



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

ESTUDIO DEL USO DE ALTAS PRESIONES EN LA CONSERVACIÓN DE VEGETALES

Alumno/a: Erraji, Sara

Tutor/a: Rubén Pérez Pulido

Dpto: Microbiología

Junio, 2020

PREFACIO

Este trabajo se lleva a cabo en el marco del Máster Universitario en Avances en Seguridad de los Alimentos, en la Universidad de Jaén, coordinado por Sr.D. Antonio Miguel Gálvez del Postigo Ruiz.

Fue dirigido por Sr.D. Rubén Pérez Pulido del departamento de ciencias de la salud, área de microbiología.

Debido a la situación actual, generada por la pandemia del covid-19, la parte experimental en el laboratorio esta sustituida por una explicación de la aplicación de altas Presiones en la conservación de Vegetales y discusión de los resultados encontrados en artículos científicos.

Dédicace

A la mémoire de ma mère,

Que ton âme sois fière de me voir avancer, là ou il est, grâce à ta bénédiction, tes prières et ta consolation que j'ai pu poursuivre

Ma chère mère, La femme Affable, honorable et aimable ; Ta prière m'a été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

A mon cher père,

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation.

A mon cher frère, et mes deux sœurs, et tous mes ami(e)s,

Qui m'ont encouragé tout au long de mon travail et avec qui j'ai passé des moments inoubliables, des bons et des durs

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

GRATITUD

La finalización de este trabajo de fin de master fue posible gracias a la ayuda de varias personas a quienes quisiera expresar mi gratitud, y expreso mi más sincero agradecimiento, en particular a:

Sr.D. Antonio Miguel Gálvez del Postigo Ruiz

Profesor en la Universidad de Jaén,

Coordinador del Máster Universitario en Avances en Seguridad de los Alimentos.

Las palabras no pueden traducir toda mi gratitud a Sr.D. Antonio Miguel Gálvez del Postigo Ruiz. Le agradezco calurosamente por su confianza.

Sr.D. Rubén Pérez Pulido

Me gustaría expresar mi gratitud al tutor de mi trabajo de fin de master, Sr.D. Rubén Pérez Pulido, Le agradezco por haberme supervisado, guiado, ayudado y asesorado.

Resumen

Hoy en día, se desarrollaron muchas aplicaciones de procesamiento con alta presión (HPP) para la conservación de frutas y verduras, es una tecnología de reciente aparición que ya ha llegado al consumidor con una variedad de productos frescos.

En nuestro días, muchos consumidores están más preocupados por la apariencia fresca de los alimentos que consumen, la conveniencia, el costo razonable, la solidez ambiental, las características nutricionales y funcionales, pero lo más importante es la seguridad del alimento.

La creciente demanda de alimentos de calidad ha hecho que el procesamiento de alimentos sea cada vez más sofisticado y más diverso. El procesamiento de alta presión (HPP) se ha revelado como un método de tratamiento efectivo para una gran cantidad de productos alimenticios. Así, varias compañías de procesamiento de alimentos han adoptado el procesamiento de alta presión para reemplazar (o reemplazar parcialmente) las técnicas tradicionales de preservación para extender la vida útil y la calidad de las verduras, y también sin pérdidas de sus características nutricionales y funcionales causados por los métodos tradicionales.

Este estudio contribuye a comprender mejor la aplicación del procesamiento con alta presión a los alimentos vegetales y sus efectos sobre la frescura, la seguridad, el valor nutricional y los compuestos bioactivos.

Se ha demostrado que el tratamiento con HPP es un método efectivo para preservar las frutas y verduras, mantenerlas en condición favorable para el consumo y para conservar al máximo su calidad nutricional y funcional. Además, el tratamiento HPP tiene la ventaja de ofrecer la posibilidad de desarrollar características atractivas en algunos productos. Otra ventaja es la posibilidad de mejorar su eficacia con la superación de algunas de sus limitaciones al combinarla con otras tecnologías donde se logran efectos sinérgicos.

Abstract

Recently, many applications of high pressure processing (HPP) were developed for fruits and vegetables, it's a newly emerged technology that has already reached the consumer with a variety of fresh-like products.

Many consumers today are concerned about fresh-like appearance of the food they consume, convenience, reasonable cost, environmental soundness, the nutritional and health-related characteristics of fruits and vegetables, and the most important is the safety.

The growing demand for quality foods have made that processing of foods is becoming more sophisticated and more diverse. High pressure processing (HPP) have been revealed to be an effective treatment method of a large number of food products. Consequently, a number of food processing companies have adopted high pressure processing to replace (or partially replace) the traditional preservation techniques for extending the shelf-life and quality of vegetables, and also without their nutritional and functional characteristics damages caused by the traditional methods.

This study contribute to get a better understanding on the application of the high pressure processing to vegetable foods, and there effects on freshness, safety, nutritional value and bioactive compounds.

It have been shown that the treatment by HPP is an effective method to preserve fruit and vegetables, keep them save and able to consume, and also to save the maximum of their nutritional and functional quality. Also, HPP have the advantage to offer the possibility to develop attractive characteristics in some products. Another advantage is the possibility to enhance its efficacy by overcoming some limitations by combining it with others technologies where synergistic effects are attained.

Lista de abreviaturas

FDA: food and drug administration: administración de alimentos y drogas

FRAP: reducción férrica / poder antioxidante

GABA: ácido g-aminobutírico

GMP: good manufacturing practice: Buenas prácticas de fabricación

HACCP: Hazard Analysis Critical Control Point: Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos

HPHT: procesamiento con alta presión alta temperatura

HPP: procesamiento de alta presión hidrostática

IG: índice glicémico

MPa: mega pascal

PME: pectina metilesterasa

POD: peroxidasa

PPO: polifenol oxidasa

RDS: almidón de digestión rápida

RS: almidón resistente

SDS: almidón de digestión lenta

UFC: unidad formadora de colonia

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Principio del método HPP (hiperbaric-high pressure processing- www.hiperbaric.com)	9
Ilustración 2 el equipo del tratamiento con altas presiones	19
Ilustración 3 Sistema Batch equipamiento.....	20
Ilustración 4 Sistemas de alta presión semi-continuas (V. M. Balasubramaniam, 2007).....	20
Ilustración 5 Sistema de alta presión continuas (R. W. van den Berg et al., 2001).....	21
Ilustración 6 Esquema de los modos de generación de presión en un equipo de HPP	21
Ilustración 7: Efecto HPP sobre la disponibilidad de carotenoides después de la digestión gastrointestinal simulada.....	29
Ilustración 8: Fuerza de compresión de raíces de colinabo, no tratadas y procesadas (blanqueo y procesamiento a alta presión). Las letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.....	30
Ilustración 9: índices antioxidante y contenido de glucosinolatos de no tratado y procesado (escaldado y de procesamiento de alta presión) raíces colinabo.....	31
Ilustración 10 : Curvas de supervivientes de microorganismos Gram positivos	33
Ilustración 11: Curvas de supervivientes de microorganismos Gram negativos	34
Ilustración 12 Curvas de supervivientes de microorganismos Gram negativos	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de ventajas y desventajas de los métodos de conservación tradicional	4
Tabla 2 resumen de ventajas y desventajas del tratamiento HPP	17
Tabla 4: efectos de diferente tratamiento HPP sobre alimentos (Daniela Borda, Iulia Bleoancă, Maria Turtoi, 2013)	26
Tabla 5: Resultados estadísticos de la población de Gram-positivos después del tratamiento HPP a 5°C durante 30minutos (Arroyo, Sanz, y Prestamo 1999)	35
Tabla 6: Resultados estadísticos de la población de Gram-negativos después del tratamiento HPP a 5°C durante 30minutos (Arroyo, Sanz, y Prestamo 1999)	36
Tabla 7: Resultados estadísticos de la población de mohos y levaduras después del tratamiento HPP a 5°C durante 30minutos (Arroyo, Sanz, y Prestamo 1999)	36

Sumario

I.	Introducción.....	1
I.1.	Métodos tradicionales de conservación de vegetales	1
I.1.1.	Métodos de conservación por el frio	1
I.1.2.	Conservación por deshidratación: El secado.....	2
I.1.3	Conservación por el calor.....	2
I.1.4.	Conservación por sal, azúcar o aceite.	3
I.1.5.	Conservación en medio acido: vinagre	3
I.1.6.	Conservación por fermentación	4
II.	Métodos modernos por conservación de vegetales	5
III.	Uso de altas presiones en conservación de vegetales	6
III.1.	Principio básico del método.....	8
III.2.	Efectos del tratamiento con HPP	10
III.2.1.	Efectos de HPP sobre microorganismos.....	10
III.2.2.	Efectos de HPP sobre los compuestos bio-activos	11
III.2.3.	Influencia de HPP en los beneficios para la salud de los productos alimenticios	14
III.3.	Beneficios y desventajas del tratamiento con altas presiones.....	15
IV.	Objetivo:	18
V.	Materiales y Métodos:	19
V.1.	El equipo de alta presión.....	19
V.2.	Preparación de la muestra y su envasado.....	22
V.3.	Requisitos de equipo y empaque.....	23
V.4.	Marco legislativo en la UE y los EE. UU.	25
VI.	Resultados y discusión:	26

I. Introducción

Los tratamientos de conservación de los vegetales apuntan, por un lado, a estabilizarlos de una manera más o menos duradera para preservar su sabor y propiedades nutritivas, por otro lado, tienen como objetivo inhibir el desarrollo de microorganismos que pueden causar intoxicación alimentaria. Para esto, se han desarrollado diferentes estrategias: destruir los gérmenes presentes en los alimentos, o evitar que se multipliquen, ya sea modificando el ambiente (acidez, agregando aceite, sal, azúcar...) o desplazando la microbiota del alimento con otros gérmenes inofensivos e incluso útiles, como los fermentos lácticos

Los métodos utilizados para la conservación de los vegetales se basan en:

Aplicación de calor: pasteurización, esterilización, enlatado.

Tratamiento de frío: congelación, ultra-congelación, refrigeración;

otras técnicas: técnicas biotecnológicas: envasado al vacío o en atmósfera modificada, tratamiento de altas presiones, ionización, deshidratación y secado, fermentación, salazón, etc. («conservation-aliments.pdf», s. f.) <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/Publications/Vie-pratique/Fiches-pratiques/Conservation-des-aliments>

I.1. Métodos tradicionales de conservación de vegetales

I.1.1. Métodos de conservación por el frío

El frío prolonga la vida útil de los alimentos al limitar su deterioro, detiene o ralentiza la actividad celular, las reacciones enzimáticas y el desarrollo de microorganismos...

- La refrigeración

La aplicación de este método consiste a bajar la temperatura de las verduras hasta llegar a una temperatura entre 0 y +4°C, para prolongar su vida útil.

Las células de tejido permanecen vivas por un tiempo más o menos largo, y los metabolismos celulares solo se ralentizan.

