retraso en su proceso de ablandamiento durante el almacenamiento. Además, se ha observado que el PEF tiene la capacidad de desactivar enzimas clave relacionadas con la degradación de la pared celular, tales como la pectin metilesterasa y la poligalacturonasa, lo cual contribuye a preservar la integridad de los tejidos y a prevenir el oscurecimiento de la fruta. (Chang et al., 2023)

A pesar de estos prometedores resultados, es importante destacar que el uso de intensidades elevadas de campo eléctrico, como 100 kV/m, puede conllevar a daños oxidativos severos en la membrana celular de la fruta. Estos daños podrían tener consecuencias adversas en lugar de los beneficios deseados. Por lo tanto, resulta esencial encontrar un equilibrio adecuado en la aplicación de la tecnología PEF, con el fin de maximizar sus ventajas en la conservación de frutas como la atemoya. (Chang et al., 2023)

El hallazgo del estudio mencionado en el apartado anterior (Chang et al., 2023), resalta la importancia de los investigaciones para comprender mejor los efectos del PEF y de las demás tecnologías emergentes en diferentes tipos de alimentos, como los zumos de frutas, y bajo diversas condiciones de procesamiento. La optimización de los parámetros de tratamiento, como la intensidad y la duración del PEF, así como la evaluación de sus efectos a largo plazo en la calidad, seguridad alimentaria y prolongación de la vida útil de los alimentos.

4.6. Técnicas de análisis empleadas en zumos de fruta

Las determinaciones analíticas utilizadas en la industria de los zumos de fruta están recogidas dentro del Real Decreto 1518/2007, de 16 de noviembre, por el que se establecen parámetros mínimos de calidad en zumos de frutas y los métodos de análisis aplicables. (Real Decreto 1518/2007, de 16 de noviembre, por el que se establecen parámetros mínimos de calidad en zumos de frutas y los métodos de análisis aplicables, 2007) Algunas de estas determinaciones son las siguientes:

► **Análisis Fisicoquímico.**

- pH:

La medición se hace con un pH-metro y nos sirve para averiguar el grado de acidez o de basicidad de los zumos de frutas. (Hurtado Gómez, 2016)

- Sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$):

Los grados Brix se pueden definir como 1g de sacarosa/100 g de solución. (Mettler-Toledo International Inc all rights, 2024)

$$1 \ ^{\circ}\text{Brix} (\ ^{\circ}\text{Bx}) = 1 \text{ g sacarosa}/100 \text{ g solución}$$

La medición del grado Brix determina la concentración de sacarosa pura en las muestras, se suele utilizar para medir el contenido de azúcar en zumos de frutas, refrescos y otras sustancias que pueden o no tener una matriz rica en sacarosa. Hay varias formas de determinar los grados Brix, entre ellas se destacan técnicas el refractómetro, picnómetro, hidrómetro y el medidor de densidad digital. (Hurtado Gómez, 2016)

- Color:

Este análisis se lleva a cabo con un colorímetro con un adaptador de muestras líquidas. Esta determinación se puede hacer con varios parámetros, sin embargo, el más común es el sistema CIE, que se calcula en base a las coordenadas proporcionadas por el instrumento utilizado. Las coordenadas son L* (0 negro a 100 blanco), a* (-a verde, +a rojo) y b* (-b azul, +b amarillo). Por último, tenemos los parámetros C* y Hue* que se calculan en base a dos fórmulas matemáticas.(Hurtado Gómez, 2016)

- $L^*a^*b^*$
- Hue (H^*) $\rightarrow H^* = \tan - 1 * (b^*/a^*)$
- Chroma (C^*) $\rightarrow C^* = \sqrt{(a^*2 + b^*2)}$

- Acidez (g Ácido cítrico/100mL):

En este apartado se determina la acidez total del zumo de fruta del que estemos hablando. En el caso de ser un zumo de manzana se calcularía la acidez del Ácido málico debido a que este es el mayoritario en la manzana al igual que el tartárico en la uva (El zumo de uva es llamado mosto). En este caso, para calcular la acidez total de un zumo de naranja o de limón, lo calcularemos en base al Ácido cítrico ya que es el mayoritario. (Hurtado Gómez, 2016)

$$g \text{ Ácido Cítrico} = \frac{\text{peso eq. ac. cítrico} \times N \text{ NaOH} \times mL \text{ NaOH (valoración)}}{mL \text{ muestra}} \times 100$$

- Densidad (g/mL):

La densidad nos da la certeza de si el producto es real o es un fraude. Un fraude que puede ser habitual es el de adicionar agua al zumo para obtener más cantidad de producto. Para el cálculo de este parámetro se utiliza un densímetro.

- Turbidez (NTU):

Este análisis se realiza con un turbidímetro. (Hurtado Gómez, 2016)

- Transmitancia (T):

Se obtiene a partir de la medición de la muestra por espectrofotometría. Se calcula como:

$$A = \log_{10}(1/T)$$

- Viscosidad (cP):

Se usa un viscosímetro capilar Ostwald Cannon-Fenske habitualmente. (Hurtado Gómez, 2016)

- Índice de Pardeamiento (Abs)

Se obtiene a partir de la medición de la muestra por espectrofotometría. Se calcula como:

$$A = \log_{10}(1/T)$$

► Análisis Nutricional

- Vitamina C (mg/100mL):
 - Ácido ascórbico (AA)
 - Ácido Dehidroascórbico (DHAA)
- Azúcares (g/100mL):
 - Sacarosa
 - Fructosa
 - Glucosa
- Fenoles (mg equivalentes Ácido Gálico/100mL)
- Flavonoides (mg equivalentes Quercetina/100mL)

► Análisis Enzimático

- Pectin metilesterasa (u/g)
- Peroxidasa (% Actividad relativa)
- Polifenol oxidasa (% Actividad relativa)

► Análisis de la Actividad Antioxidante

- Determinación de la capacidad de reducción del ion férrico FRAP ($\mu\text{mol eq. Fe}^{2+}/100\text{mL}$):

El nombre de este método es Ferric Reducing Ability of Plasma.(Hurtado Gómez, 2016)

Este método mide la capacidad de un antioxidante para reducir el complejo de hierro $[\text{Fe}^{3+}-(\text{TPTZ})_2]^{3+}$ a la forma de hierro $[\text{Fe}^{2+}-(\text{TPTZ})_2]^{2+}$ en un medio ácido, utilizado tanto en plasma como en alimentos. Cabe destacar que los antioxidantes pueden reducir los prooxidantes, pero no necesariamente reducen el Fe^{3+} . Además, aunque todos los antioxidantes son agentes reductores, no todos los agentes reductores son antioxidantes. Una sustancia se reduce ganando electrones y se oxida perdiéndolos. El agente reductor transferirá electrones y el agente oxidante los aceptará. (Mayoral et al., 2019)

- Determinación de la actividad de captación de radicales DPPH (IC_{50}):

Este análisis recibe su nombre a partir del ensayo 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo. El método DPPH mide la capacidad antioxidante utilizando el radical DPPH, un radical de nitrógeno orgánico estable de color púrpura intenso. Esta prueba evalúa la capacidad de los antioxidantes para reducir el DPPH mediante EPR (resonancia de espín electrónico) o midiendo la reducción de su absorbancia. La prueba se basa en medir la pérdida de color del DPPH a 515 nm después de la reacción con los compuestos de prueba, observada con un espectrofotómetro. El porcentaje de DPPH restante es proporcional a la concentración de antioxidante. (Mayoral et al., 2019)

► **Análisis Microbiológicos.**

- Bacterias mesófilas
- Bacterias mesófilas ($\log \text{ufc g}^{-1}$)
- Bacterias psicrófilas ($\log \text{ufc g}^{-1}$)
- Mohos y Levaduras ($\log \text{ufc g}^{-1}$)
- *E. coli* y Coliformes ($\log \text{ufc g}^{-1}$)
- *Salmonella spp.* (Ausencia en 25 g)
- *L. monocytogenes* (Ausencia en 25 g)

► **Análisis Sensorial**

- Test Triangular
- Análisis Descriptivo (Unidades arbitrarias)

5. Marco legal

En el consiguiente epígrafe se va a realizar un resumen de aquella legislación que ha sido utilizada para la elaboración del presente proyecto.

- ▶ Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español. (Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español., 1967)
- ▶ Real Decreto 781/2013, de 11 de octubre, por el que se establecen normas relativas a la elaboración, composición, etiquetado, presentación y publicidad de los zumos de frutas y otros productos similares destinados a la alimentación humana. (Real Decreto 781/2013, de 11 de octubre, por el que se establecen normas relativas a la elaboración, composición, etiquetado, presentación y publicidad de los zumos de frutas y otros productos similares destinados a la alimentación humana., 2013)
- ▶ DIRECTIVA 2001/112/CE DEL CONSEJO de 20 de diciembre de 2001 relativa a los zumos de frutas y otros productos similares destinados a la alimentación humana.(Directiva 2001/112/CE del Consejo, de 20 de diciembre de 2001, relativa a los zumos de frutas y otros productos similares destinados a la alimentación humana, 2001)
- ▶ CXS 247-2005 Norma general para zumos (jugos) y néctares de frutas. (Norma general para zumos (jugos) y néctares de frutas CXS 247-2005 Adoptada en 2005. Enmendada en 2022., 2005)

6. Descripción de la empresa

En el presente proyecto se va a realizar sobre la empresa ficticia Don Juan S.A. perteneciente al grupo Cortex-Natura.

Es una empresa dedicada a la elaboración y comercialización de zumos naturales que ofrece una gran variedad de productos elaborados con frutas de alta calidad. Los zumos producidos en esta compañía son zumos saludables y nutritivos sin conservantes ni aditivos artificiales.

El objetivo de este proyecto será evaluar la viabilidad de implementar la tecnología de Campos Eléctricos Pulsados (PEF) para mejorar la composición y la calidad de los zumos producidos por la empresa.

Don Juan S.A. se encuentra ubicada en el área del levante español, en la Ciudad del Arte y de las Ciencias, la Ciudad de Valencia (España). Esta es una ubicación estratégica ya que facilita el acceso a materias primas frescas. De esta forma se fomenta el mercado agrícola local y la compra de productos de kilómetro 0.

La compañía Don Juan S.A. cuenta con una plantilla cualificada de 50 empleados donde se incluye el personal de producción, operativo y administrativo.

6.1. Organigrama funcional de la compañía

► **Dirección general.**

Responsables del liderazgo y gestión estratégica de la empresa.

► **Departamento de Producción.**

Encargados de elaborar y supervisar los procesos de producción de los zumos y garantizar la eficiencia y calidad de la producción.