- La congelación

La congelación es el método más simple para preservar una gran variedad de vegetales y al mismo tiempo preservar su sabor y sus cualidades nutricionales, ese método permite reducir la temperatura de un alimento para pasar al agua que contiene al estado sólido. Esta cristalización permite reducir el agua disponible para reacciones biológicas y, por lo tanto, ralentizar o detener la actividad microbiana y enzimática.

La mayoría de las verduras (judías verdes, guisantes, espinacas, calabacín, berenjenas, coliflor, tomates...) se pueden congelar crudas o cocidas en forma de pisto, sopa o comidas preparadas.

- Ventajas: simplicidad, facilidad, velocidad, poco equipo requerido, preservación de vitaminas y sabores, pequeños riesgos bacteriológicos.

- Desventajas: costo de energía, proceso que no es posible para todos los alimentos, la textura a menudo se altera después de la descongelación (exudación), los microorganismos presentes no se destruyen y pueden reanudar su actividad tan pronto como vuelvan a una temperatura favorable

- ultra-congelación

Esta es una técnica para congelar rápidamente en perfecta frescura, bajando su temperatura muy rápidamente a menos de 18 ° C en todos los puntos.

El agua en las células cristaliza y, por lo tanto, limita la destrucción celular.

Los productos conservan su textura, sabor y se pueden conservar por más tiempo.

I.1.2. Conservación por deshidratación: El secado

La deshidratación o el secado consisten a eliminar parcialmente o totalmente el agua contenido en el alimento. Debido a la baja actividad del agua (A_w), los microorganismos no pueden proliferar, y la mayoría de las reacciones de deterioro químico o enzimático se ralentizan.

Ventajas: sabores y nutrientes intactos, bajo volumen de productos una vez secos, aplicable a la mayoría de las frutas, verduras y champiñones.

Desventajas: secado óptimo no fácil de obtener, dificultad para preservar los productos de la humedad ambiental.

I.1.3 Conservación por el calor.

- La pasteurización

Se basa en la destrucción de microorganismos patógenos y alteradores. Este es un tratamiento a una temperatura entre 85°C y 100°C, por un período fijo y para enfriarlos brutalmente.

Ventaja: conserva las características de los alimentos, en particular su sabor. Los alimentos pasteurizados tienen una fecha de vencimiento y deben mantenerse frescos.

- Enlatado

Este proceso combina dos técnicas:

Embalaje en un recipiente hermético.

Aplicación de un tratamiento térmico.

El principio es calentar ($>100^{\circ}\text{C}$) para destruir los gérmenes, habiendo colocado previamente el alimento en un recipiente hermético para evitar la re-contaminación

Los productos obtenidos se pueden almacenar durante varios años a temperatura ambiente (máximo 5 años).

Ventajas: larga vida útil del producto (si el enlatado se realiza en buenas condiciones), almacenamiento de alimentos enlatados a temperatura ambiente, por lo tanto, energéticamente eficiente, preservación relativa del sabor de los alimentos.

Desventajas: técnica relativamente arriesgada, una mala esterilización puede resultar muy peligrosa (intoxicación con *Clostridium botulinum*, etc.), pérdida de vitaminas termolábiles, posibilidad migración de metales del envase al alimento.

I.1.4. Conservación por sal, azúcar o aceite.

La sal, el azúcar y el aceite tienen el mismo objetivo: hacer que el medio ambiente sea desfavorable para el desarrollo de bacterias, mohos y otros gérmenes al reducir la actividad del agua ($= A_w$), así los gérmenes no encuentran las condiciones adecuadas para su multiplicación.

El aceite permitió mantener ciertas verduras durante varios meses (berenjenas, alcachofas, calabacines, pepinos, pimientos, tomates...), dando un delicioso aroma del aceite. Este método ahora se usa para hacer aceites sazonados

Ventajas: valor agregado a los alimentos - sabores -

Desventajas: se modifica el sabor, la textura original y la calidad dietética de los alimentos.

I.1.5. Conservación en medio ácido: vinagre

El vinagre permite conservar muchas verduras: pepinillos, cebollas blancas pequeñas, zanahorias, tomates, coliflores, guisantes, judías verdes, mazorcas de maíz dulce, puntas de espárragos... al hacer el ambiente ácido para prevenir la multiplicación de gérmenes

Ventajas: fácil de usar, pocos riesgos bacteriológicos.

Desventajas: modificación del sabor, uso limitado de los productos así preparados.

I.1.6. Conservación por fermentación

Esta técnica se basa en la capacidad de los gérmenes (fermento láctico) presentes de forma natural en los vegetales para multiplicarse en un ambiente con sal y agua, en condiciones anaeróbicas. La fermentación hace que el ambiente sea ácido y evita la multiplicación de gérmenes patógenos o alterantes.

Ventajas: simplicidad, valor nutricional de los alimentos lacto-fermentados (vitaminas en conserva, pro-bióticos), costo energético cero.

Desventajas: sabor agrio y picante

<https://www.fermedesaintemarthe.com/A-6488-la-conservation-des-legumes.aspx>

<https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/Publications/Vie-pratique/Fiches-pratiques/Conservation-des-aliments>

<https://www.gerbeaud.com/jardin/decouverte/methodes-conservation-aliments,1142.html>

Tabla 1 Resumen de ventajas y desventajas de los métodos de conservación tradicional

Método	Ventajas	Desventajas
Refrigeración	Prolongar la vida útil Las células de tejido permanecen vivas por un tiempo más o menos largo, y los metabolismos celulares solo se ralentizan.	Duración de almacenamiento corta Riesgos bacteriológicos
Congelación	Simplicidad, Facilidad, Velocidad, Poco equipo requerido, Preservación de vitaminas y sabores, Pequeños riesgos bacteriológicos	Costo de energía, No es posible para todos los alimentos, Textura a menudo se altera después de la descongelación (exudación), Microorganismos presentes no se destruyen y pueden reanudar su actividad a una temperatura favorable
ultra-congelación	Conservación por más tiempo, Técnica rápida.	
Secado	Sabores y nutrientes intactos	Secado óptimo no es fácil de

	Bajo volumen de productos Aplicable a la mayoría de las frutas, verduras y champiñones.	obtener Dificultad para preservar los productos de la humedad ambiental.
Pasteurización	Conserva las características de los alimentos, en particular su sabor.	Los alimentos pasteurizados tienen una fecha de vencimiento y deben mantenerse frescos.
Enlatado	Larga vida útil del producto Almacenamiento de alimentos enlatados a temperatura ambiente, Energéticamente eficiente, Preservación relativa del sabor de los alimentos.	Técnica relativamente arriesgada, Mala esterilización puede resultar muy peligrosa , Pérdida de vitaminas termolábiles, Posibilidad migración de metales del envase al alimento.
Conservación por sal, azúcar o aceite	valor agregado a los alimentos - sabores -	Modificación del sabor, textura original y calidad dietética de los alimentos.
Conservación en medio ácido	Fácil de usar, Pocos riesgos bacteriológicos.	Modificación del sabor, Uso limitado de los productos así preparados.
Fermentación	Simplicidad, Valor nutricional de los alimentos lacto-fermentados Costo energético cero.	sabor agrio y picante

II. Métodos modernos por conservación de vegetales

II.1. atmosfera modificada

- El envasado al vacío:

Reduce la cantidad de aire (principalmente oxígeno) alrededor de los alimentos. Esto ayuda a prevenir el deterioro del producto por el desarrollo de microorganismos e inhibe las reacciones de oxidación.

- El envasado en atmósfera modificada:

Esta técnica permite reemplazar el aire que rodea el alimento por un gas o una mezcla gaseosa, y así prolongar la vida de este. Esta técnica de conservación está asociada con el almacenamiento a baja temperatura durante toda la vida del producto.

II.2. La ionización:

Se basa en la exposición de los alimentos a la acción de la radiación ionizante electromagnética que tiene como objetivo aumentar la vida útil de los alimentos mediante la eliminación de microorganismos.

Las fuentes de radiación ionizante son objeto de una lista exhaustiva fijada por la normativa. La lista de alimentos que pueden tratarse es limitada y se refiere a aquellos que están frecuentemente contaminados y/o infestados con organismos y sus metabolitos, que pueden dañar la salud.

Se desarrollan otras tecnologías de conservación como el calentamiento óhmico, un proceso en el que el producto se calienta directamente por corriente alterna de bajo voltaje, ultrasonido, alta presión, campos magnéticos pulsados o luz pulsada. Estas soluciones permiten tratar productos de una manera más suave, a veces más eficiente, preservando su sabor y propiedades nutritivas, y se aplican poco por razones industriales, regulatorias y económicas.

<https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/Publications/Vie-pratique/Fiches-pratiques/Conservation-des-aliments>

III. Uso de altas presiones en conservación de vegetales

El procesamiento de alta presión hidrostática (HPP) es una tecnología de pasteurización no térmica que ya se ha aplicado en las industrias alimentarias. Además de mantener la

seguridad y la calidad de los alimentos, HPP también tiene aplicaciones potenciales en la mejora de los beneficios para la salud de los productos alimenticios (**Grauwet et al., 2012**).

El procesado por altas presiones (HPP) de los alimentos implica someter los materiales alimenticios a presiones de hasta 1.000MPa. Con respecto al impacto en la seguridad alimentaria, la operación de HPP se puede dividir en dos categorías:

1) Pasteurización con alta presión: consiste en la aplicación de una presión de 300 hasta 600MPa, durante 1 a 15 minutos a temperatura inicial del producto entre 5° hasta 25°C, este proceso sirve para inactivar los patógenos.

2) Esterilización con alta presión, o HPHT (alta presión, alta temperatura): la temperatura del producto es entre 70° a 90 ° C, la temperatura del proceso es de 110° hasta 120°C y el tiempo de mantenimiento es de 1 a 10 minutos con este método se puede también inactivar las esporas bacterianas (**Grauwet et al., 2012**).

El procesamiento a alta presión se puede aplicar también como una medida de seguridad adicional a los alimentos refrigerados con una corta vida útil. (**Daniela Borda et al., 2013**)

La aplicación del HPP podría ser una alternativa adecuada y prometedora para sustituir a los tratamientos térmicos como el blanqueo y la pasteurización, etc. para preservar la fruta y verdura fresca, ya que es menos agresivo que los tratamientos térmicos, y que puede aplicarse en temperatura ambiente, Dado que los compuestos beneficiosos como las vitaminas y los compuestos volátiles además del sabor original y la calidad nutricional de los alimentos se conservan adecuadamente. (Denoya et al., 2015)

la dificultad de inactivar esporas bacterianas y algunas enzimas como la PPO, que está relacionada con el oscurecimiento enzimático, y que es resistente a la presión, son unos de los limitaciones a superar, y que dificultan la aplicación con éxito de las HPP en frutas y verduras.

(Denoya et al., 2015)

El tratamiento con HPP puede inhibir e inactivar microorganismos, lo que hace que los alimentos sean seguros para el consumo. Esta técnica de procesamiento ha exhibido amplias aplicaciones industriales para retener los atributos de calidad de los alimentos como el color, sabor y las características nutricionales.

El tratamiento con HPP tiene efectos variables sobre los compuestos bioactivos en las matrices de alimentos.

La aplicación del tratamiento HPP a temperaturas moderadas puede retener la bioactividad y otros atributos de calidad alimentaria de sabor, color y propiedades nutricionales debido a sus efectos mínimos sobre los enlaces covalentes de compuestos bioactivos.

Sin embargo, el tratamiento HPP a temperaturas elevadas induce reacciones bioquímicas que podrían reducir el valor nutricional de los productos alimenticios.

Muchos son los estudios que Numerosos estudios que han demostrado que el procesamiento a alta presión a temperaturas moderadas no afecta significativamente los niveles de vitaminas y polifenoles en los productos alimenticios. Gran parte de su bioactividad también se retiene, lo que hace de esta tecnología una alternativa para el procesamiento térmico. **(Mahadevan y Karwe, 2016)**

Pequeña descripción de las HPP:

El tratamiento de HPP tiene diferentes aplicaciones. En este proceso, los materiales alimenticios están sujetos a presiones isostáticas que van desde 40 MPa (5 kpsi) a 600 MPa (145 kpsi) durante un período de 1 a 20 min. **(Rastogi et al., 2007).**

III.1. Principio básico del método

Dentro de todas las tecnologías de procesamiento no térmico, las HPP es la única tecnología que se ha comercializado con éxito en la última década.

Las HPP implica la aplicación de presión ultra alta (40-1000MPa). Esta ha sido reconocida como una tecnología de procesamiento suave que puede lograr tanto la seguridad alimentaria como la retención del sabor. **(Huang et al., 2014)**

El principio de HPP es el siguiente:

Después de sellar herméticamente el alimento, se coloca en un recipiente hermético con aislamiento térmico y se trata con un ultra alta presión (40-1000MPa), que sea transmitida por un medio líquido (generalmente por agua), que provoca un efecto de pasteurización a través de la aplicación uniforme e instantánea de alta presión. Ilustración **(Huang, et al., 2020)**

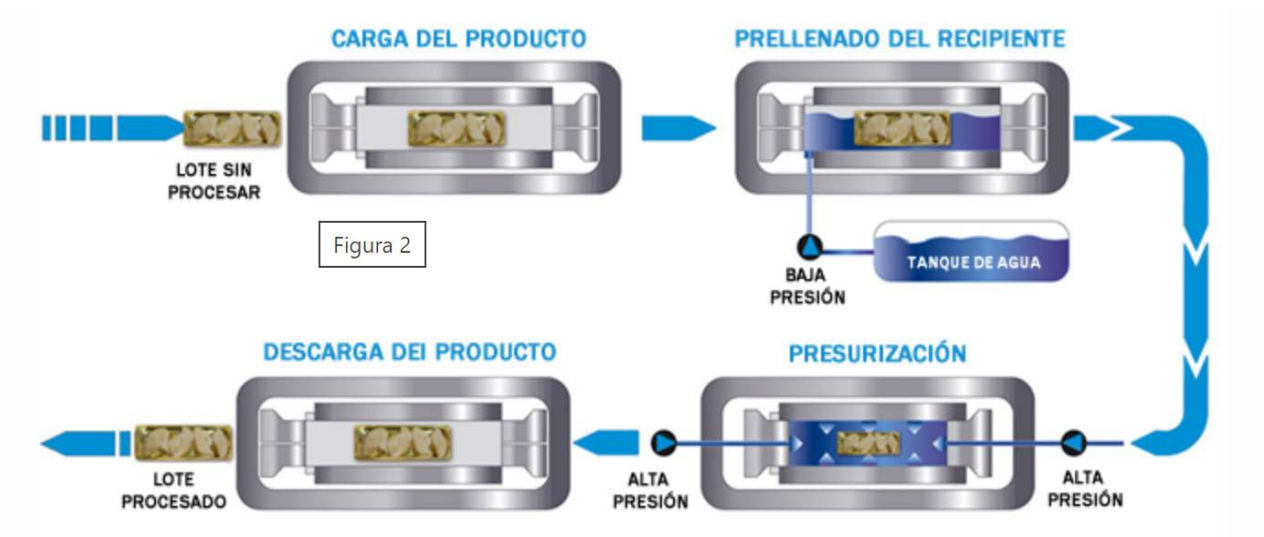


Ilustración 1: Principio del método HPP (hiperbaric-high pressure processing- www.hiperbaric.com)

El principio del calentamiento por compresión, dice que un aumento de 100MPa en presión resuelta a un aumento de 3°C en la temperatura del agua, por eso la temperatura de pasteurización inicial se controla dentro del rango de 5-10°C, lo que significa que cuando la presión se incrementa a 600MPa, la temperatura del agua no superará los 30°C y así no va a tener efectos en los componentes del alimento.

El principio isostático y el principio de Pascal son los principios que rigen la aplicación de presión uniforme sobre el alimento en el recipiente sellado.

Según el principio isostático, cuando se aplica una presión hidrostática a un medio líquido en un entorno cerrado, los objetos reciben la misma presión en cualquier punto del entorno, independientemente de la forma o tamaño del objeto.

El principio de Pascal establece que el cambio de presión causado por la aplicación de una fuerza externa a un fluido en reposo en un contenedor cerrado se transmite de manera uniforme y sin pérdida a cada porción del fluido y a las paredes del contenedor (Balasubramaniam et al., 2015) en (Huang et al., 2020).

Así, los efectos de la pasteurización con altas presiones no están influenciados por la forma o por el tamaño de los paquetes del alimento. Los productos alimenticios con diferentes volúmenes se pueden procesarse en el mismo tiempo. Además, la adición de conservantes no es necesaria para el mantenimiento de la seguridad microbiana. (Huang et al., 2020)

En el pasado, las HPP se han utilizado para la eliminación de patógenos en la industria alimentaria, ya que es una tecnología particularmente adecuada para la pasteurización de alimentos sensibles al calor. Sin embargo, debido a los altos costos de inversión de los equipos HPP, los costos de producción de los productos HPP son ligeramente más altos que los de los productos que no son HPP, lo que resulta en un precio unitario promedio más alto para los productos HPP. Por lo tanto, la utilización de HPP para la pasteurización en la industria alimentaria es mucho menor que la de la pasteurización térmica tradicional. Debido a las diferencias en los costos de producción, se deben adoptar diferentes estrategias de posicionamiento en el mercado para productos HPP y productos pasteurizados térmicamente. En la actualidad, los alimentos saludables son los productos alimenticios de alto precio más ampliamente aceptados entre los consumidores. Con el envejecimiento de la población convirtiéndose en un problema mundial, el concepto de atención médica preventiva ha ganado popularidad gradualmente en los últimos años, proporcionando así un entorno favorable para el desarrollo global de alimentos saludables. (Huang et al., 2020)

III.2. Efectos del tratamiento con HPP

III.2.1. Efectos de HPP sobre microorganismos

El tratamiento HPP es capaz de inactivar bacterias patógenas y de deterioro, levaduras, mohos y virus.

Este tratamiento tiene un efecto un poco limitado sobre las esporas y las ascosporas de algunos hongos como *Byssoschlamys fulva*, *Byssoschlamys nivea*, *Neosartorya fischeri* y *Talaromyces macrosporus*... que pueden soportar presiones de 300 hasta 800MPa.

Se sabe que las células vegetativas (conidios) de los mohos resistentes al calor no son resistentes a la presión (Voldřich et al., 2004).

Los organismos objetivos de los tratamientos de alta presión son los microorganismos vegetativos, cuya inactivación resulta en un producto alimenticio pasteurizado. La sensibilidad a la presión puede diferir ampliamente incluso dentro de las cepas de una especie y no es necesariamente similar a su sensibilidad a la temperatura. Las bacterias Gram-positivas son más resistentes que las bacterias Gram-negativas, y las células en crecimiento exponencial muestran una mayor sensibilidad en comparación con las de la fase estacionaria.

La inactivación depende del tipo de microorganismo, matriz alimentaria, actividad del agua y pH. *Staphylococcus aureus* y *E. coli* O 157: H7 parecen ser las células vegetativas patógenas más resistentes a la presión (Van der Plancken et al., 2008). Los microorganismos

más resistentes a la presión son las esporas bacterianas, para las cuales los niveles de presión de hasta 400-800MPa no garantizan la inactivación. Por lo tanto, la refrigeración, la actividad reducida del agua o la protección ácida (pH bajo) deben usarse en las matrices de alimentos para prevenir el crecimiento de esporas.

Otro enfoque es combinar el tratamiento con altas presiones y tratamiento térmico para obtener un efecto sinérgico. *Clostridium sporogenes*, que se considera un sustituto no toxigénico de *C. botulinum* y una importante bacteria patógena, a 60°C y 400MPa después de 30 minutos de tratamiento exhibe solo una reducción decimal (Mújica-Paz et al., 2011). *C. sporogenes* a 90°C y 600MPa tiene un tiempo de reducción decimal de 16,8 min y 0,7 min a 800MPa y 108°C. (Daniela Borda et al., 2013)

III.2.2. Efectos de HPP sobre los compuestos bio-activos

o Influencia en las propiedades sensoriales: color, textura y sabor

Los compuestos bioactivos, como los carotenoides y las antocianinas, son pigmentos responsables del color en frutas y verduras, el tratamiento HPP (a temperaturas moderadas <60°C) tiene un efecto limitado sobre su estabilidad. Sin embargo, el tratamiento a presión a temperaturas más altas puede causar degradación de compuestos bioactivos. Como consecuencia, el color y la apariencia general de estas frutas y verduras procesadas a presión también se verán afectadas. (diferencias de color visuales mínimas o nulas)

Por ejemplo, en un estudio sobre tratamientos de fresa se ha mostrado que el puré de fresa tenía un enrojecimiento (color rojo de fresa natural) más alto en comparación con las muestras tratadas térmicamente, pero más bajo que las muestras no tratadas. El tratamiento a 600MPa/10-30°C/15min mostró la mayor retención de enrojecimiento. (Mahadevan y Karwe, 2016)

El sabor, la percepción sensorial del gusto y el olfato, está indirectamente relacionado con el comportamiento de los compuestos bioactivos en los alimentos. En general, los compuestos que proporcionan el sabor en frutas y verduras consisten en una estructura molecular pequeña, compuestos volátiles o no volátiles, como aldehídos, ésteres, ácidos, lactonas, cetonas, alcoholes, compuestos de azufre, etc. Su estructura no se ve afectada directamente por la alta presión, ya que son moléculas con enlaces covalentes, se ha demostrado que la alta presión influye indirectamente en la actividad de algunas enzimas que catalizan reacciones que involucran compuestos bioactivos que resultan en la formación de compuestos de mal sabor. (Rodrigo et al., 2007)

o Vitaminas

Vitamina B: La mayoría de los estudios que prueban la estabilidad de las vitaminas B a alta presión no han reportado pérdidas significativas en su concentración y actividad a temperatura ambiente con algunas pérdidas a temperaturas elevadas. Los sistemas multivitamínicos modelo que contienen niveles variados de tiamina (vitamina B1), piridoxal (vitamina B6) y ácido ascórbico (vitamina C) fueron sometidos a presiones que van desde 200 a 600MPa durante 30 minutos a 20°C para determinar la estabilidad de estas vitaminas. La tiamina y la piridoxal en el sistema modelo no se vieron afectadas por el procesamiento a alta presión. Sin embargo, a temperaturas superiores a 40°C, la tiamina y el monofosfato de tiamina mostraron una degradación acelerada. **(Oey et al., 2008)**