► **Departamento de Calidad.**

Es su responsabilidad garantizar que todos los productos alimenticios cumplan con los estándares de calidad y seguridad establecidos. (Escuela Alimentaria, 2023)

► **Departamento de I+D+i.**

Este departamento es el encargado de realizar investigaciones sobre los zumos de frutas donde se desea innovar, hacer un análisis de mercado y estudios sobre tendencias con el fin de identificar oportunidades. (Escuela Alimentaria, 2023)

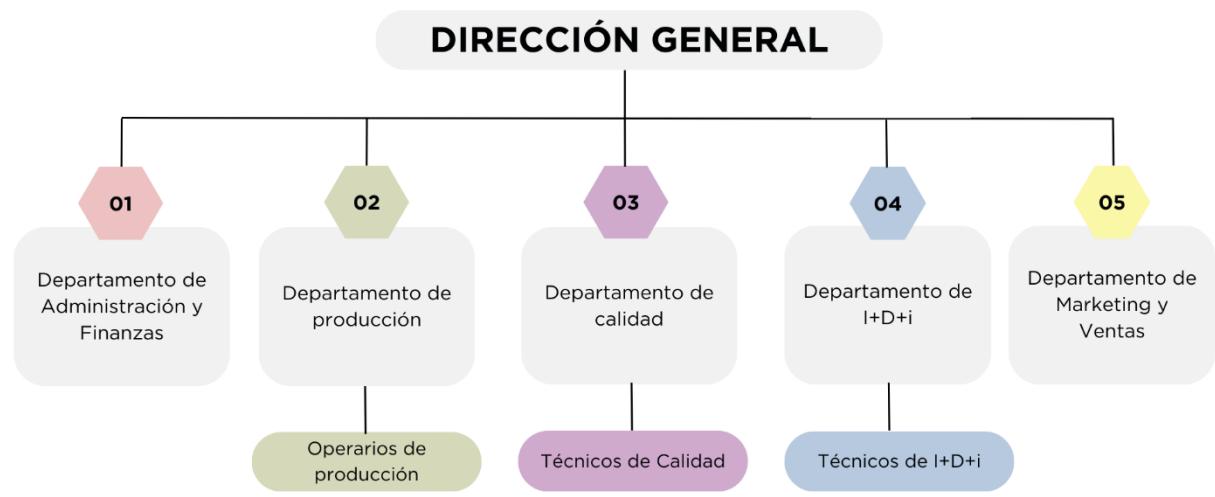
► **Departamento de Marketing y Ventas.**

Responsables de la comercialización y promoción de los productos, así como de desarrollar estrategias de marketing y mantener las relaciones con proveedores y clientes.

► **Departamento de Administración y finanzas.**

Encargados de la gestión administrativa, contable y financiera de marketing.

Figura 5. Organigrama de la empresa “Don Juan S.A.”



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 4, tenemos 3 elementos que no han sido mencionados anteriormente en los departamentos descritos.

Los técnicos de calidad se encargan de garantizar que cada uno de los zumos de fruta elaborados en Don Juan S.A. sean de calidad y seguros para su consumo realizando diversos análisis como son el análisis nutricional, análisis fisicoquímico, análisis microbiológico, análisis de la actividad antioxidante y enzimática, etc. Por otro lado, los técnicos de I+d+i juegan un papel bastante importante en la mejora y creación de productos, además son los encargados de mejorar la eficiencia de los procesos de fabricación e investigar sobre aplicabilidad de nuevas tecnologías sobre los zumos de frutas para mejorar su calidad, prolongar su vida útil y asegurar la inocuidad del producto. Cabe destacar que hay una relación muy estrecha entre ambos departamentos, ya que a menudo trabajan juntos. El departamento de calidad se encarga de garantizar que los desarrollos producidos por el departamento de I+D+i cumplan la legislación y estándares de calidad y seguridad vigentes. (Escuela Alimentaria, 2023)

Por último, se presenta la figura de los Operarios de producción, estos son los encargados de asegurarse de que el zumo de frutas sea correctamente procesado, ya que estos se encargan de todos los procesos de la línea de producción. Estos operarios han sido formados correctamente para poder mantener y asegurar las Buenas Prácticas de Higiene (BPH) y las Buenas Prácticas de Fabricación (BPF). Los operarios de producción deben de llevar correctamente todas las etapas del proceso productivo que se verán a continuación.

6.2. Etapas del proceso productivo actual de “Don Juan S.A.”

El proceso inicia con la recepción de la materia prima donde se revisa la calidad de la misma. La fruta debe de estar sana para poder entrar al proceso.

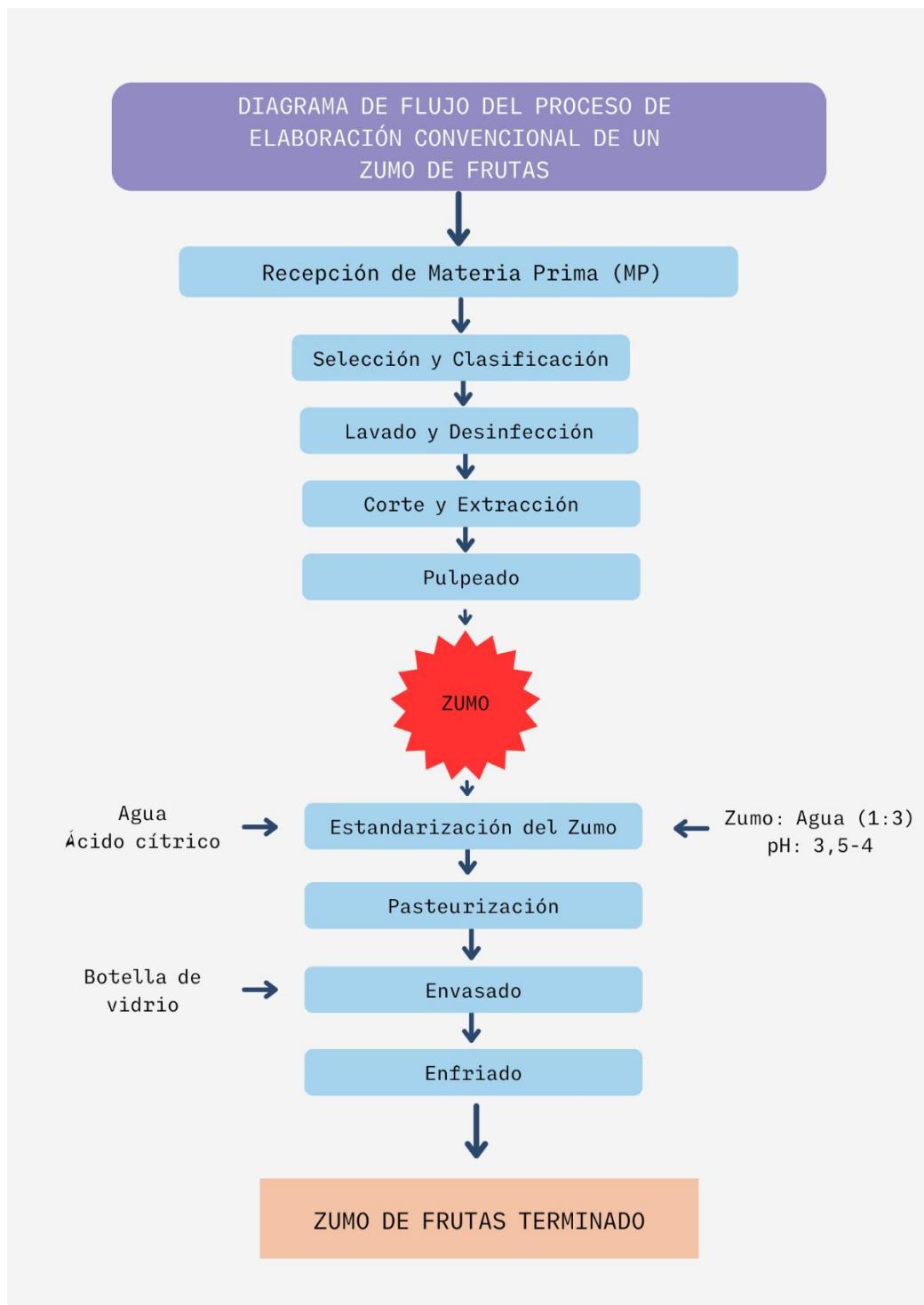
La fruta tiene que pasar por la inspección visual de los operarios, estos verifican que la calidad de la fruta es la correcta y la meten en cinta para hacerlas pasar por una serie de balanzas automáticas que clasifican las piezas de fruta según su tamaño y peso. Estas balanzas deberán estar previamente calibradas. (Chapin Patiño, 2021)

Posteriormente, la fruta ya clasificada es llevaba a un baño con agua potable con el fin de quitar todas las impurezas que pueda presentar la superficie de la fruta como puede ser polvo, tierra, hojas, ramitas, etc. Seguido de esto se realiza la desinfección de la fruta aplicando una solución desinfectante apta para frutas, como puede ser lejía de uso alimentario, que en este caso nos serviría como coadyuvante tecnológico, ya que no está presente en el producto final. (Chapin Patiño, 2021; Ramos et al., 2021)

A continuación, se procede a la extracción del zumo que dependiendo de la fruta necesita un pretratamiento u otro. El pretratamiento puede ser un pelado, troceado o triturado entre otros. Este proceso de corte y extracción de zumo se puede hacer tanto automáticamente con máquinas cortadoras de fruta, como manualmente, con cuchillos, para posteriormente, mediante un extractor de zumo industrial, realizar el exprimido de la fruta obteniendo el zumo.(Chapin Patiño, 2021) El exprimido del zumo puede ser mediante prensado suave o mediante centrifugado. (Vivanco et al., 2021) El proceso de pulpeado trata de separar la pulpa del zumo, obteniendo un zumo de fruta libre de pulpa que pasará a ser estandarizado como vemos en la figura 5, dependiendo de la formulación de ingredientes para el tipo de zumo que deseemos elaborar, se agregan, endulzantes y reguladores de la acidez. (Ramos et al., 2021)

Después de la estandarización el zumo de frutas se pasteuriza a una temperatura y un tiempo previamente establecidos que por lo general es entre 72-93ºC y 15-30 segundos. Seguidamente se homogeniza, se envasa en botella de vidrio y se deja enfriar produciéndose el cierre al vacío de la botella de vidrio por el cambio de temperaturas.

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de elaboración actual de Don Juan S.A.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Ramos et al., 2021)

6.3. Análisis y aplicación de PEF en la empresa Don Juan S.A

La empresa Don Juan S.A. está planteando cambiar el sistema actual de procesado de zumo de frutas, ya que quiere sustituir el tratamiento térmico que utilizan por la tecnología emergente de Campos Eléctricos Pulsado. Este cambio se debe a que la pasteurización afecta negativamente a la calidad sensorial y organoléptica de los zumos de fruta mientras que el PEF no.

Para la aplicación de los Campos Eléctricos Pulsados en esta etapa, el zumo recién extraído es sometido a pulsos eléctricos de alta intensidad y corta duración. Esta técnica va a inactivar la población microbiana debido a que sucede la electroporación de la membrana celular de los microorganismos existentes en el zumo. (Vivanco et al., 2021) Además, este método va a ayudar a una mejor extracción de nutrientes y compuestos bioactivos, así como mejorar la calidad sensorial del zumo. (Wang et al., 2014).

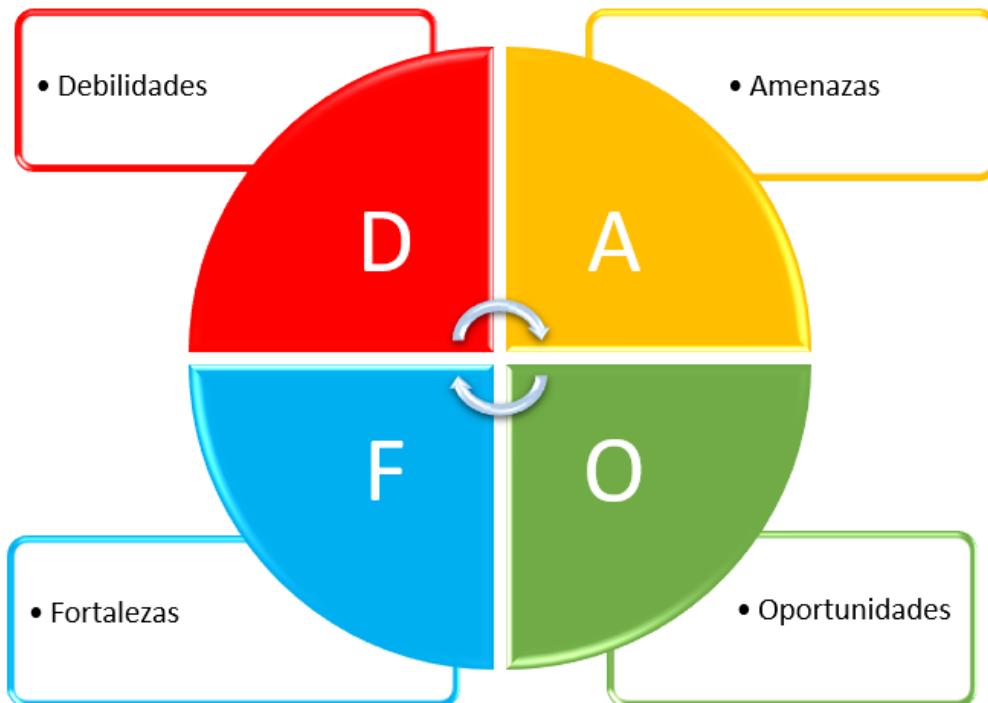
Hay que tener en cuenta que hay que investigar cómo va a afectar esta tecnología a nuestra empresa. Por ello, se va a hacer una reflexión sobre esta tecnología y posteriormente un análisis DAFO.