Vitamina C: La mayoría de los estudios han demostrado que el ácido l-ascórbico es resistente a la presión y sobrevive a los tratamientos a presión por debajo de 50°C. Sin embargo, hay una pérdida significativa durante los tratamientos combinados de alta presión y alta temperatura **(Van Den Broeck et al., 1998)**. Se ha demostrado que el oxígeno juega un papel importante en la degradación del ácido ascórbico, ya que esta degradación es una reacción rápida dependiente del oxígeno que continúa hasta que se agota el oxígeno, seguido de la degradación anaeróbica. Por lo tanto, limitar la exposición al oxígeno puede controlar la degradación del ácido ascórbico. **(Mahadevan y Karwe, 2016)**

o Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos amarillo-naranja que se encuentran comúnmente en frutas y verduras. Se ha encontrado que estos compuestos son algo estables a la presión en las matrices de alimentos. Entre los productos a base de frutas y verduras, los efectos de la presión sobre la estabilidad de los carotenoides fueron muy diferentes de los sistemas modelo. Se ha demostrado que HPP tiene un efecto menor o no significativo sobre la estabilidad de los carotenoides dentro de las matrices de alimentos. También se ha demostrado que el tratamiento con HPP aumenta la extracción de carotenoides de su matriz vegetal. **(Mahadevan y Karwe, 2016)**

o Flavonoides

Los flavonoides han recibido considerable atención en la comunidad científica debido a su alto valor nutraceutico y sus efectos promotores de la salud. La familia de los flavonoides consiste en una variedad de compuestos bioactivos como antocianinas, flavonoles, isoflavonas y flavonas.

Las antocianinas en frutas y verduras tratadas a presión no son estables durante el almacenamiento posterior. Se han implicado varios mecanismos en la inestabilidad de antocianinas durante el almacenamiento de productos alimenticios presurizados.

El primer mecanismo hipotético se debe a la inactivación incompleta de las enzimas en las frutas que catalizan las reacciones de degradación de antocianinas. **(Mahadevan y Karwe, 2016)**

Entre los flavonoles, se informó que la quercetina, la quercetina-3-glucósido y la quercetina-3,4-diglucósido presentes en las cebollas aumentaron su concentración después de la presurización entre 100 y 400MPa/5-50°C/5min en comparación con las cebollas no tratadas.

El aumento en las concentraciones individuales de flavonol y el contenido total de flavonol fue menor a 50°C que a 5°C para el tratamiento con 100MPa. Las cebollas tratadas a 100MPa/5°C/5 min mostraron un aumento del 26% en el nivel de quercetina total y un aumento del 18% a 100MPa /50°C/5 min en comparación con las cebollas no tratadas. El aumento en la concentración de flavonol después de la presurización se atribuyó a una mejor capacidad de extracción de la matriz de la planta, y el uso de temperaturas más altas (>30°C) en combinación con la presión causó efectos perjudiciales sobre los flavonoles. **(Roldan-Marin et al., 2009).**

o Actividad antioxidante y propiedades sensoriales en alimentos

Como consecuencia directa de la estabilidad / inestabilidad de los compuestos bioactivos durante el tratamiento HPP, especialmente si el tratamiento era combinado con tratamiento térmico, se pueden alterar las diferentes propiedades funcionales de los alimentos. Las propiedades comúnmente afectadas son la actividad antioxidante y la calidad sensorial (color, textura, sabor) de los productos alimenticios.

Muchos compuestos bioactivos, por ejemplo, vitaminas, flavonoides y carotenoides, son antioxidantes fuertes. También está claro que el HPP afecta la estabilidad y los rendimientos de extracción de estos compuestos bioactivos. Como consecuencia, la actividad antioxidante de estos compuestos bioactivos también se verá un poco afectada. El efecto de la alta presión sobre la actividad antioxidante de los compuestos bioactivos en diferentes matrices alimentarias es diverso. **(Mahadevan y Karwe, 2016)**

La actividad antioxidante hidrofílica de las verduras, como el brócoli, las judías verdes y las zanahorias, se vio afectada de manera diferencial por la HPP. Los valores de FRAP (reducción férrica / poder antioxidante) del brócoli no cambiaron después del tratamiento a

presión. En el caso de las zanahorias y las judías verdes, los valores de FRAP se redujeron ligeramente a 400MPa para las zanahorias y aumentaron a 400 y 600 MPa para las judías verdes. (McInerney et al., 2007).

III.2.3. Influencia de HPP en los beneficios para la salud de los productos alimenticios

El procesamiento de alta presión hidrostática (HPP) ya se ha aplicado en las industrias alimentarias. Además de mantener la seguridad y la calidad de los alimentos, HPP también tiene aplicaciones potenciales en la mejora de los beneficios para la salud de los productos alimenticios.

A través de HPP, el valor nutricional de los productos alimenticios se puede mejorar o retener, lo que incluye promover la biosíntesis del ácido g-aminobutírico (GABA) en los materiales alimenticios, retiene los componentes de inmunoglobulina en los productos lácteos, aumenta el contenido de almidón resistente en los cereales y reduce el índice de glucemia. de productos de frutas y verduras, lo que facilita un mejor control de los niveles de glucosa en sangre y disminuye la ingesta de calorías. HPP también se puede utilizar para el desarrollo de productos alimenticios bajos en sodio y el mantenimiento de la seguridad microbiana, lo que reduce el riesgo de desencadenar enfermedades cardiovasculares. Además, HPP se puede utilizar para mejorar la diversidad de productos alimenticios probióticos. (Huang et al., 2020)

o Aumento del contenido de almidón resistente.

Según el índice de digestión en el cuerpo humano, el almidón se puede clasificar en almidón de digestión rápida (RDS), almidón de digestión lenta (SDS) y almidón resistente (RS). En general, el SDS es el tipo más ideal de almidón dietético, ya que reduce la tasa de digestión del almidón en el intestino delgado y disminuye los niveles de glucosa en sangre posprandial. El tratamiento de alta presión hidrostática (HHP) reduce significativamente el cambio de entalpía del almidón retrogradado y convierte el agua congelable en agua no congelable durante el proceso de retrogradación. Esto indica que el porcentaje de SDS no se correlaciona positivamente con el grado de retrogradación del almidón. (Huang et al., 2020)

Un estudio de Tian et al., (2013) mostró que HPP disminuyó el contenido de almidón no céreo y céreo del arroz de 19.5% a 12.1% y 15.7% a 11.4%, respectivamente, al tiempo que aumentó los pequeños cristales imperfectos en los almidones de 26.4% a 30.7% y 28.6% a 31.3 %, respectivamente. En un estudio de Li et al., 2015, sobre la influencia del tratamiento a alta presión en las propiedades fisicoquímicas y estructurales del almidón de frijol rojo, se

encontró que un aumento en la presión del tratamiento (150 a 600MPa) promovió la gelatinización del almidón, lo que redujo el grado de cristalinidad y la temperatura de gelatinización. En particular, el tratamiento a 600MPa durante 15 minutos dio como resultado la gelatinización completa del almidón y la pérdida de la birrefringencia. Se ha indicado que la alta presión también promueve la gelatinización de garbanzos y guisantes (**Álvarez et al., 2016; Leite et al., 2017**).

o Reducción del índice glucémico.

El IG es una medida del aumento en los niveles de glucosa en sangre después de la ingesta de alimentos que contienen sacárido. El consumo de alimentos con bajo IG puede ayudar a prevenir enfermedades asociadas con la resistencia a la insulina y la diabetes mellitus.

Elizondo-Montemayor et al. (2015), estudiaron los efectos del procesamiento de HHP del puré de mango fresco sobre las IG y las respuestas glucémicas posprandiales. El IG promedio para el puré de mango procesado por HHP fue significativamente menor (32.7) que el del puré de mango sin procesar (42.7). Ninguno de los sujetos en el grupo de individuos que han tomado puré de mango procesado por HHP mostró un IG alto, en comparación con una proporción significativamente mayor de IG alto en el grupo de individuos que han tomado puré de mango sin procesar.

Los IG del puré no tratado y el puré tratado con presiones de 100MPa, 300MPa y 600MPa fueron 65.4, 66.3, 55.4 y 49.8, respectivamente, lo que indica que el IG disminuye con un aumento en la presión del tratamiento.

El procesamiento de HHP del mango puede ofrecer beneficios adicionales para el control glucémico, ya que puede reducir el IG del puré de mango. (**Huang et al., 2020**)

o Desarrollo de productos probióticos.

Las HPP protegen eficazmente a *Lactobacillus rhamnosus* GG, una cepa pro-biótica presente en productos alimenticios a base de frutas; Los estudios han demostrado que la concentración de *L. rhamnosus* GG en productos HPP podría mantenerse por encima de 108 UFC / ml, incluso después de 30 días de almacenamiento. Lo que indica que el tratamiento HPP puede ser utilizado para el desarrollo o conservación de productos prebióticos (**Moreira et al., 2017**).

III.3. Beneficios y desventajas del tratamiento con altas presiones

HPP es superior a las tecnologías tradicionales de procesamiento térmico en:

1) se puede realizar a temperatura ambiente, lo que reducirá el consumo de energía usado para el calentamiento y el enfriamiento posterior

2) El alimento se procesa en su paquete final, y no entra en contacto directo con el equipo de procesamiento, lo que evita la contaminación secundaria, posterior a la pasteurización y que permite la recuperación y reutilización del medio transmisor.

Como HPP posee las ventajas de bajo consumo de energía y baja contaminación, es una tecnología de procesamiento relativamente amigable con el medio ambiente **(Muntean et al., 2016)**

La tecnología de HPP es una tecnología innovadora y emergente con potencial para optimizar la ingesta de fitoquímicos nutrientes y no nutrientes en los alimentos humanos. La retención de los atributos organolépticos y otras características de frescura, combinada con una mayor comodidad y una mayor vida útil, sin duda aumentará el atractivo de los alimentos conservados con HPP para los consumidores **(Deliza et al., 2005)**.

En comparación con el procesamiento térmico a presión atmosférica, HPP tiene una gran ventaja de transmitir instantáneamente presión uniforme desde todos los lados sobre el material alimenticio, independientemente del tamaño y la forma del producto **(Hogan et al., 2005)**.

Por lo tanto, los alimentos pueden pasteurizarse y conservarse para conservar las características más frescas y saludables deseadas por los consumidores **(Mahadevan y Karwe, 2016)**.

El tratamiento HPP es menos agresivo que los tratamientos térmicos, y se puede aplicar en temperatura ambiente, Dado que los compuestos beneficiosos como las vitaminas y los compuestos volátiles además del sabor original y la calidad nutricional de los alimentos se conservan adecuadamente.

La dificultad de inactivar esporas bacterianas y algunas enzimas como la PPO, que está relacionada con el oscurecimiento enzimático, y que esta resistente a la presión, son unos de las limitaciones a superar, y que dificultan la aplicación exitosa de HPP en frutas y verduras.

(Denoya et al., 2015)

Tabla 2 resumen de ventajas y desventajas del tratamiento HPP

ventajas	Desventajas
Reducir el consumo de energía	Dificultad de inactivar esporas bacterianas
Evitar la contaminación secundaria	Dificultad para inactivar algunas enzimas que provoquen el dorado enzimático (ej. PPO)
Recuperar y reutilizar del medio transmisor del presiones	Algunos microorganismos necesitan tratamiento combinados al tratamiento térmico
Tecnología amigable con el medio ambiente	Coste del equipo
Tecnología menos agresiva	Falta de confianza del consumidor
Retener los atributos organolépticos, sabor original y la calidad nutricional del alimento	
Retener las características de frescura	
Mejorar la vida útil sobre el material alimenticio, independientemente del tamaño y la forma del producto	

IV. Objetivo:

El objetivo de este trabajo de fin de master fue el desarrollo del estudio del uso de altas presiones combinados o no a la aplicación de tratamientos térmicos suave para conservar los vegetales, prolongar su vida útil, y conservar sus compuestos beneficiosos como las vitaminas y los compuestos volátiles, su sabor original y su calidad nutricional.

Para eso, se hace un estudio bibliográfico por el fin de explicar el método de aplicación de altas Presiones en la conservación de vegetales y también una discusión de los resultados de algunos trabajos que tratan la misma problemática o tienen un objetivo similar, encontrados en libros o artículos científicos.

V. Materiales y Métodos:

V.1. El equipo de alta presión

El equipo generalmente consiste en un recipiente a presión con una capa de aislamiento externa, cierres de extremo superior e inferior, yugo (estructura para restringir los cierres de extremo), intensificador de alta presión, controlador de proceso e instrumentación, sistema de manejo para cargar y retirar el producto. (Borda et al., 2013)

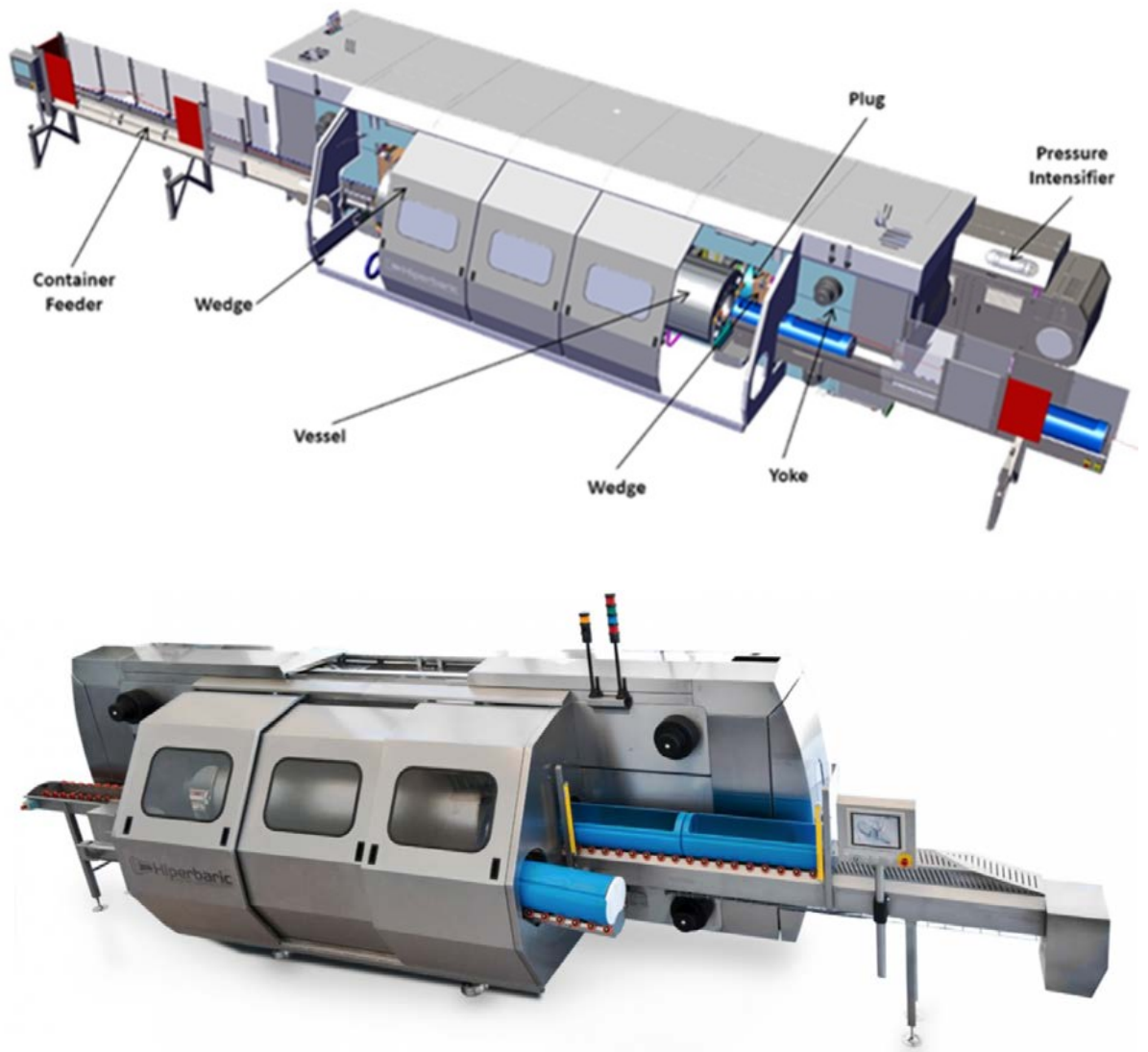


Ilustración 2 el equipo del tratamiento con altas presiones

- a) Esquema del componentes del equipo <https://blog.hiperbaric.com/alternativas-al-procesado-tradicional-de-alimentos-hpp>
- b) Ejemplo de un equipo de la empresa Hiperbaric <http://hppofovirginia.com/>

El procesamiento puede hacerse:

a) en procesamiento por lotes, donde los alimentos ya están pre-ensados (ilustración 3).

Se podrían operar varios recipientes a la vez para minimizar el tiempo de retraso asociado con la presurización y despresurización del recipiente;

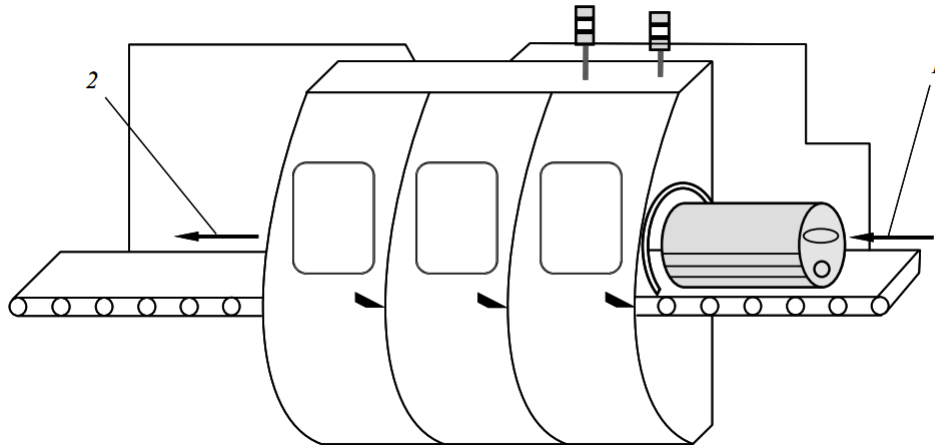
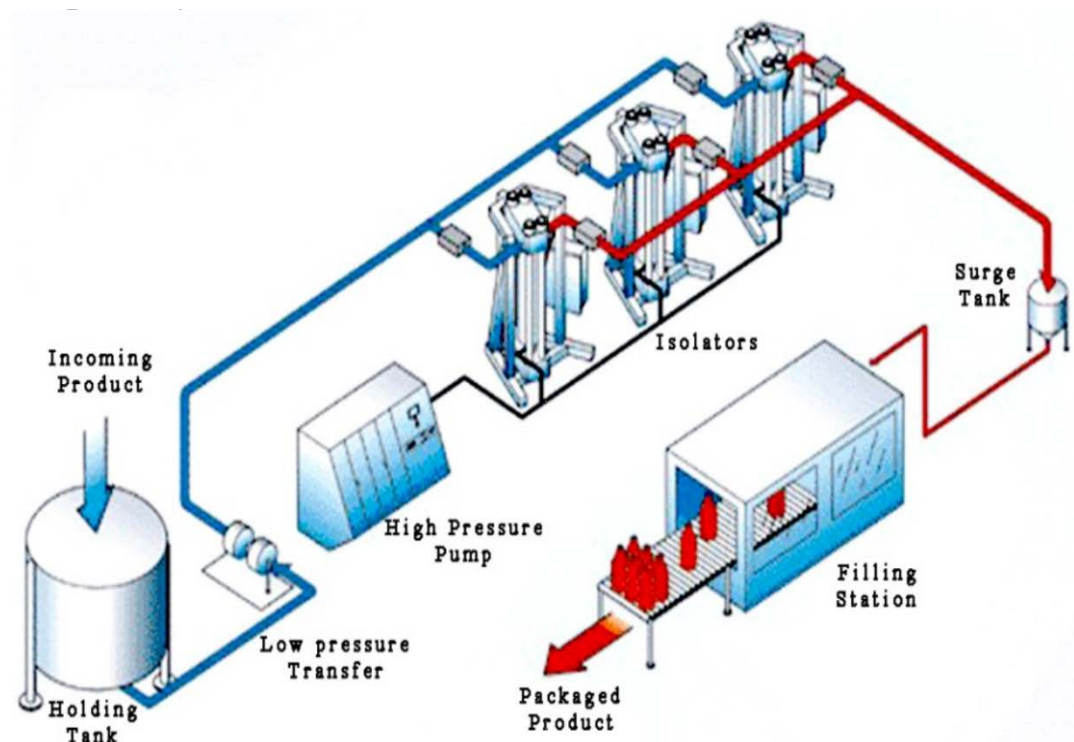