El primer punto que hay que matizar es que esta tecnología tiene un coste inicial muy alto, ya que requiere de tecnología que aún está siendo investigada. Además, se necesitarán pruebas y ajustes para optimizar los parámetros de PEF y garantizar resultados satisfactorios con respecto a las conservación y/o mejoría de las propiedades nutricionales y organolépticas del zumo. Por último, será muy importante educar a los consumidores, habrá que comunicarles los beneficios de la tecnología PEF para que no genere rechazo en el mercado al igual que la tecnología emergente de irradiación.

Con esta propuesta, Don Juan S.A. puede evaluar la viabilidad de invertir en la tecnología PEF para mejorar la calidad y la composición de sus productos.

Análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) con respecto al uso de la tecnología de Campos Eléctricos Pulsados (PEF) en Don Juan S.A.:

Figura 7. Estructura del análisis DAFO



Fuente: Elaboración propia.

► **Debilidades.**

- Inversión Inicial Alta:

La adquisición e implementación de equipos de PEF requiere una inversión significativa que puede afectar la liquidez inicial de la empresa.

- Necesidad de Capacitación:

El personal requerirá capacitación especializada para operar y mantener los equipos de PEF, lo que podría requerir recursos adicionales y tiempo.

► **Amenazas.**

- Competencia:

Otras empresas en el mercado podrían adoptar también tecnologías innovadoras, lo que podría reducir la ventaja competitiva de Don Juan S.A.

- Regulaciones y Normativas:

Cambios en las regulaciones alimentarias o normativas de seguridad podrían afectar la viabilidad de la tecnología PEF o imponer restricciones adicionales.

► **Fortalezas.**

- Diferenciación en el Mercado:

La adopción de la tecnología PEF permitirá a la empresa diferenciarse en el mercado al ofrecer zumos con mayor calidad y valor nutricional.

- Innovación Tecnológica:

La implementación de tecnologías emergentes demuestra el compromiso de la empresa con la innovación y la mejora continua, lo que puede generar una imagen positiva entre los consumidores.

► **Oportunidades**

- Demandas del Mercado:

Existe una creciente demanda de productos alimenticios más saludables y naturales, lo que brinda una oportunidad para Don Juan S.A. para posicionarse como líder en este segmento.

- Expansión de la Gama de Productos:

La tecnología PEF puede abrir nuevas posibilidades para la creación de productos innovadores, como zumos funcionales o con perfiles de sabor únicos, que pueden atraer a nuevos segmentos de consumidores.

Conclusiones:

A pesar de los desafíos asociados con la implementación de la tecnología PEF, Don Juan S.A. tiene la oportunidad de mejorar su posición competitiva y satisfacer las demandas del mercado mediante la adopción de esta tecnología.

La empresa debe considerar cuidadosamente los aspectos financieros, logísticos y regulatorios antes de proceder, pero en general, la tecnología PEF presenta más ventajas y oportunidades que riesgos significativos.

7. Metodología

En la presente metodología del TFM sobre la aplicación de Campos Eléctricos Pulsados (PEF) en zumos de fruta, se seguirá un enfoque detallado y sistemático en el cual se detallarán los pasos específicos a seguir, las técnicas e instrumentos a emplear.

7.1. Revisión bibliográfica

El paso inicial en todo trabajo bibliográfico es iniciar con una exhaustiva revisión bibliográfica.

Por tanto, lo primero que se deberá hacer es definir los términos de búsqueda que emplearán y definir el alcance que se esperará en el proyecto. Las palabra clave que se emplearán en la búsqueda de información bibliográfica serán las siguientes “PEF” “tecnologías no térmicas de conservación”, “Campos eléctricos Pulsados sobre matrices líquidas”, “tratamiento térmico en zumos de fruta”, “problemática en métodos térmicos de conservación”, “calidad de los zumos de fruta”, “identificación de compuestos bioactivos en zumos de frutas”, “técnicas analíticas en zumos de fruta”, “pasteurización en zumos”, “análisis sensorial en zumos de fruta”, así como sus homólogos traducidos al inglés, “non-thermal conservation technologies”, “Pulsed electric fields on liquid matrices”, “thermal treatment in fruit juices”, “problems in thermal conservation methods”, “quality of fruit juices”, “identification of bioactive compounds in fruit juices”, “analytical techniques in fruit juices”, “pasteurization in juices”, “sensory analysis in fruit juices”

Se realizarán búsquedas en las bases de datos científicas y académicas más relevantes como son PubMed, Scopus, Google Scholar, Web Of Science, Dialnet, Scielo, Elsevier, así como una revisión bibliográfica de los repositorios digitales de distintas universidades, principalmente, el repositorio digital de la universidad de la Rioja. Durante la búsqueda de información se realizarán ajustes en los parámetros de búsqueda para la obtención de los artículos más relevantes para el presente proyecto.

La principal acotación de búsqueda será por fecha de publicación, la cual se limitará a artículos posteriores a 2010, esto se debe a que el mundo de la ciencia está en constante evolución, por tanto, los artículos anteriores a 2010 quedarán descartados, a excepción de algunos artículos, Decretos o legislación vigente importante como son el Código Alimentario Español y las directrices del Codex Alimentarius.

Durante la selección de los artículos se priorizarán los estudios más recientes y revisiones de alta calidad que presenten análisis en profundidad de los efectos de las tecnologías PEF en zumos de fruta.

Por último, se utilizará un software de gestión bibliográfica llamado Zotero. Esta herramienta se utilizará principalmente para categorizar y anotar artículos clave para el desarrollo del proyecto.

En resumen, para la elaboración del proyecto en cuestión de bibliografía se utilizarán los siguientes instrumentos:

- ▶ Software de Gestión bibliográfica: Zotero
- ▶ Bases de datos: PubMed, Scopus, Google Scholar, Web Of Science, Dialnet, Scielo, Elsevier y ReUNIR.

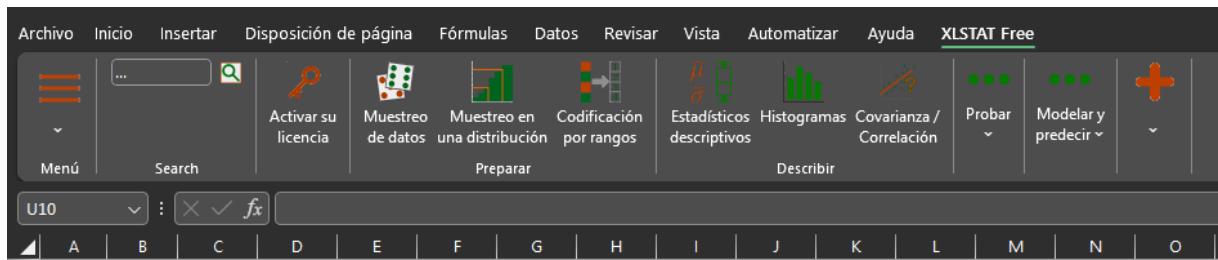
7.2. Análisis crítico de los estudios existentes seleccionados

En esta metodología de trabajo se efectuará un análisis crítico de los estudios existentes seleccionados según el método de búsqueda antes mencionado. Para ello, se procederá al análisis y discriminación de los artículos reportados en la elaboración del proyecto. Este trabajo consistirá en analizar los artículos seleccionados para identificar los problemas reportados con métodos térmicos, como son la degradación de nutrientes (vitaminas y antioxidantes), cambios organolépticos (sabor, color y aroma) y reducción de la vida útil.

Posteriormente se realizará una comparación de los resultados de diferentes estudios para evaluar la consistencia de los problemas reportados y establecer un marco de referencia sobre los efectos adversos comunes. Por último, se procederá a la determinación de los factores críticos de los problemas observados, tales como la temperatura y duración de los tratamientos térmicos, la composición del zumo y la presencia de compuestos sensibles al calor.

Los instrumentos usados en este apartado son matrices comparativas: comúnmente conocidas como tablas comparativas que permitirán una compresión profunda de los datos aportados. También se usarán Softwares como XLSTAT para la realización de un análisis cuantitativo y cualitativo de los datos. Esta herramienta se encuentra integrada en Excel como vemos en la siguiente figura.

Figura 8. Software XLSTAT integrado en Excel como matriz comparativa



Fuente: Elaboración propia

El XLSTAT es un software fácil de usar que automatiza el procesamiento de datos y facilita la interpretación de la información necesaria para proyectos de investigación. Este software cuenta con varias modalidades dependiendo del uso específico que se le vaya a dar a dicho software, en concreto, durante la elaboración de este proyecto, se va a utilizar la modalidad de XLSTAT Sensory. (Lumivero, 2024)

XLSTAT Sensory es una parte del software encargada de aportar soluciones a los analistas de datos sensoriales, ya que está especializado en Análisis de Paneles de CATA, Pruebas de Discriminación, Mapeo de Preferencias Sensoriales, etc. Este software tiene herramientas que van desde el análisis multifactorial hasta caracterización de productos y análisis de paneles de cata. (Lumivero, 2024)

El presente proyecto va a utilizar este software para analizar un estudio sensorial con un panel de cata ficticio en el que se elaborará un gráfico didáctico denominado “gráfico de araña” para exponer los resultados hallados por cada atributo sensorial mencionado en dicho estudio.

8. Resultados y discusión

En este apartado se mostrarán los resultados obtenidos del tema del proyecto «Aplicación de los Campos de Pulso Eléctricos (PEF) sobre zumos de fruta». En primer lugar, se ofrecerá una comparativa detallada entre métodos convencionales de conservación y las tecnologías no térmicas de conservación mediante el uso de tablas enfocándonos en las capacidades de estas en inactivar microorganismos, conservar las propiedades organolépticas y nutricionales de los zumos de fruta. Por otro lado, se mostrará el trabajo de investigación en la tecnología de Campos Eléctricos Pulsados sobre los compuestos bioactivos y extensión de la vida útil de los zumos de fruta. Además, en este apartado se hará una propuesta para optimizar el contenido de antioxidantes en zumos de fruta mediante el diseño y la aplicación de métodos innovadores en contraposición a los métodos convencionales. Por último, se analizará un estudio realizado por la empresa Don Juan S.A. con un panel de cata entrenado para evaluar la calidad organoléptica de los zumos de fruta que han sido tratados con diferentes tecnologías tanto convencionales como innovadoras.

8.1. Comparativa entre los métodos tradicionales más usados en la industria de los zumos de fruta y los métodos innovadores

Tal y como se desglosa en el marco teórico, en este apartado, se va a hacer una comparativa entre los tratamientos térmicos y no térmicos de conservación.