Ilustración 3 Sistema Batch equipamiento

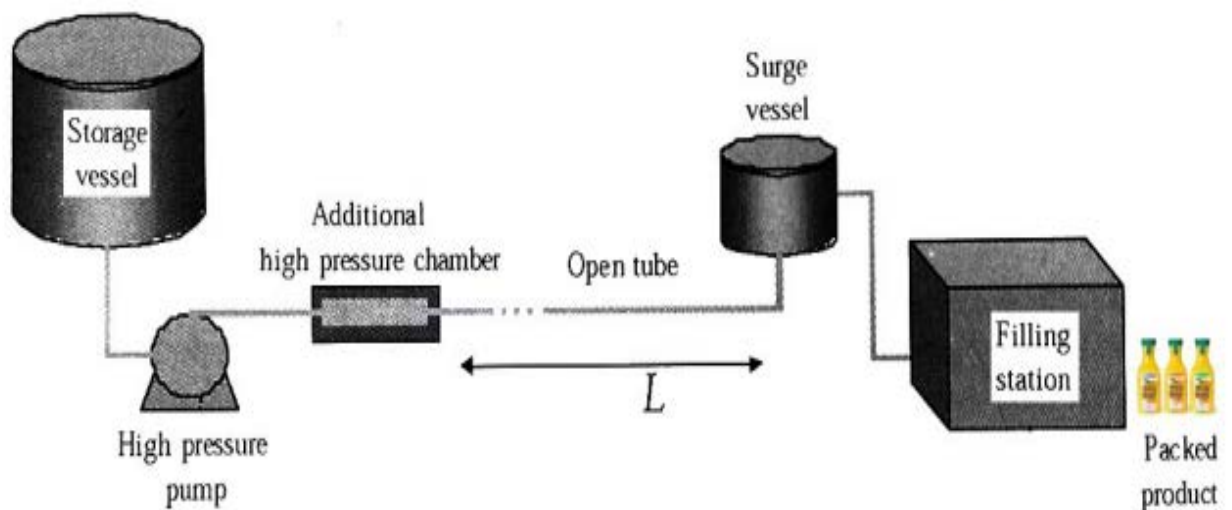
1. entrada del producto(s) 2.salida del producto (Mújica-Paz et al., 2011).

b) en modo de procesamiento semi-continuo con múltiples recipientes a presión que pueden proporcionar un flujo continuo al tener al mismo tiempo compresión en un recipiente y descompresión en otro recipiente

Ilustración 4 Sistemas de alta presión semi-continuas (Balasubramaniam, 2007)



c) en sistemas de alta presión continuas con tuberías largas de la bobina de acero inoxidable (Hjelmqwist, 2005). Una bomba hidráulica introduce el líquido y luego se aplica la presión. La válvula de salida libera gradualmente el producto presurizado de forma continua. (Gupta y Balasubramaniam, 2012).



Medios de generación de presión

Dos tipos de procesos de compresión, compresión directa (pistón) o indirecta (bomba) pueden lograr la generación de altas presiones en los recipientes a presión (ilustración 6)

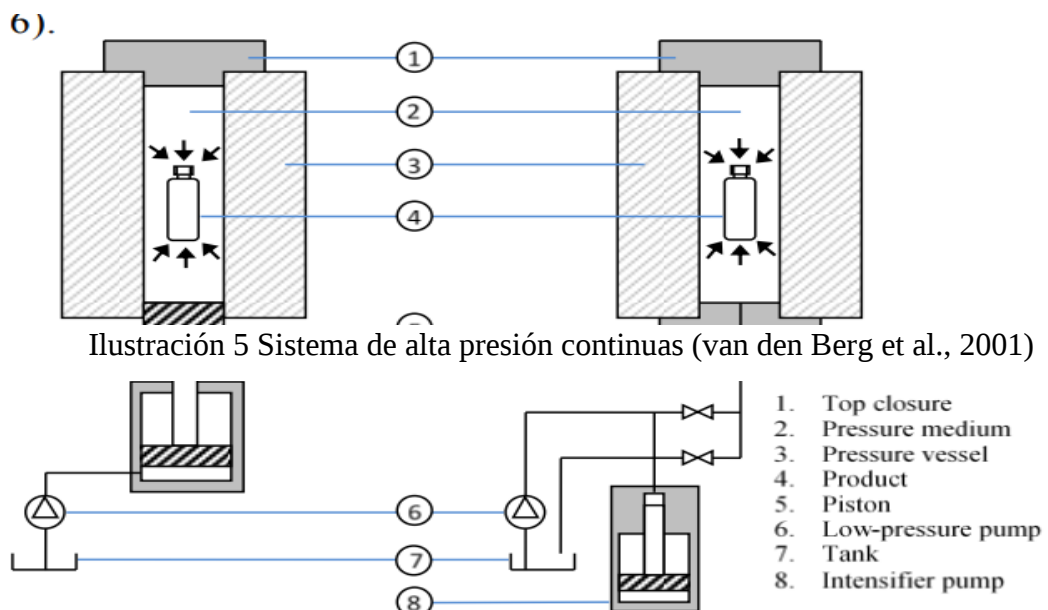


Ilustración 6 Esquema de los modos de generación de presión en un equipo de HPP

Compresión directa (izquierda) y compresión indirecta (derecha)
(Wael et al., 2015)

- Compresión directa

Esta técnica utiliza el cierre extremos de los vasos para actuar como un pistón para construir / liberar la presión. Esto sucede reduciendo el volumen específico dentro del recipiente hasta que se alcanza la presión deseada. Aunque el sistema directo puede lograr una compresión rápida, las restricciones del sello dinámico entre el pistón y el vaso obstruyen las aplicaciones de esta técnica para un laboratorio a pequeña escala. **(Wael et al., 2015)**

- Compresión indirecta

La compresión indirecta es el método utilizado en la aplicación de muchos equipos de procesamiento de alta presión en la industria alimentaria. Emplea una bomba intensificadora de alta presión para comprimir un fluido a presión desde su tanque de reserva a un recipiente a presión, transmitido a través de tubos de alta presión. Esta técnica es más apropiada para alimentos sólidos y líquidos altamente viscosos. Este método también permite liberar la presión o mantenerla constante al nivel requerido durante el tiempo de tratamiento durante varios minutos. **(Wael et al., 2015)**

La mayoría de las aplicaciones de alta presión en los alimentos no solo dependen de la presión sino también de la temperatura. La compresión de los alimentos es de aproximadamente el 15% para el tratamiento de 600MPa, lo que refleja principalmente la compresión de su contenido de humedad, pero será mayor si el alimento contiene espacios vacíos como en el caso de las frutas y verduras que tienen entre el 9% y el 30% de su volumen lleno con aire, o en productos con alto contenido de grasa, ya que la grasa tiene una mayor compresibilidad que el agua **(Mújica-Paz et al., 2011)**.

V.2. Preparación de la muestra y su envasado

Hay diferente modo de preparación de la muestra y su envasado que dependen de su naturaleza y el objetivo del tratamiento.

En un estudio sobre los efectos de la aplicación de altas presiones en arándanos, Para evaluar el mejor método del envasado antes del tratamiento, los arándanos se envasaron de tres maneras diferentes:

- envasados al vacío en agua destilada,
- envasados al vacío sin agua
- sellados sin agua.

Después del tratamiento con HPP a 600MPa durante 10 minutos, y almacenaje a 3°C, se ha visto que los arándanos no resistieron el vacío sin agua: fueron aplastados por el vacío. Los

sellados en el aire, sin vacío, no resistieron el HPP y tenían la piel abierta. El vacío sellado en agua destilada mostró calidad comercial en términos de apariencia después de la HPP.

Se descubrió que el mejor método de envasado es el envasado al vacío en agua. **(Scheidt y Silva, 2018)**

Mediante la prueba sensorial se concluyó que los panelistas no detectaron diferencias visuales entre los arándanos frescos y los tratados.

La HPP disminuye la dureza de los arándanos, pero no se ve afectada por el tiempo de procesamiento de hasta 60 minutos. Para 600MPa, parece ocurrir una recuperación de la dureza original. Una prueba de almacenamiento mostró que la dureza de los arándanos procesados se mantuvo durante al menos 28 días. **(Scheidt y Silva, 2018)**

En un otro estudio que trata los efectos del tratamiento a altas presiones en cocoyam, la zanahoria peruana y la batata, los vegetales se limpiaron y pelaron y los tubérculos se cortaron en cubos de 0,5 cm y se sumergieron en agua a 15°C para minimizar el dorado inicial.

El envasado se ha hizo en bolsas flexibles (LDPE-Nylon-LDPE, 16µm de espesor-TecMaq, Brasil), al vacío para ser procesados como muestras de cubos. **(Tribst et al., 2016)**

V.3. Requisitos de equipo y empaque

El tratamiento HPP de los alimentos utiliza presiones superiores a 100MPa, lo que requiere un equipo que no solo genera alta presión, sino que también soporta la presión utilizada. **(Huang et al., 2014)**

Un sistema HPP típico consiste en un recipiente de alta presión y su cierre, un sistema de generación de presión, un sistema de transmisión de presión y un sistema de control de temperatura. El recipiente de alta presión es el componente más importante del equipo de HPP, generalmente es un recipiente cilíndrico monolítico forjado construido a partir de una aleación de acero de alta resistencia a la tracción. Varios aspectos se deben considerar para construir un recipiente de alta presión estable y seguro.

Los fluidos transmisores de presión se utilizan para transmitir la presión de manera uniforme e instantánea a los alimentos dentro del recipiente. Los fluidos más utilizados son agua, soluciones de glicol de grado alimenticio, soluciones de etanol, aceite de silicona y aceite de ricino.

Los pasos de compresión y descompresión pueden dar como resultado un cambio transitorio de temperatura de los fluidos que transmiten presión durante el tratamiento. **(Huang et al., 2014)**

La temperatura aumentará durante la fase de compresión como resultado de la compresión física, y volverá a una temperatura ligeramente más baja que su temperatura inicial tras la descompresión debido a las pérdidas de calor durante la fase de compresión. **(Patazca et al., 2007).**

Un sistema de control de temperatura es necesario para regular la temperatura de funcionamiento con precisión durante el tratamiento con HPP. Se puede generar alta presión por compresión directa o indirecta de los fluidos transmisores de presión. **(Yordanov y Angelova, 2010).** En un sistema de compresión directa, los fluidos de presión en el recipiente de alta presión son presurizados directamente por un pistón que es impulsado por una bomba de baja presión. Este método presurizado permite una compresión más rápida que el método indirecto; sin embargo, las limitaciones del sello dinámico de alta presión entre el pistón y la superficie interna del recipiente restringen el uso de este método a escala de laboratorio o equipo piloto a escala de planta con diámetros más pequeños.

En un sistema de compresión indirecta, los fluidos de presión se bombean desde el depósito al recipiente cerrado de alta presión mediante un intensificador de alta presión, hasta alcanzar la presión objetivo. Solo se necesitan sellos estáticos de alta presión dentro del recipiente de alta presión en este método, por lo que es adecuado para su uso en equipos a escala de planta con diámetros más grandes **(Yaldagard et al., 2008)**

Se necesitan varias consideraciones para seleccionar paquetes para productos HPP. El material de embalaje debe poder soportar la presión de funcionamiento, tener buenas propiedades de sellado y proteger el contenido para evitar el deterioro de la calidad durante la aplicación del tratamiento **(Rastogi et al., 2007).**

Debido a que el alimento disminuye en volumen durante la compresión, y se produce una expansión equivalente tras la descompresión, el empaque utilizado para los alimentos tratados con HPP debe ser capaz de acomodar hasta un 15% de reducción en el volumen y volver a su volumen original sin perder la integridad del sello y las propiedades de barrera. **(FDA, 2011).**

Por lo tanto, no se pueden usar materiales rígidos como recipientes de metal o vidrio. Para garantizar la utilización eficiente del paquete, así como el espacio dentro del recipiente a presión, se debe minimizar el espacio de cabeza mientras se sella el paquete, lo que también minimiza el tiempo necesario para alcanzar la presión objetivo **(Rastogi et al., 2007).**

Los procedimientos completos de HPP para productos alimenticios incluyen el envasado de los productos alimenticios en un material flexible y se cargan en una cámara de alta presión y el recipiente se sella y se llena con fluidos transmisores de presión.