La revisión exhaustiva de estudios referentes a las tecnologías no térmicas y métodos tradicionales más usados en la industria de los zumos de fruta, ha permitido la elaboración de la siguiente tabla comparativa donde se podrán observar cómo afectan las tecnologías mencionadas a los zumos de fruta en función de la inactivación de microorganismos, influencia a la conservación de las propiedades organolépticas, al impacto causado en la conservación de propiedades nutricionales y a la afección de la vida útil de este alimento.

Tabla 1. Comparativa entre tecnologías emergentes y métodos tradicionales de conservación

PROPIEDADES AFECTADAS	TECNOLOGÍAS						
	Altas presiones hidrostáticas	Pasteurización convencional	Plasma frío	Esterilización	Campos Eléctricos Pulsados (PEF)	Luz UV	Irradiación
Inactivación de microorganismos	Buena efectividad	Buena efectividad	Buena efectividad	Excelente efectividad	Buena efectividad	Buena efectividad	Buena efectividad
Conservación de propiedades nutricionales	Mejor conservación de vitaminas y compuestos bioactivos	Pérdida parcial de vitaminas y compuestos bioactivos	Mejor conservación de compuestos bioactivos	Mayor pérdida de vitaminas y compuestos bioactivos	Mejor conservación de vitaminas y compuestos bioactivos	Puede afectar compuestos bioactivos	Puede afectar compuestos bioactivos
Conservación de propiedades organolépticas	Mejor conservación del color, sabor y aroma	Pérdida parcial de color, sabor y aroma	Mejor conservación del color, sabor y aroma	Mayor pérdida de color, sabor y aroma	Mejor conservación del color, sabor y aroma	Puede afectar color y sabor	Puede afectar color y sabor
Extensión de la vida útil	Extensión moderada a alta	Extensión moderada	Extensión moderada a alta	Extensión alta	Extensión moderada a alta	Extensión moderada a alta	Extensión moderada a alta

Fuente. Elaboración propia a partir de (Roobab et al., 2022; Šalaševičius et al., 2023; Timmermans et al., 2022; Vivanco et al., 2021)

Esta tabla ha permitido una visión más amplia al permitir de una forma simple la comparación de estas tecnologías. En esta tabla se valoran las tecnologías en función del grado en el que influyen sobre las distintas propiedades mencionadas; apreciando en color verde sus ventajas, en color rojo sus inconvenientes y en amarillo sus limitaciones. Esto nos permite hacer una clasificación general sobre la técnica o método que mejor se va a adaptar a la producción de los zumos de fruta con respecto a los valores que se representan en la tabla sin tener en cuenta otros factores como pueden ser los factores económicos o los factores de sostenibilidad.

Para la elaboración de la tabla se han revisado diversos artículos, algunos de estos artículos son los siguientes: (Li et al., 2021; Roobab et al., 2022; Šalaševičius et al., 2023; Timmermans et al., 2022; Vivanco et al., 2021) entre otros.

Como se puede observar en la tabla 1, las mejores tecnologías para la conservación de las propiedades nutricionales y organolépticas, la inactivación de los microorganismos y extensión de la vida útil, son las tecnologías emergentes de Campos Eléctricos Pulsados y Altas Presiones Hidrostáticas, esto es debido que tras el análisis de cada una son las que más ventajas conllevan.

Sin embargo, también se ha de comentar que estas tecnologías necesitan ser aún investigadas para llevarlas a un ámbito industrial. Aunque hay algunos estudios como «Tecnología emergente: Campo de pulsos eléctricos (PEF) para el tratamiento de alimentos y su efecto en el contenido de antioxidantes» de (Vivanco et al., 2021) que apuntan que estas tecnologías se están utilizando ya a escala industrial. En el estudio mencionado se dan datos precisos sobre los parámetros tecnológicos que se pueden usar en el caso de la tecnología PEF, los cuales son los siguientes:

- ▶ La intensidad del campo eléctrico debe oscilar entre 10 y 20 kV/cm, sin embargo, también menciona que hay estudios científicos que establecen el rango de 15-40 kV/cm
- ▶ Los pulsos que se deben aplicar son de 20 μ s hasta 2000 μ s

Cabe destacar que estos datos son generales y hay que modificar estos parámetros en función del alimento del que se esté hablando.

Por otro lado, un motivo por el que destacar la tecnología PEF, aparte de conservar excelentemente los compuestos bioactivos, es por sus efectos sobre las membranas celulares de los microorganismos. El PEF actúa sobre las membranas celulares induciendo la formación de poros mediante la aplicación de pulsos eléctricos de alta intensidad. Estos poros permiten la liberación de componentes intracelulares sin comprometer la integridad de toda la célula. La formación de poros en las membranas celulares se produce mediante la interacción de impulsos eléctricos con lípidos y proteínas de la membrana, lo que provoca cambios temporales en su estructura y permeabilidad. Además, se ha observado que el PEF genera un gradiente de potencial a través de la membrana celular, que puede afectar la distribución de iones y moléculas dentro de la célula. (Afraz et al., 2024; Wani et al., 2024)

Tales cambios de potencial pueden provocar reacciones bioquímicas y fisiológicas dentro de la célula, que a su vez pueden afectar la liberación de compuestos intracelulares y la calidad de los productos obtenidos mediante este proceso. (Wani et al., 2024)

En la siguiente tabla tenemos un cuadro donde se desarrollan las ventajas y limitaciones algunas de las tecnologías emergentes no térmicas:

Tabla 2. Tecnologías emergentes no térmicas, ventajas y limitaciones

Tecnología	Ventajas	Limitaciones
Ultrasonido	<p>Reducir la pérdida de producto.</p> <p>Efectos sobre células vegetativas, esporas y enzimas.</p> <p>Reducción de temperatura y tiempo de procesamiento.</p> <p>La estructura y textura del producto cambiará.</p> <p>Alta eficiencia y bajo consumo energético. Operación por lotes (discontinua) o continua.</p> <p>Mejora la transferencia de calor y la calidad sensorial. Mejora el</p>	<p>La profundidad de penetración está influenciada por los sólidos y el aire presentes en el producto.</p> <p>Los radicales libres pueden causar daños.</p> <p>Cambio no deseado en la estructura y textura de los alimentos.</p> <p>Debe combinarse con otros procesos, como el calentamiento.</p> <p>Tiene el potencial de degradar compuestos fenólicos y vitaminas, además de provocar cambios de color y pérdida de antocianinas.</p>

	<p>color y reduce la pérdida de componentes volátiles.</p> <p>Mejora de la velocidad de procesamiento en diversos procesos industriales.</p>	<p>Se necesita un diseño especial para diferentes matrices alimentarias</p>
Plasma frío	<p>Tiene alta eficiencia en la inactivación de microorganismos a bajas temperaturas (10-50°C) y extiende la vida útil de los alimentos.</p> <p>Es compatible con la mayoría de los envases y atmósferas protectoras existentes.</p> <p>Las especies activas del plasma son altamente difusas y de acción rápida, alcanzando toda la superficie del alimento.</p> <p>Generalmente el impacto en la matriz del producto es insignificante, reduciéndose el uso de conservantes.</p> <p>La ausencia de químicos y las altas temperaturas inactivan algunos microorganismos productores de micotoxinas, asegurando una alta calidad y preservando las propiedades de los alimentos.</p>	<p>Es difícil controlar con precisión la química de las reacciones del plasma gaseoso.</p> <p>Este proceso puede resultar caro si se utilizan gases nobles.</p> <p>Se pueden generar gases nocivos.</p> <p>Se requieren medidas de seguridad adicionales cuando la generación de plasma se produce a voltajes muy altos.</p> <p>Las características de color del producto pueden variar.</p> <p>Dificultad para manipular alimentos voluminosos o de forma irregular.</p> <p>La capacidad de retención de agua de algunos alimentos se reduce.</p> <p>La producción de productos de oxidación primaria aumenta, lo que hace que los lípidos sean más susceptibles a la oxidación.</p>
Campos eléctricos pulsados	<p>Evita altas temperaturas y largos tiempos de procesamiento.</p> <p>Puede mejorar o reemplazar los métodos tradicionales de</p>	<p>Se necesitan más esfuerzos de investigación para abordar los desafíos de construir sistemas más grandes.</p>

	<p>procesamiento de alimentos preservando al mismo tiempo la calidad sensorial y nutricional.</p> <p>Permite el procesamiento de diversos alimentos, la inactivación de microorganismos, la extracción de ingredientes activos y la modificación de biopolímeros.</p> <p>Presenta un consumo de energía eficiente para mantener baja la temperatura de los alimentos procesados y garantizar la calidad y seguridad de los alimentos.</p> <p>Mejora la eficiencia y el rendimiento del proceso de extracción del zumo de fruta.</p>	<p>Depende de varios parámetros del proceso, como la intensidad del campo eléctrico, el tiempo de procesamiento, la energía específica, la forma y el ancho del pulso, la frecuencia y la temperatura.</p> <p>Cada tipo de alimento puede requerir ajustes de parámetros específicos para lograr los mejores resultados, lo que puede dificultar la aplicación universal.</p> <p>Los productos de alta conductividad tienen limitaciones.</p> <p>La formación de poros en la membrana celular puede provocar una electroporación irreversible, provocando la muerte celular.</p> <p>Las fluctuaciones en la resistencia eléctrica de los alimentos sólidos pueden provocar una falta de uniformidad en el área tratada.</p>
Altas presiones	<p>No rompe enlaces covalentes, ayudando a evitar el desarrollo de aromas extraños al producto, conservando su aroma natural.</p> <p>Inactiva los microorganismos, bacterias, virus e insectos presentes en alimentos.</p> <p>Reducir el tiempo de procesamiento.</p> <p>Uniformidad durante todo el tratamiento del alimento.</p> <p>Posibilidad de cambiar la textura deseada.</p>	<p>Tiene poco efecto sobre la actividad enzimática de los alimentos.</p> <p>Los alimentos deben contener aproximadamente un 40% de agua libre para conseguir un efecto antibacteriano.</p> <p>Procesamiento por lotes.</p> <p>Las enzimas alimentarias y las esporas bacterianas son muy resistentes a la presión y requieren una presión muy alta para inactivarse.</p> <p>El costo inicial de implementar el sistema aún puede ser una consideración para algunas aplicaciones.</p>

	<p>Capacidades de manipulación de embalajes.</p> <p>Capacidad para reducir o eliminar conservantes químicos.</p> <p>Es independiente del tiempo/volumen por lo que funciona inmediatamente, reduciendo el tiempo de procesamiento.</p> <p>Se puede aplicar a temperatura ambiente, lo que reduce el consumo energético y no produce residuos.</p>	
Irradiación	<p>Excelente penetración en los alimentos. Aprobado en varios países.</p> <p>Casi no hay deterioro en la calidad de los alimentos.</p> <p>Adecuado para producción a gran escala. Los costos de energía son bajos.</p> <p>Inactiva microorganismos, bacterias, virus e insectos en los alimentos.</p> <p>La irradiación de alimentos puede reducir su alergenicidad sin provocar cambios dramáticos en la calidad nutricional.</p> <p>Disminución del contenido nutricional en los alimentos.</p>	<p>Algunos consumidores tienen la percepción negativa de que los alimentos irradiados pueden representar un peligro para la salud.</p> <p>Puede provocar cambios en la composición de los alimentos, como reducción del contenido de vitaminas o cambios en los ácidos grasos.</p> <p>Dosis más altas de irradiación pueden afectar las propiedades sensoriales de los alimentos, como el sabor, el olor y la textura.</p> <p>El equipo requerido puede tener costos iniciales y operativos significativos.</p> <p>Aunque eficaz en muchos casos, la irradiación puede no ser la opción más adecuada para todos los alimentos</p>