Una vez que se alcanza la presión deseada, se detiene la bomba o el pistón, se cierran las válvulas y se puede mantener la presión. Después de mantener el producto durante un tiempo de tratamiento deseado a la presión objetivo, el recipiente se descomprime liberando el fluido transmisor de presión. Los alimentos HPP se sacan para su almacenamiento y están listos para el siguiente procedimiento operativo. **(Yordanov y Angelova, 2010).**

V.4. Marco legislativo en la UE y los EE. UU.

En los Estados Unidos, la Ley de Drogas y Cosméticos para Alimentos establece que todos los productos alimenticios deben procesarse, envasarse y mantenerse en condiciones sanitarias. Se requiere que los productos HPP se procesen bajo condiciones GMP, y se aplican regulaciones específicas de productos para jugo (jugo HACCP) mariscos (Sea Food HACCP) y leche (Ordenanza de leche pasteurizada) (Barbosa-Cánovas y Juliano, 2008).

En Europa, el marco legislativo y la historia de los productos de alta presión crean un entorno más complejo. En 1997, el Reglamento (CE) no 258/97 del Parlamento Europeo hizo cumplir la nueva legislación sobre ingredientes alimentarios (NFR). Según esta regulación, los alimentos nuevos se consideran "alimentos e ingredientes alimentarios a los que se les ha aplicado un proceso de producción que no se usa actualmente, donde ese proceso da lugar a cambios significativos en la composición o estructura de los alimentos o ingredientes alimentarios que afectan su valor nutricional, metabolismo o nivel de sustancias indeseables".

Un año después, el Grupo Danone solicitó a la autoridad competente en Francia una aprobación para un producto de fruta a alta presión. En mayo de 2001, la Comisión Europea decidió aprobar la colocación de este producto en el mercado de la UE. Este es el único producto de alta presión aprobado en la lista de nuevas regulaciones alimentarias desde 2001 hasta ahora. Durante la primera evaluación de un producto de fruta tratada a alta presión, se le pidió a Danone que demostrara la seguridad de las preparaciones de fruta a alta presión.

Las condiciones de refrigeración, el pH y la actividad del agua se discutieron como medidas para prevenir el crecimiento de *C. botulinum* en los productos. Sin embargo, Danone nunca comercializó el producto para el que tenían aprobación, pero esa aprobación protege productos similares comercializados en Europa. Las prácticas de la UE aún podrían considerar para aprobación bajo NFR un producto obtenido a través de la tecnología de procesamiento de alta presión, si el producto es significativamente diferente del que ya está aprobado. **(Borda et al., 2013)**

VI. Resultados y discusión:

Muchas aplicaciones exitosas de HPP se han desarrollado en el sector de frutas y verduras, donde la ventaja de HPP es el sabor fresco de los productos finales, manteniendo las propiedades nutricionales, inactivando microorganismos y enzimas, lo que desencadena la extensión de la vida útil.

En Japón, HPP se ha utilizado durante mucho tiempo para el procesamiento de la fresa, la manzana y el kiwi que se envasaron en vasos de plástico y se procesaron a presión de 400MPa durante 20 minutos, el beneficio del procesamiento a alta presión en lugar del procesamiento térmico tradicional es la preservación del color natural del producto final y también el sabor y sabor natural fresco (**Rastogi et al., 2007**).

En Europa, el primer alimento a alta presión fue un jugo de naranja producido por una compañía francesa, UltiFruit en 1994.

Muchos son los estudios que estudian los efectos del tratamiento HPP combinado o no al tratamiento térmico suave (tabla 3) (**Borda et al., 2013**)

Tabla 3: efectos de diferente tratamiento HPP sobre alimentos (Borda et al., 2013)

alimento	Tratamiento HPP	Efectos
Tomate	100-600MPa, 20°C, 12min	Aumento de la estabilidad del licopeno
	300-500MPa, 25°C-90°C	Inactivación microbiana y enzimática
Pina	100-700MPa, 25°C	Aumento de la inhibición de E.coli y listeria innocua, reducida de su dureza
Broccoli	500MPa, 10min	5log inactivación macrobia
Zanahoria	100-500MPa, 20-60°C	Esterilización con menos pérdida de la dureza, mejor calidad y contenido de caroteno

En un estudio para la evaluación del impacto del procesamiento con alta presión en la col blanca **alvarez-Jubete et al. (2014)**, estudian los efectos de los tratamientos combinados de presión / temperatura (200, 400 y 600 MPa, a 20° y 40°C) sobre las características físicas y químicas clave de la col blanca.

Las muestras para tratamientos de alta presión se sometieron a 200, 400 o 600MPa durante 5 minutos a dos temperaturas diferentes, 20°C o 40 ° C, en un procesador de alimentos de alta presión Stansted Fluid Power Iso-Lab 900 Power (Stansted Fluid Power Ltd., Stansted, Reino

Unido). El medio transmisor de presión utilizado fue una mezcla de etanol y aceite de ricino (90:10).

El contenido de ácido ascórbico de la col blanca se redujo significativamente después del escaldado y todos los tratamientos de procesamiento a alta presión. El ácido ascórbico es un compuesto sensible al calor y, por lo tanto, las pérdidas en muestras blanqueadas pueden atribuirse a la degradación térmica. El blanqueo y la HPP a 600MPa (20 ° C y 40 ° C) presentaron niveles similares de ácido ascórbico, mientras que la HPP a niveles de presión más bajos indujo pérdidas más fuertes.

En cuanto a los fenoles, las muestras procesadas a 200 y 400MPa mostraron contenidos totales similares a las muestras no tratadas. Las muestras presurizadas a 600MPa aumentaron los niveles de fenoles totales, pero ninguna de estas diferencias fue significativa.

De este estudio, concluyeron que el uso del procesamiento a alta presión puede inducir cambios significativos en la calidad de la col blanca. Pero los tratamientos de HPP (como 600MPa) resultaron en niveles significativamente más altos de actividad antioxidante y fitoquímicos importantes como los fenoles y los isotiocianatos, así, el tratamiento HPP puede representar una tecnología atractiva para procesar productos alimenticios a base de vegetales que mantiene mejor aspectos importantes relacionados con el contenido de compuestos que promueven la salud. (Alvarez-Jubete et al., 2014)

Según Denoya et al. (2015) el tratamiento HPP ha demostrado ser una tecnología emergente prometedora, capaz de producir frutas frescas recién cortadas. En su estudio sobre los efectos del HPP y el envasado al vacío en la preservación de melocotones recién cortadas, por eso, cubos de melocotones se trataron con una solución de ácido ascórbico y ácido cítrico para inhibir el pardeamiento enzimático y después se sometieron a:

- A) envasado al vacío y HPP (500 MPa-5 min),
- B) sólo envasado al vacío,
- C) grupo de control.

Inmediatamente después del procesamiento, después de 15 y 21 días, se realizaron diferentes evaluaciones sobre las muestras: Las muestras presurizadas mostraron las mejores propiedades de textura. Los melocotones sometidos a HPP combinada el envasado al vacío también tenían un contenido significativamente menor de actividad de etanol y PPO que los otros tratamientos, lo que evidencia que la combinación inhibió con éxito la fermentación y el pardeamiento.

En este estudio, demostraron el efecto beneficioso del tratamiento HPP (500 MPa-5 min) en la calidad del producto y la extensión de su vida útil, especialmente cuando se combina con otras estrategias de conservación (ácidos orgánicos, envasado al vacío y almacenamiento refrigerado). El color y la textura de los melocotones recién cortados sometidos a la combinación de HPP y VP (vacuum packaging: envasado al vacío) podrían conservarse bien durante al menos 21 días en almacenamiento refrigerado (10°C), con solo pequeñas alteraciones, como la translucidez de los tejidos.

El envasado al vacío, una tecnología que garantiza la ausencia de oxígeno dentro del embalaje, contribuyó a la preservación del color al inhibir el pardeamiento enzimático en el paquete. Por otro lado, cuando se abrió el paquete y el producto se volvió a exponer a la concentración normal de oxígeno, se evitó el ennegrecimiento debido a la inhibición parcial de PPO provocada por el efecto concomitante del tratamiento con HPP combinado a la inmersión en ácido orgánico. La HPP también fue efectiva para controlar el metabolismo fermentativo que de otro modo habría sido inducido por el vacío. **(Denoya et al., 2015)**

Se ha encontrado que el tratamiento HPP es una tecnología prometedora para la extensión de la vida útil de la pulpa de papaya recién empaquetada. **(Zhang et al., 2017)**

En un estudio en 2017 que esta hizo por Zhang, Dai, y Brannan, Las muestras se han sometidos a 600MPa de presión a temperatura de 4°C durante 76 segundos, según lo recomendado por investigaciones anteriores **(Barba et al., 2014; Woolf et al., 2013)**.

Los efectos del procesamiento a alta presión (HPP), y otros tratamientos (pasteurización, ácido ascórbico y esteviósidos), fueron comparados en diferentes tiempos de almacenamiento (1 día, 15 días, 30 días y 45 días a 4°C), sobre la actividad de la polifenol-oxidasa (PPO), color y análisis sensorial de pulpa de fruta de papaya.

El HPP disminuyó significativamente, pero no inhibió por completo la actividad de PPO y no afectó significativamente ninguno de los atributos sensoriales.

La actividad de PPO disminuyó después del día 1 de almacenamiento refrigerado y se mantuvo sin cambios a partir de entonces. **(Zhang, et al., 2017)**

Las zanahorias frescas también se pueden procesar usando el procesamiento por alta presión (HPP), ozono, ultrasonidos, agua alcalina ionizada. De todos estos tratamientos, HPP a 350 y 450MPa durante 5 min logró las mayores reducciones en bacterias aerobias mesófilas totales, mohos y levaduras totales, coliformes totales, *Escherichia coli* O157: H7 y *Salmonella Enteritidis*. **(Evrendilek y Ozdemir, 2019)**

El tratamiento con HPP fue más efectivo en la inactivación de bacterias mesófilas aerobias totales, moho y levadura total, coliforme total y *S. Enteritidis* que los otros tratamientos. Los tratamientos con HPP y O3 proporcionaron una inactivación completa de la *E. coli* O157: H7 inicial.