	<p>Organizaciones internacionales como la OMS, el OIEA y la FAO recomiendan la irradiación de alimentos.</p>
Luz ultravioleta	<p>Desinfección rápida de superficies, materiales y alimentos en aplicaciones industriales.</p> <p>Eficaz para reducir la carga microbiana en los alimentos, contribuyendo así a garantizar la seguridad alimentaria.</p> <p>Tratamiento rápido y altamente eficaz en la inactivación de microorganismos.</p> <p>Amplio espectro de aplicaciones</p> <p>Con un espectro que incluye luz infrarroja, visible y ultravioleta, es versátil para diferentes aplicaciones y tipos de productos.</p> <p>Permite transformar productos frescos conservando las cualidades organolépticas.</p> <p>No deja residuos químicos nocivos para los humanos.</p> <p>Se puede combinar con otros métodos de esterilización, mejorando su eficacia y versatilidad.</p> <p>La eficacia está relacionada con condiciones como la fuente de luz ultravioleta, el número de pulsos y el tipo de microorganismo.</p> <p>Algunas cepas pueden presentar resistencia, lo que afecta la eficacia de la técnica.</p> <p>La composición de la superficie puede afectar el rendimiento, particularmente debido a factores como la rugosidad y la porosidad.</p> <p>Para lograr resultados óptimos, es necesaria una cuidadosa optimización de factores como la intensidad de la luz, la distancia y el tiempo de tratamiento.</p> <p>Los tratamientos con altas frecuencias o una gran cantidad de pulsos pueden causar que las muestras se sobrecalienten, afectando el contenido nutricional, el color y las propiedades sensoriales.</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de (Paucar-Menacho et al., 2024)

En la tabla 2 se pueden apreciar las ventajas y limitaciones de algunas de las principales tecnologías emergentes no térmicas de conservación pudiendo así profundizar en sus diferentes aspectos de uso. Por último, en la siguiente tabla, se puede apreciar un resumen comparativo entre las tecnologías no térmicas, apreciando en color verde sus ventajas, en color rojo sus inconvenientes y en amarillo sus limitaciones en ciertos ámbitos:

Tabla 3. Comparativa de las principales tecnologías no térmicas de conservación

	UV	PEF	HPP	Irradiación
¿Puede aplicarse a bebidas?	Si, pero solo a bebidas claras	Si	Si	No autorizado
¿Puede aplicarse a alimentos sólidos?	Si, solo para descontaminar su superficie	Si, pero no para su conservación	Si	Si
100% no térmica	Si	No (a veces supera los 55°C)	Si	Si
Proceso continuo	Si	Si	No	No
Implementación en la industria	Más de 400 empresas de América para sidra y zumos	Menos de 10 empresas de zumos	Más de 300 empresas a nivel mundial	Empresas de maquila
Regulaciones	Si	Aprobada por FDA, pero aún no como Novel Food en UE	Aprobada en FDA, USDA, EU	Aplicación limitada en EEUU (especias principalmente y carne), mercado limitado en Europa

Fuente: Elaboración propia a partir de (García, 2021)

Como se puede observar en la tabla 3, todas estas tecnologías pueden ser muy útiles en diferentes ámbitos, sin embargo, en este proyecto se está hablando de zumos de frutas, por lo que la tecnología de irradiación al no estar autorizada en bebidas en la Unión Europea queda descartada en el mercado europeo de zumos de frutas. Por otro lado, la tecnología de luz UV también está limitada en ciertos tipos de bebidas, ya que solo se pueden aplicar en bebidas claras, es decir transparentes, por tanto, esta tecnología no es aplicable en la mayoría de los zumos de fruta puesto que la mayoría de los zumos frescos de fruta contienen sustancias en suspensión que hacen que este tipo de líquidos no sean transparentes. Por último, las tecnologías PEF y HPP son las más aplicables, ya que a penas presentan limitaciones con respecto a su aplicabilidad en los zumos de fruta.

8.2. Propuesta para prolongar el contenido de antioxidantes en zumos mediante el diseño y la aplicación de métodos innovadores

El consumo de jugo de frutas es una fuente importante de antioxidantes en la dieta humana, lo que ayuda a prevenir enfermedades crónicas y mantener la salud general.

Sin embargo, los métodos de procesamiento tradicionales, como la esterilización por calor, pueden degradar estos compuestos beneficiosos y reducir el valor nutricional del producto final.

En respuesta a este desafío, han surgido nuevas tecnologías no térmicas, como los campos eléctricos pulsados (PEF) y la alta presión hidrostática (HPP), como alternativas prometedoras para conservar nutrientes sensibles al calor.

Este proyecto propone una combinación innovadora de PEF y HPP y otras nuevas tecnologías como ultrasonido, plasma frío y luz UV, con el objetivo de optimizar el contenido de antioxidantes de los zumos de frutas.

La implementación de la tecnología de Campos Eléctricos Pulsados, como se ha mencionado en otros epígrafes del proyecto, presenta numerosos beneficios en la producción de zumos de frutas. Entre estos beneficios destaca la retención de la calidad nutricional de los zumos de frutas debido a que se minimiza la exposición de los zumos al calor por lo que evita que se degraden vitaminas y otros nutrientes termolábiles, permitiendo también que el sabor y el

aroma permanezcan prácticamente inalterados. Además, otro de los beneficios que supone esta tecnología, como se comenta en el artículo «Applications of Innovative Non-Thermal Pulsed Electric Field Technology in Developing Safer and Healthier Fruit Juices», es la inactivación eficaz de las principales enzimas endógenas de los zumos de frutas responsables de la degradación de los mismos con el paso del tiempo, estas son las enzimas peroxidasa (POD), polifenol oxidasa (PPO), β -glucosidasa (β -GLUC), pectin metilesterasa (PME), poligalacturonasa (PG) y lipoxigenasa (LOX). Estas enzimas causan alteraciones en el color, sabor, textura y contenido nutricional de los zumos de frutas. (Roobab et al., 2022) Por otro lado, también se sabe que los PEF combinan los fenómenos de electroporación y electroporación de las membranas celulares y pueden eliminar a los microorganismos patógenos aplicando pulsos eléctricos de corta duración como 10-80kV/cm en 1-100 μ s.(Roobab et al., 2022; Vivanco et al., 2021)

En la siguiente tabla se pueden observar los diferentes efectos de la tecnología PEF en combinación con otras tecnologías no térmicas sobre las enzimas de los diferentes zumos de fruta:

Tabla 4. Efectos de PEF combinado con otras tecnologías sobre diferentes enzimas

Muestra de zumo	Enzimas	Tratamiento	Diseño experimental	Efecto observado
Frambuesa roja (<i>R. strigosus</i>) y arándano (<i>V. corymbosum</i>)	PPO	PEF+US	PEF: 600 Hz, 25 kV durante 66 μ s. PEF+US: 600 Hz, 25 kV durante 66 μ s, 24 kHz durante 20 min; US, 24 kHz, 400 W, 20 min	Reducción significativa ($p < 0,01$) de la actividad de PPO tanto en frambuesa como en arándano.
Naranja	PME	PEF+TS	PEF: 30kV/cm durante 25-150 μ s, 55°C durante 10 min HTST: 94°C durante 26s	RA disminuye un 86,5% hasta el 43,2%.

			PEF: 40kV/cm durante 25-150 µs, 55°C durante 10 min HTST: 94°C durante 26s	RA disminuye un 82,7 hasta el 12,8%.
Naranja y zanahoria	PME	PEF+MTS	PEF: 24 Kv/cm, 18 Hz, 93 µs. MTS: US, 560 W, 5 min; H, 40°C; HPP, 350 MPa.	19% PME RA
Naranja y zanahoria	PME	PEF+H	PEF: 767-904 Hz 25 kV/cm, 280-330 µs, 112-132 pulsos; H:68, 70 °C.; HTST:98 °C durante 21 s.	75,6-81,4% Inactivación enzimática
Naranja y zanahoria	PME	PEF+H	PEF: 25-40 kV/cm, 0-340 µs; h: 63 °C	81,4% Inactivación enzimática
Naranja, bebida a base de leche	PME	PEF+H	PEF: 15-30 kV/cm, 25-65°C; H: 60 a 90 °C durante 1 min	A 25 °C el aumento de la actividad de PME fue de entre el 11 y el 60 %. A 65 °C (30 kV/cm), 91 % de inactivación. A 80 °C (3-5 kV/cm, 3000-3500 Hz, 1 s) <10 % de inactivación de PME.
Manzana	PPO	PEF+H	PEF: 33-42 kV/cm, 150-300 pulsos/s; H:50°C; UHT: 115, 125 y 135°C durante 3 y 5 s	70% de reducción de la actividad residual (RA) a 38,5 kV/cm
Manzana	POD +PPO	PEF+H	PEF: 20-40 kV/cm durante 25-100 µs; H:	71% y 68% de disminución máxima en

			25, 35 Y 50°C; CP: 72°C	la actividad enzimática durante 26 s	de PPO y POD, respectivamente
Manzana (Braeburn)	POD +PPO	PEF+H	PEF: 15-35 kV/cm, pulso de banda ancha (de 3 a 8 µs)	79,8 a 0% y 92 a 6,9% RA de POD y PPO, respectivamente.	
Manzana (Malus pumila Niedzwetzkyana Dieck)	POD +PPO	PEF+H	PEF: 10-30 kV/cm durante 200-1000 µs, 20-60°C H:80, 90 y 115 °C durante 10 min, 5 min y 5 s respectivamente	0,04% y 0,16% RA de POD y PPO a 30 kV/cm durante 1000 µs y 60 °C, respectivamente.	
Manzana	POD +PPO	UV+PEF	PEF: 40 kV/cm durante 100 µs. UV: 254 nm, 30 W durante 30 min. 40 kV/cm durante 1 µs	47,2% y 42,8% RA de POD y PPO, respectivamente	
		PEF+UV		49,5% y 41,3% RA de POD y PPO, respectivamente.	
Manzana (M. domestica Borkh. cv. Red Fuji)	PPO	PEF+RF	PEF: 15-35 kV/cm durante 400 µs. RF: 10 min de 27,12 MHz 3,5kW, 35 mm de espacio entre postes. H: 60-70 °C durante 10 min	13,57 % RA después de preprocesamiento, 5 % RA, 15 kV/cm durante 400 µs para aumentar la luminosidad y mantener el sabor.	de Termosonicación, 5 % de HTST.

PME: Pectin metil esterasa; US: Ultrasonido; H: Calor; RF: Radiofrecuencia; MS: Manosonicación; TS: Termosonicación; MTS: Manotermosonicación; UV: Ultravioleta; HILP: Pulses de luz de alta intensidad; CP: Pasteurización convencional; HTST: Tratamiento de alta duración y corta duración; PPO: Polifenol oxidasa; POD: Peroxidasa; RA: Actividad residual

Fuente: Adaptación a partir de (Roobab et al., 2022)

Del estudio mencionado en la tabla podemos concluir que la combinación de PEF con otras tecnologías no térmicas puede mejorar aún más la inactivación microbiana y enzimática.

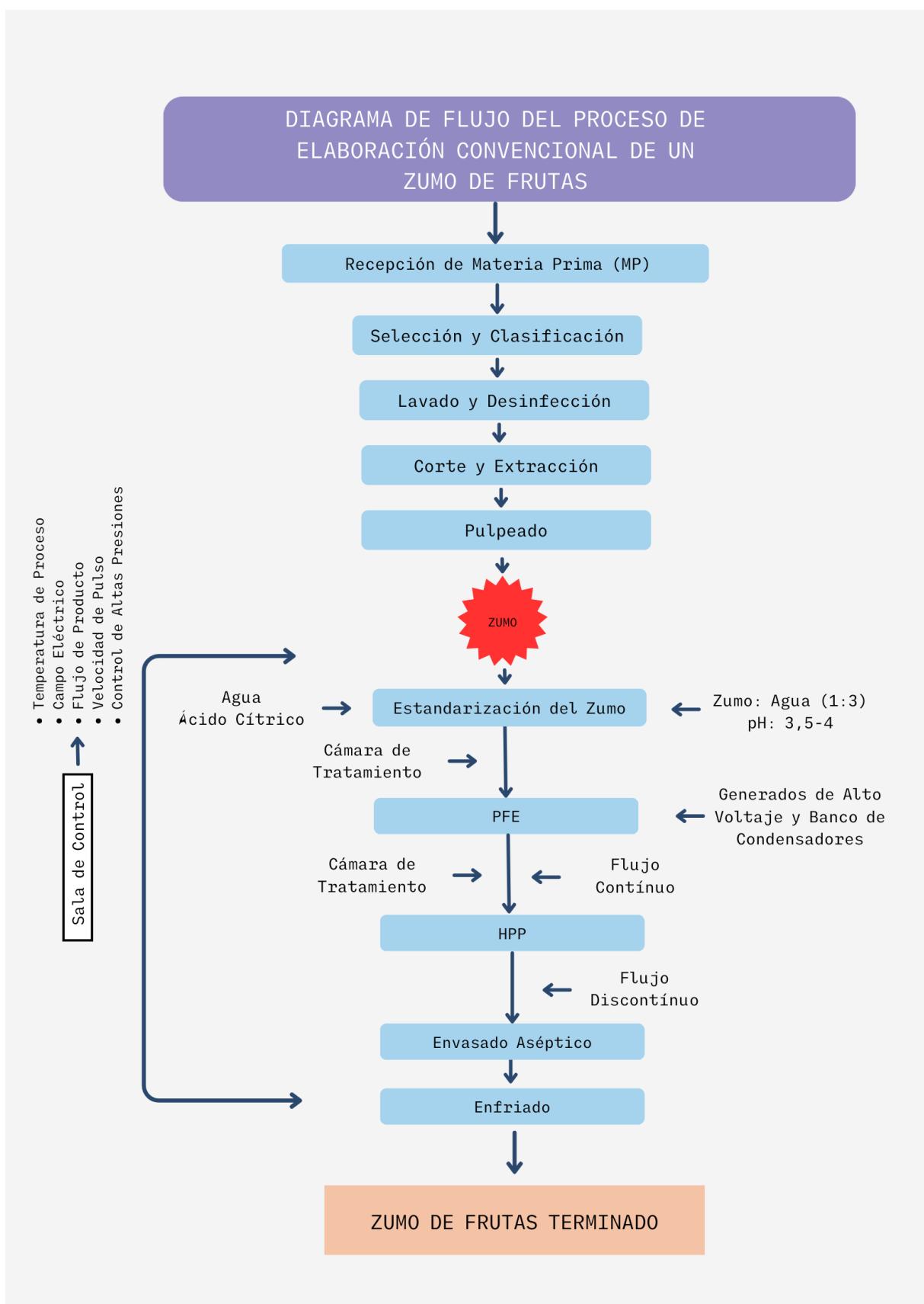
Algunas de estas combinaciones pueden ser PEF + Ultrasonidos (US) y PEF + Altas presiones hidrostáticas (HPP). Estas dos combinaciones según el estudio mencionado son las mejores para mejorar la seguridad y calidad del producto final. (Roobab et al., 2022)

Otros estudios como «Combined Pulsed Electric Field with Antimicrobial Caps for Extending Shelf Life of Orange Juice» confirman que la combinación del tratamiento combinado entre PEF + HPP es una de las mejores opciones para prolongar la vida útil de los zumos de frutas debido a que reducen los niveles microbianos sin afectar negativamente a sus propiedades nutricionales y fisicoquímicas. También concluyen que un solo tratamiento térmico no es suficiente para cumplir la normativa estadounidense donde se exige una reducción de cinco unidades logarítmicas de microorganismos patógenos transmitidos por los alimentos sobre la pasteurización de zumos de fruta. Es decir, que no se puede aplicar solo un tratamiento con tecnologías no térmicas para cumplir la normativa. Debido a esto hay que recurrir a la técnica «hurdle», que no es ni más ni menos que la integración de tratamientos múltiples (como es la acción combinada de PEF + HPP), ofreciendo así un enfoque alternativo con tecnologías no térmicas de conservación para cumplir con este requisito obligatorio de la FDA. (Jin & Aboelhaggag, 2022) Cabe destacar que de las 3 principales tecnologías no térmicas de conservación (Campos Eléctricos Pulsados, Ultrasonidos y Altas Presiones), el tratamiento con altas presiones (HPP) es la mejor opción en cuanto a extensión de vida útil de compuestos bioactivos y por ende en la retención de antioxidantes en diferentes zumos como en el zumo de fresa procesado. (Vivanco et al., 2021; Yildiz et al., 2021)

Por otro lado, es cierto que usando otras técnicas combinadas como los PEF (2,7 kV/cm durante 1000 µs) + una pasteurización suave generada eléctricamente por los campos de pulsos eléctricos (78 °C durante 26s) pueden lograr también la inactivación enzimática y conservar las propiedades nutricionales de los zumos de fruta. El anterior ejemplo es referido a las condiciones optimas de conservación de un zumo de naranja donde se consigue cumplir con los criterios de prolongación del contenido en antioxidantes ya que en esas condiciones se consigue prolongar el contenido de vitamina C. (Šalaševičius et al., 2023; Timmermans et al., 2022)

Por último, se ha elaborado un diagrama de flujo para esta propuesta experimental sugiriendo la parte del proceso en la que habría que aplicar las tecnologías PEF y HPP para la prolongación de la vida útil de los antioxidantes.

Figura 9. Diagrama de flujo del proceso con los tratamientos PEF y HPP



Fuente: Elaboración propia a partir (Baggini, 2020; Paucar-Menacho et al., 2024)

8.3. Estudio de análisis sensorial por parte de Don Juan S.A.

La empresa Don Juan S.A ha elaborado un estudio sensorial el cual contaba con un panel de cata de expertos. En este estudio se evaluaba el cambio sensorial percibido por componentes del panel de cata en relación con las propiedades organolépticas de los zumos de fruta.

En el estudio se evalúa un zumo de naranja al que se le han aplicado distintos tratamientos junto con la muestra de naranja control (Zumo recién exprimido), estos tratamientos son los siguientes: Campos Eléctricos Pulsados, Pasteurización Comercial y ultrasonidos.

Al hacer este estudio se evalúan diferentes propiedades sensoriales, los cuales son dulzura, acidez, amargor, aroma a naranja, sabor a naranja, intensidad del color, claridad, homogeneidad del color, y parámetros de textura como son el cuerpo y la suavidad.

Este panel de cata tuvo que realizar la cata puntuando estos parámetros del 1 al 5, significando el número 1 «Muy poco» y el número 5 «Mucho» refiriendose a la intensidad que estos catadores perciben de cada atributo sensorial, esto se puede observar en la siguiente figura:

Figura 10. Escala establecida para medición de las propiedades sensoriales



Fuente: Elaboración propia

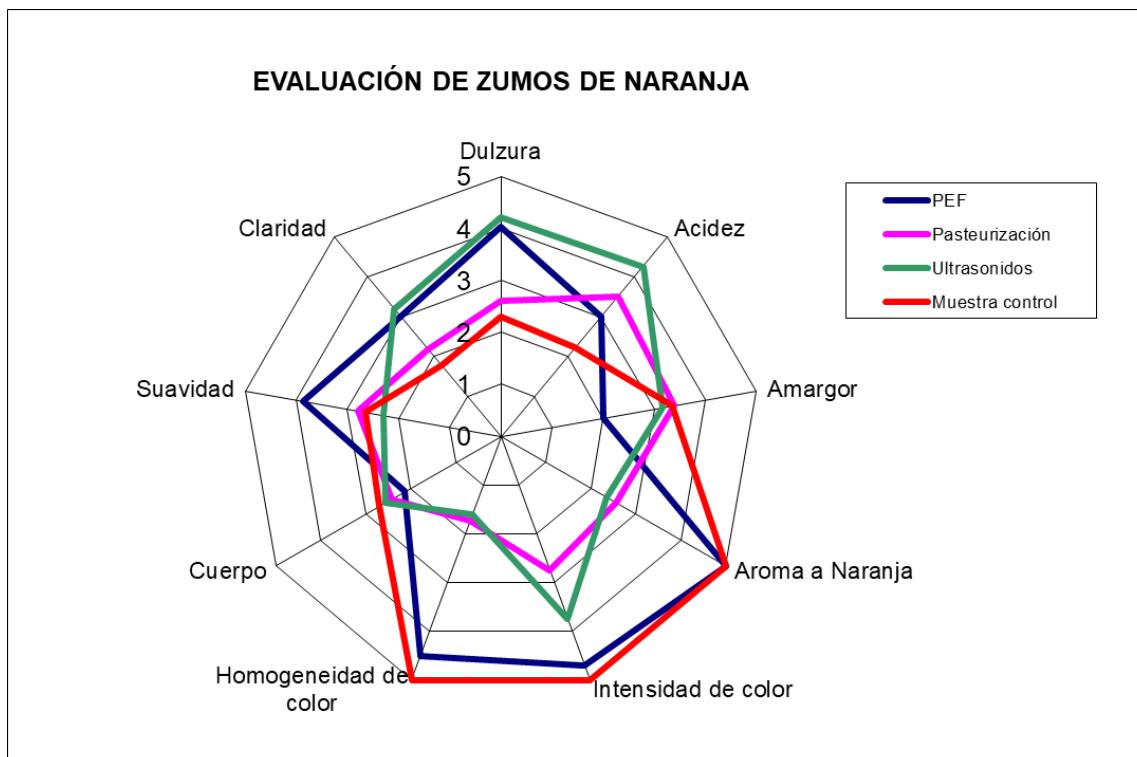
Para la interpretación de estos valores numéricos se hizo una media entre todos los participantes del panel de cata y se elaboró una gráfica de araña mediante el software XLSTAT como veremos en la siguiente figura:

Tabla 5. Resultados de la prueba

Atributos	PEF	Pasteurización	Ultrasonidos	Muestra control
Dulzura	4,04	2,61	4,22	2,3
Acidez	3	3,52	4,26	2,22
Amargor	2	3,39	3,17	3,35
Aroma a Naranja	5	2,57	2,35	5
Intensidad de color	4,7	2,74	3,74	5
Homogeneidad de color	4,5	1,74	1,61	5
Cuerpo	2,13	2,43	2,57	2,7
Suavidad	3,87	2,78	2,3	2,65
Claridad	3	2,17	3,2	1,78

Fuente: Elaboración propia a partir de (Sulaiman et al., 2017)

Figura 11. Resultado final de la evaluación



Fuente: Elaboración propia

A la luz de los resultados obtenidos, la tecnología PEF se posiciona como la mejor opción para preservar las propiedades sensoriales.

El estudio elaborado por la empresa Don Juan S.A. está basado en el artículo « Quality stability and sensory attributes of apple juice processed by thermosonication, pulsed electric field and thermal processing» (Sulaiman et al., 2017) en el apartado de «Sensory analyses for apple juice processed by different methods» donde se evalúan sensorialmente unas muestras de un mismo zumo de manzana al que se ha expuesto a tres tratamientos diferentes. El tipo de manzana usada para el ensayo fue Manzana Royal Gala. Se expusieron unos zumos de manzana a campos eléctricos pulsados, otros a termosonificación, otros a tratamiento térmicos convencional (Pasteurización comercial) y por último tenemos la muestra control que es el zumo de manzana al que no se le ha sometido a ningún tratamiento. En el estudio se refleja que los consumidores notaban que los zumos tratados con campos eléctricos pulsados y termosonificación tenían un sabor significativamente diferente que los que fueron pasteurizados. En el ensayo se destaca que aproximadamente un 66% de panelistas prefirieron los zumos tratados por campos eléctricos pulsados que los otros, además señalaron que los zumos tratados por termosonificación y pasteurización comercial tenían un sabor muy similares el uno del otro. (Sulaiman et al., 2017) La exposición prolongada de los zumos de frutas a altas temperaturas durante el tratamiento térmico convencional puede afectar a las propiedades organolépticas al degradar algunos compuestos que le dan las notas conocidas y sabor a «fresco/recién exprimido» al zumo de frutas correspondiente. En el mismo estudio se indica que el tratamiento de termosonificación puede producir sabores no deseados debido al fenómeno de cavitación e hidrólisis del agua donde se pueden formar radicales libres.(Sulaiman et al., 2017)

9. Conclusiones

La tecnología de Campos Eléctricos Pulsados (PEF) ofrece una alternativa prometedora para la conservación de zumos de fruta, ya que permite prolongar la vida útil de los productos sin recurrir a métodos térmicos que puedan afectar negativamente a sus propiedades nutricionales y organolépticas. Además, la tecnología de Campos Eléctricos Pulsados ayuda a prolongar el contenido de antioxidantes de los zumos de fruta en el paso del tiempo, ya sea por si sola o en combinación con otras tecnologías emergentes de conservación no térmicas entre las que destacan las Altas Presiones en frío (HPP, en sus siglas en inglés High Pressure Processing) y la tecnología de Ultrasonidos (US).

En cuanto a las conclusiones con respecto a la sostenibilidad, la tecnología PEF se relaciona con este objetivo (ODS 2) ya que pueden aumentar la eficiencia de producción y la calidad nutricional de los zumos de frutas, por lo que puede contribuir a la seguridad alimentaria y a ayudar a eliminar la malnutrición. Además, se pueden vincular al ODS 3 debido a que tecnologías como PEF mejoran la calidad de los alimentos al preservar mejor los nutrientes y los compuestos bioactivos, contribuyendo así a dietas más saludables de los consumidores.

La tecnología de Campos Eléctricos Pulsados se adapta a este ODS 9, a pesar de representar una gran inversión económica para la industria, esta tecnología puede mejorar la competitividad de las empresas, ya que es una tecnología con una amplia gama de aplicaciones como evaporación, esterilización, pasteurización, entre otros y puede ofrecer alimentos con mayor vida útil, más ricos en nutrientes y compuestos bioactivos.

Estas nuevas tecnologías ofrecen la oportunidad de abordar el excedente de productos agrícolas, evitando pérdidas económicas significativas y promoviendo la eficiencia en la cadena de suministro alimentario. Esta perspectiva integral no solo beneficia la seguridad alimentaria, sino que también contribuye a la sostenibilidad global, resaltando su importancia en la mitigación de desafíos alimentarios a nivel local y mundial.

En cuanto a la viabilidad de implementar la tecnología PEF en la empresa ficticia de Don Juan S.A., se observa que, a pesar de los desafíos asociados con la adopción de tecnologías innovadoras, existen oportunidades significativas para mejorar la posición competitiva de la empresa y satisfacer las demandas del mercado. La diferenciación en el mercado, la innovación tecnológica y la creciente demanda de productos alimenticios más saludables y

naturales son factores que respaldan la posible rentabilidad de la inversión en la tecnología PEF.

Este proyecto se puede tomar como base a la implantación de esta tecnología a gran escala en la industria. Lo primero que se debería de elaborar sería un estudio de escalado industrial y pruebas piloto para evaluar el rendimiento real de la combinación de PEF + HPP en la producción de zumos de frutas a gran escala; aquí se deberán establecer, ajustar y evaluar los parámetros de producción con estas tecnologías tales como el voltaje, presión, control de temperatura, duración de los pulsos eléctricos y el flujo del producto para ver como afecta a las calidades de los diferentes zumos de fruta y a la extensión de la vida útil de los antioxidantes de los mismo, recordando que para cada tipo de zumo de fruta estos parámetros cambiarán.

Por otro lado, habría que evaluar la viabilidad económica e impacto ambiental real que puede producir estas tecnologías. Como se ha dejado de entrever durante la elaboración del proyecto hay estudios que sugieren unos altos costos iniciales pero una alta rentabilidad; y en cuanto al impacto medioambiental, según los estudios, son tecnologías que causan poco impacto medioambiental, pero para corroborarlo habrá que hacer futuros ensayos en planta piloto.

Por último, no ha habido muchas limitaciones durante el desarrollo del presente proyecto, solo que hay datos insuficientes sobre la interacción de la combinación de estas dos tecnologías (PEF + HPP) con los zumos de frutas, además de ser un trabajo de investigación bibliográfico sin equipos ni pruebas de laboratorio. Estas limitaciones destacan la importancia de seguir investigando estas tecnologías emergentes y así poder aprovecharlas en máximo potencial en la industria alimentaria.

10. Referencias bibliográficas

- Abobatta, W. F. (2021). Nutritional and Healthy Benefits of Fruits. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 40(2), 31979-31983.
<https://doi.org/10.26717/BJSTR.2021.40.006412>
- Afraz, M. T., Xu, X., Zeng, X.-A., Zhao, W., Lin, S., Woo, M., & Han, Z. (2024). The science behind physical field technologies for improved extraction of juices with enhanced quality attributes. *Food Physics*, 1, 100008. <https://doi.org/10.1016/j.foodp.2024.100008>
- Aledo Sevilla, A. (2020). “Realfooding”: *La industria alimentaria y el comportamiento del consumidor* [bachelorThesis]. <https://repositorio.ucam.edu/handle/10952/5193>
- Asozumos. (2024a). *Historia del consumo de frutas*.
<https://www.zumosygzpachos.com/historia-del-zumo>
- Asozumos. (2024b). *Proceso de fabricación de los zumos industriales*.
<https://www.zumosygzpachos.com/proceso-de-fabricacion>
- Baggini, S. P. (2020, noviembre 11). Pulsos eléctricos de alta tensión para conservación de alimentos. *Pulsos eléctricos de alta tensión para conservación de alimentos*.
<https://bagginis.blogspot.com/2020/11/pulsos-electricos-de-alta-tension-para.html>
- Balasubramaniam, V. M. (Bala), Martínez-Monteagudo, S. I., & Gupta, R. (2015). Principles and Application of High Pressure-Based Technologies in the Food Industry. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6(Volume 6, 2015), 435-462.
<https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015539>
- Barbosa-Cánovas, G., & Bermúdez-Aguirre, D. (2010). Procesamiento no térmico de alimentos. *Scientia Agropecuaria*, 81-93. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2010.01.08>

Caballo, F. (2024, marzo 19). *Alimentaria: El valor que el upcycling aporta a la industria agroalimentaria.* CNTA. <https://www.cnta.es/alimentaria-dia-2-el-valor-que-el-upcycling-aporta-a-la-industria-agroalimentaria/>

Chang, C.-K., Yang, Y.-T., Gavahian, M., Kuan-Chen, C., Chih-Yao, H., Min-Hung, C., Permatasari Santoso, S., & Chang-Wei, H. (2023). *Prolonging the shelf-life of atemoya (*Annona cherimola* × *Annona squamosa*) using pulsed electric field treatments.* 88, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103458>

Chapin Patiño, J. G. (2021). *Valoración de las propiedades nutricionales, capacidad antioxidante y compuestos bioactivos en la producción de néctar de naranja.* <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16705>

Chen, F., Zhang, M., & Yang, C. (2020). Application of ultrasound technology in processing of ready-to-eat fresh food: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104953. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104953>

Cohen, J. (2013). 6 Things You May Not Know About the Dead Sea Scrolls. *HISTORY.* <https://www.history.com/news/6-things-you-may-not-know-about-the-dead-sea-scrolls>

Collado González, J. (2011). *Identificación de los polifenoles en zumos de frutas rojas.* <http://hdl.handle.net/10317/2015>

Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español. (1967). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1967-16485&tn=1&p=20210901>

Directiva 2001/112/CE del Consejo, de 20 de diciembre de 2001, relativa a los zumos de frutas y otros productos similares destinados a la alimentación humana, OJ L (2001).

<http://data.europa.eu/eli/dir/2001/112/oj/spa>

Ellab. (2023). *Pasteurización UHT y HTST | Alta temperatura | Ellab.*
<https://www.ellab.com/es/sectores/alimentos/pasteurizacion-uht-htst/>

Enriquez-Valencia, S. A., Salazar-López, N. J., Robles-Sánchez, M., González-Aguilar, G. A., Ayala-Zavala, J. F., Lopez-Martinez, L. X., Enriquez-Valencia, S. A., Salazar-López, N. J., Robles-Sánchez, M., González-Aguilar, G. A., Ayala-Zavala, J. F., & Lopez-Martinez, L. X. (2020). Propiedades bioactivas de frutas tropicales exóticas y sus beneficios a la salud.

Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 70(3), 205-214.

<https://doi.org/10.37527/2020.70.3.006>

Escuela Alimentaria. (2023, octubre 16). *Funciones del departamento de calidad—Escuela Alimentaria.* <https://escuelaalimentaria.com/funciones-del-departamento-de-calidad/>

FDA, C. for D. E. and R. (2018, marzo 11). *Guía para la Industria: Formas de dosificación oral de liberación prolongada: elaboración, evaluación y aplicación de correlaciones in vitro/in vivo. Food and Drug Administration.* FDA. <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guia-para-la-industria-formas-de-dosificacion-oral-de-liberacion-prolongada-elaboracion-evaluacion-y>

FEN, & Nutrición, F. F. E. de la. (2019). *Datos actuales sobre el consumo de zumos de frutas en España y sus propiedades nutricionales.* FEN. Fundación Española de la Nutrición. <https://www.fen.org.es/publicacion/datos-actuales-sobre-el-consumo-de-zumos-de-frutas-en-espana-y-sus-propiedades-nutricionales>

Figueroa-Sepúlveda, K., Castillo-Robles, N.-Z., & Martínez-Girón, J. (2021). Application of high pressures and other technologies in fruits as alternative of conventional thermal treatments. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(2), 271-285.

<https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1772>

Freshways. (2022, marzo 18). The History Of Fruit Juice. *Freshways*.
<https://www.freshways.co.uk/the-history-of-fruit-juice/>

García, O. (2021, enero 14). Tecnologías de conservación no térmicas para la industria alimentaria. *Hiperbaric*. <https://www.hiperbaric.com/es/tecnologias-de-conservacion-no-termicas-para-la-industria-alimentaria/>

Gavino Nieto, E. L. (2022). *Efecto del calentamiento óhmico sobre las propiedades antioxidantes y calidad microbiológica en néctar de aguaymanto (Physalis peruviana L.)*. <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/7909>

Hurtado Gómez, A. (2016). *Calidad y estabilidad de smoothies de fruta y/o verdura procesados mediante altas presiones hidrostáticas* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Murcia]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=128403>

INOXMIM, P. (2023). *Tipos de tratamiento térmico en alimentos—Inoxmim.com*.
<https://www.inoxmim.com/blog/tipos-de-tratamiento-termico-en-alimentos/>

Jin, T. Z., & Aboelhaggag, R. M. (2022). Combined Pulsed Electric Field with Antimicrobial Caps for Extending Shelf Life of Orange Juice. *Beverages*, 8(4), Article 4.
<https://doi.org/10.3390/beverages8040072>

- Li, L., Yang, R., & Zhao, W. (2021). The Effect of Pulsed Electric Fields (PEF) Combined with Temperature and Natural Preservatives on the Quality and Microbiological Shelf-Life of Cantaloupe Juice. *Foods*, 10(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/foods10112606>
- libbys. (2019, marzo 7). *Historia del zumo de frutas*. LIBBYS. <https://libbys.es/blog/habitos-saludables/historia-del-zumo-de-frutas/8939>
- Liu, Y., Heying, E., & Tanumihardjo, S. A. (2012). History, Global Distribution, and Nutritional Importance of Citrus Fruits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(6), 530-545. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00201.x>
- Lobera, I. J. (2017). Navegación e historia de la ciencia: Escorbuto. *Journal of Negative and No Positive Results*, 2(9), Article 9. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.1510>
- Lorente, J., Valero, M., de Ancos, B., Martí, N., García, S., López, N., Ramos, S., Landaji, B., Ferrer, J., Alberdi, B., & Esturo, A. (2011). Aspectos industriales. En *El libro del Zumo* (pp. 79-112). Editorial Agrícola Española.
- Lumivero. (2024). *XLSTAT Sensory—La solución que le permite conocer en profundidad sus productos y consumidores*. XLSTAT, Your data analysis solution. <https://www.xlstat.com/es/soluciones/sensory>
- Malpartida Y., R., Aldana F., L., Sánchez S., K., Gómez H., L., & Lobo P., J. (2022). El valor nutricional y compuestos bioactivos de la Espirulina: Potencial suplemento alimenticio. *Ecuadorian Science Journal*, 6(1), 42-51. <https://doi.org/10.46480/esj.6.1.133>
- Mayoral, J. B., Hernández, M. V., & Silveti-Loeza, A. (2019). Análisis de la actividad antioxidante en la flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) mediante las técnicas FRAP y DPPH. *RD-ICUAP*. <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2019.14.386>

Medline Plus. (2023). *Vitaminas: MedlinePlus enclopedia médica.*

<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002399.htm>

Mettler-Toledo International Inc all rights. (2024). *Medición de grados Brix.*

<https://www.mt.com/es/es/home/perm-ip/product-organizations/ana/brix-meters.html>

Ministerio de España, de D. S., Consumo. (2024). *Agenda 2030.*

<https://www.mdsocialesa2030.gob.es/index.htm>

Moreiras Tuny, O., Carbajal Azcona, Á., Cabrera Forneiro, L., & Cuadrado Vives, C. (2016).

Tablas de composición de alimentos. Pirámide.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=311192>

Moreno, J., Zúñiga, P., Guerra, M. E., & Mella, K. (2018, junio 26). Ohmic heating/vacuum

impregnation treatments on osmodehydrated apples enriched in polyphenols from concentrated pomegranate juice. *21st International Drying Symposium.* 21st International Drying Symposium.

<http://ocs.editorial.upv.es/index.php/IDS/ids2018/paper/view/7872>

Navarro-Cortez, R. O., Tovar-Jimenez, X., Mora-Rochín, S., Rochín-Medina, J. J., Aguayo-Rojas,

J., Navarro-Cortez, R. O., Tovar-Jimenez, X., Mora-Rochín, S., Rochín-Medina, J. J., & Aguayo-Rojas, J. (2022). Compuestos fenólicos, minerales, capacidad antioxidante y antihipertensiva de pingüica (*Arctostaphylos pungens*). *Acta universitaria,* 32, 1-10.
<https://doi.org/10.15174/au.2022.3231>

Negri Rodríguez, L. M. (2021). *Elaboración de zumos pasteurizados mediante tratamiento térmico convencional y calentamiento óhmico a partir de zanahoria de descartes* (p. 1)

[Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, UNED. Universidad Nacional de Educación a Distancia]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=291098>

NIH, I. N. del C. (2011, febrero 2). *Definición de compuesto bioactivo—Diccionario de cáncer del NCI* - NCI (nciglobal,ncienterprise) [nciAppModulePage]. NIH. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/compuesto-bioactivo>

Norma general para zumos (jugos) y néctares de frutas CXS 247-2005 Adoptada en 2005. Enmendada en 2022., 22 (2005). <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es>

Paucar-Menacho, L. M., Moreno-Rojo, C., Chuqui-Diestra, S. R., Paucar-Menacho, L. M., Moreno-Rojo, C., & Chuqui-Diestra, S. R. (2024). Tecnologías emergentes no térmicas en la industria alimentaria: Avances y potenciales aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Scientia Agropecuaria*, 15(1), 65-83. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.006>

RAM. (2019, enero 10). ¿Qué es la uperización o método UHT? *Curiosidades-RAM Momentos de placer*. <https://www.ram.es/tradicionales/curiosidades/>

Ramos, M., Bravo, N., Obregón, L., & Cisneros, G. (2021). Elaboración de un néctar de granadilla (*Passiflora ligularis* L.) bajo en calorías. *Revista de investigación Agropecuaria Science and Biotechnology*, 1(3), Article 3. <https://doi.org/10.25127/riagrop.20213.703>

Real Decreto 781/2013, de 11 de octubre, por el que se establecen normas relativas a la elaboración, composición, etiquetado, presentación y publicidad de los zumos de

frutas y otros productos similares destinados a la alimentación humana. (2013).

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-10611>

Real Decreto 1518/2007, de 16 de noviembre, por el que se establecen parámetros mínimos de calidad en zumos de frutas y los métodos de análisis aplicables, Pub. L. No. Real Decreto 1518/2007, BOE-A-2007-21091 50632 (2007).

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/11/16/1518>

Roobab, U., Abida, A., Chacha, J. S., Athar, A., Madni, G. M., Ranjha, M. M. A. N., Rusu, A. V., Zeng, X.-A., Aadil, R. M., & Trif, M. (2022). Applications of Innovative Non-Thermal Pulsed Electric Field Technology in Developing Safer and Healthier Fruit Juices. *Molecules*, 27(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/molecules27134031>

Saint-Exupéry, A. D. (1946). *El principito*. Salamandra.

Šalaševičius, A., Uždavinytė, D., Visockis, M., Ruzgys, P., & Šatkauskas, S. (2023). Comparative Analysis of Pulsed Electric Fields (PEF) and Traditional Pasteurization Techniques: Comparative Effects on Nutritional Attributes and Bacterial Viability in Milk and Whey Products. *Applied Sciences*, 13(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/app132212127>

Sulaiman, A., Farid, M., & Silva, F. V. (2017). Quality stability and sensory attributes of apple juice processed by thermosonication, pulsed electric field and thermal processing. *Food Science and Technology International*, 23(3), 265-276.

<https://doi.org/10.1177/1082013216685484>

Tigreros, J. A., Parra Londoño, S., Martínez Girón, J., & Ordoñez Santos, L. E. (2021). Diferentes métodos de escaldado y su aplicación en frutas y verduras. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 8(1), 50-63.

- Timmermans, R. A. H., Roland, W. S. U., van Kekem, K., Matser, A. M., & van Boekel, M. A. J. S. (2022). Effect of Pasteurization by Moderate Intensity Pulsed Electric Fields (PEF) Treatment Compared to Thermal Treatment on Quality Attributes of Fresh Orange Juice. *Foods*, 11(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/foods11213360>
- Vegara Gómez, S. (2014). *Estrategias tecnológicas para optimizar la producción y la vida útil de zumo de granada (punica granatum cv. Mollar)* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad Miguel Hernández de Elche]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=107749>
- Velázquez Estrada, R. M. (2011). *Evaluation of the efficacy of Ultra-High Pressure Homogenization technology to improve the safety and quality of liquid foods and especially of orange juice* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universitat Autònoma de Barcelona]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=99114>
- Vivanco, D., Ardiles, P., Castillo, D., & Puente, L. (2021). 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. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182021000400609>
- Wang, J., Wang, K., Wang, Y., Lin, S., Zhao, P., & Jones, G. (2014). *A novel application of pulsed electric field (PEF) processing for improving glutathione (GSH) antioxidant activity*. 161, 361-366.
- Wani, N. R., Rather, R. A., Farooq, A., Padder, S. A., Baba, T. R., Sharma, S., Mubarak, N. M., Khan, A. H., Singh, P., & Ara, S. (2024). New insights in food security and environmental sustainability through waste food management. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(12), 17835-17857. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26462-y>

Wei, S., Chen, T., Hou, H., & Xu, Y. (2023). Recent advances in electrochemical sterilization.

Journal of Electroanalytical Chemistry, 937, 117419.

<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2023.117419>

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.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110040>

11. Anexos

11.1. Anexo I. Glosario de abreviaturas

- 1.** ONU = Organización de las Naciones Unidas
- 2.** ODS = Objetivos de Desarrollo Sostenible
- 3.** CAE = Código Alimentario Español
- 4.** FDA = Food and Drugs Administration
- 5.** a.c = Antes de Cristo
- 6.** S.A. = Sociedad Anónima
- 7.** ADN = Ácido desoxirribonucleico
- 8.** I+D+i = Investigación + Desarrollo + Innovación
- 9.** MP = Materias Primas
- 10.** BPH = Buenas Prácticas de Higiene
- 11.** BPF = Buenas Prácticas de Fabricación
- 12.** HIPEF = Campo de Pulso Eléctrico de alta intensidad o High Intensity Pulsed Electric Fields
- 13.** MIPEF = Campo de Pulso Eléctrico de media intensidad o Medium Intensity Pulsed Electric Fields
- 14.** LIPEF = Campo de Pulso Eléctrico de baja intensidad o Low Intensity Pulsed Electric Fields
- 15.** EPR = Resonancia de espín electrónico
- 16.** POD = peroxidasa
- 17.** PPO = polifenol oxidasa
- 18.** β -GLUC = β -glucosidasa
- 19.** PME = pectin metilesterasa
- 20.** PG = poligalacturonasa
- 21.** LOX = lipoxigenasa
- 22.** HTST = High Temperature Short Time o Tratamiento de alta temperatura y corta duración
- 23.** UHT = Ultra High Temperature o Tratamiento a ultra temperatura
- 24.** UV = Luz Ultravioleta
- 25.** PEF = Campos de pulsos eléctricos
- 26.** HILP = Pulso de luz de alta intensidad
- 27.** HPP = Altas presiones
- 28.** RF = Radiofrecuencia
- 29.** MTS = Manotermosonicación
- 30.** TS = Termosonicación
- 31.** US = Ultrasonidos
- 32.** MF = Filtración por membrana
- 33.** H = Calor
- 34.** CP = Pasteurización comercial
- 35.** DPPH = 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo
- 36.** FRAP = Ferric Reducing Ability of Plasma

- 37.** NTU = Turbidez
38. T = Transmitancia
39. RA = Actividad Residual
40. g = gramos
41. $\mu\text{g/día}$ = microgramo por día
42. $^{\circ}\text{C}$ = grados centígrados
43. kGy = Kilo Gray
44. psi = Libras por pulgada cuadrada
45. MPa = Mega Pascal
46. kV/cm = Kilo Voltio por centímetro
47. eq. = equivalente
48. mL = mililitros
49. Log = Logaritmo
50. cP = Viscosidad
51. Abs = Absorbancia
52. mg = miligramo
53. u = unidad
54. μmol = micromol
55. UFC = Unidades formadoras de colonia
56. Hz = Hercio
57. kHz = Kilo hercio
58. μs = Microsegundo
59. s = Segundo
60. min = minuto
61. W = Vatios