Se ha concluido que el HPP inactiva significativamente tanto la microflora natural como las bacterias patógenas transmitidas por los alimentos sin efectos de degradación en las propiedades de calidad de los alimentos o Brise, acidez titulable, conductividad e índice de dorado. (Evrendilek y Ozdemir, 2019)

En otro estudio se han comparado los efectos del tratamiento con HPP a dos niveles de presión (400MPa; 600MPa) sobre la actividad antioxidante, el contenido total de carotenoides y sus disponibilidades, de zanahorias, judías verdes y brócoli.

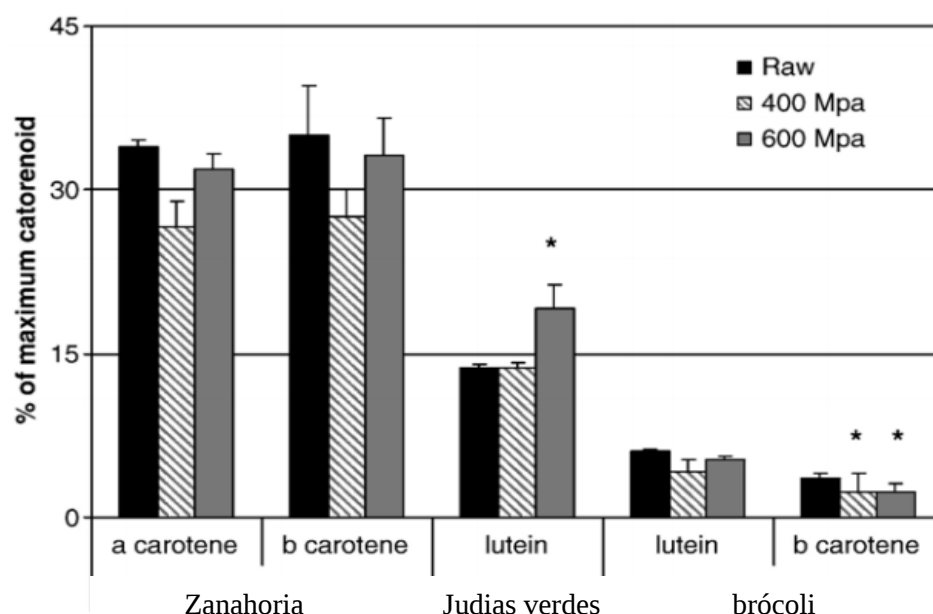


Ilustración 7: Efecto HPP sobre la disponibilidad de carotenoides después de la digestión gastrointestinal simulada.

Se ha visto que la capacidad antioxidante y el contenido de carotenoides totales diferían entre los vegetales, pero no se vieron afectados por el tratamiento con HPP. (McInerney et al., 2007)

Este estudio sugiere que la HPP puede ser beneficiosa para mejorar la biodisponibilidad de ciertos carotenoides vegetales, como lo sugiere la mayor disponibilidad de luteína en las judías verdes después de la HPP. Sin embargo, sugiere que la biodisponibilidad de micronutrientes y fitoquímicos en ciertos alimentos vegetales frescos puede ser susceptible al

HPP y que la aplicación de esta nueva tecnología a los alimentos ricos en estos agentes bio-activos puede resultar útil para desarrollar productos alimenticios más saludables para los consumidores. (McInerney et al., 2007)

En general, el tratamiento HPP a 600MPa y 20°C fueron los tratamientos que conservan mejor los rasgos de calidad del colinabo. (Clariana et al., 2011)

Se evaluaron los efectos de los tratamientos combinados de presión / temperatura (200, 400 y 600MPa, a 20 y 40°C) sobre las propiedades físicas como la dureza (ilustración 8) y nutricionales (ilustración 9) de las raíces de colinabo (*Brassica napus* var. *Napobrassica*) y los cambios inducidos por el procesamiento de alta presión (HPP) en las propiedades originales de las muestras de colinabo se compararon con los producidos por tratamiento térmico (blanqueo).

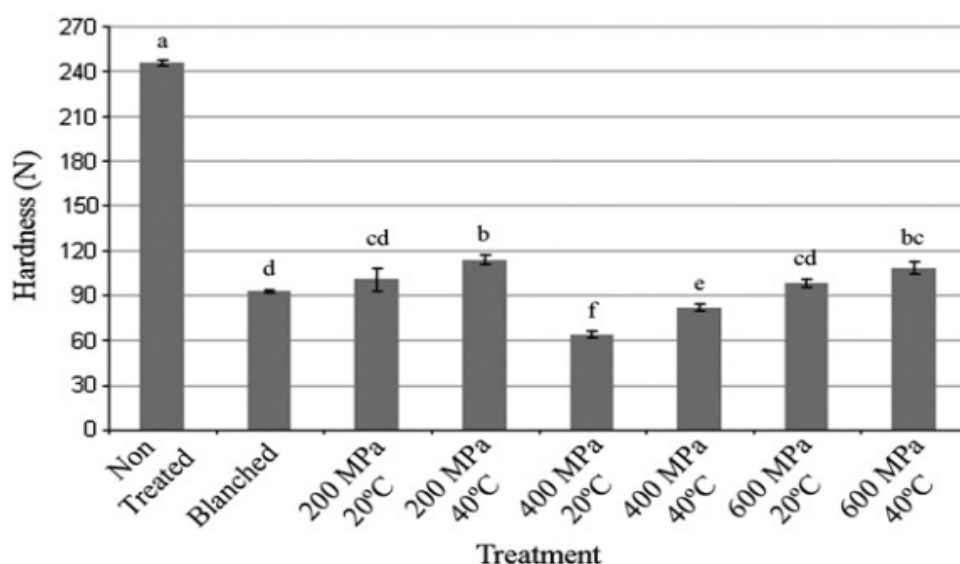


Ilustración 8: Fuerza de compresión de raíces de colinabo, no tratadas y procesadas (blanqueo y procesamiento a alta presión). Las letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos. (Clariana et al., 2011)

	Non-treated	Blanching	200 MPa		400 MPa		600 MPa	
			20 °C	40 °C	20 °C	40 °C	20 °C	40 °C
Ascorbic acid ³⁾	846.72 ^a	685.29 ^b	526.68 ^c	529.62 ^c	257.49 ^d	314.93 ^d	664.60 ^{bc}	568.15 ^{bc}
Total phenols ⁴⁾	436.25 ^a	367.68 ^{cd}	384.89 ^{bcd}	325.99 ^e	319.02 ^e	347.63 ^{de}	419.96 ^{ab}	387.82 ^{bc}
TEAC ⁵⁾	215.18 ^a	157.03 ^b	76.30 ^{cd}	81.20 ^{cd}	51.76 ^d	58.45 ^d	182.91 ^{ab}	104.27 ^c
Glucoraphanin ³⁾	0.46 ^{ab}	0.43 ^b	0.50 ^{ab}	0.43 ^b	0.64 ^a	0.54 ^{ab}	0.58 ^{ab}	0.54 ^{ab}
Progoitrin ³⁾	0.33 ^d	0.37 ^{cd}	0.31 ^d	0.36 ^d	0.63 ^a	0.48 ^{bc}	0.53 ^{ab}	0.52 ^b
Glucobrassicinapin ³⁾	1.04 ^a	0.72 ^b	0.52 ^{bc}	0.56 ^{bc}	0.62 ^{bc}	0.42 ^c	0.53 ^{bc}	0.51 ^{bc}
Glucobrassicin ³⁾	0.68 ^a	0.55 ^b	0.41 ^c	0.36 ^{cd}	0.28 ^d	0.38 ^{cd}	0.39 ^c	0.36 ^{cd}

Ilustración 9: índices antioxidante y contenido de glucosinolatos de no tratado y procesado (escaldado y de procesamiento de alta presión) raíces colinabo (Clariana et al., 2011)

Las diferentes letras dentro de una fila indican diferencias significativas entre los valores.

1) Error estándar.

2) Importancia.

3) Expresado como mg / 100 g de muestra de peso seco.

4) Expresado como mg de ácido gálico equivalente / 100 g de muestra de peso seco.

5) Expresado como capacidad antioxidante equivalente de Trolox y medido como $(IC_{50} Trolox / IC_{50s}) \times 105$

La presión de 600MPa fue el tratamiento que mejor preservó las propiedades y la textura del colinabo (Clariana et al., 2011)

El efecto del tratamiento a altas presiones combinado al tratamiento térmico (HPT) (600 MPa, 20-100°C) se ha investigado sobre la actividad de las enzimas de pera y los atributos de calidad relacionados. (Terefe et al., 2016)

El procesamiento de HPT a 20°C durante 5 minutos dio como resultado 32%, 74% y 51% de actividades residuales de polifenol oxidasa (PPO), peroxidasa (POD) y pectina metilesterasa (PME) respectivamente. En general, el HPT a 20-60°C tuvo un efecto mínimo sobre la calidad, aunque se observó un pardeamiento enzimático tras la exposición al aire. HPT a 80 a 100°C causó la inactivación casi completa de PPO y POD, lo que redujo el dorado por exposición al aire. Sin embargo, la menor retención de textura del 22% se observó en esta condición.

Las muestras procesadas a 40°C durante 3 minutos tuvieron la mayor retención de firmeza y el menor cambio en la luminosidad y el color general. (Terefe et al., 2016)

Las altas actividades residuales de PPO y POD pueden hacer que los productos de pera procesados en estas condiciones sean susceptibles a la degradación de la calidad durante el almacenamiento

Se ha concluido que la elección de la condición de proceso adecuada debe guiarse por la aplicación prevista. Para la producción de productos de porciones pequeñas 'frescas' para consumo inmediato después del desembalaje que no requieren la inactivación completa de PPO y POD, será adecuado el procesamiento a alta presión de 20 a 40°C. Para productos a granel (por ejemplo, servicio de alimentos, ingredientes) que requieren inhibición de PPO, el procesamiento a 100°C, utilizando por ejemplo cloruro de calcio como adyuvante, sería más apropiado **(Terefe et al., 2016)**

La resistencia de los microorganismos a la alta presión es variable y está directamente relacionada con factores extrínsecos e intrínsecos, para investigar eso, Arroyo, Sanz y Préstamo han hecho un estudio sobre el efecto del HPP en la reducción de la población microbiana en verduras. **(Arroyo et al., 1997)**

Se aplicaron presiones de 100, 200, 300, 350 y 400MPa a 20°C durante 10 min y a 10°C durante 20 min utilizando cepas de bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, mohos y levaduras, así como esporas de Bacterias Gram-positivas.

Los resultados de este dicho estudio mostraron que a presiones de 100 y 200MPa, las disminuciones en las poblaciones microbianas no fueron significativas, mientras que las poblaciones de todos los microorganismos analizados disminuyeron considerablemente a una presión de 300MPa (ilustración 7, 8,9). Se requirió una presión de 300MPa a 10°C durante 20 min para reducir completamente la población de *Saccharomyces cerevisiae*, y se necesitó una presión de 350MPa para reducir la mayoría de las bacterias y mohos Gram-negativos. Las bacterias Gram-positivas fueron más resistentes y las presiones de 400MPa no pudieron reducir completamente sus poblaciones. **(Arroyo et al., 1997)**

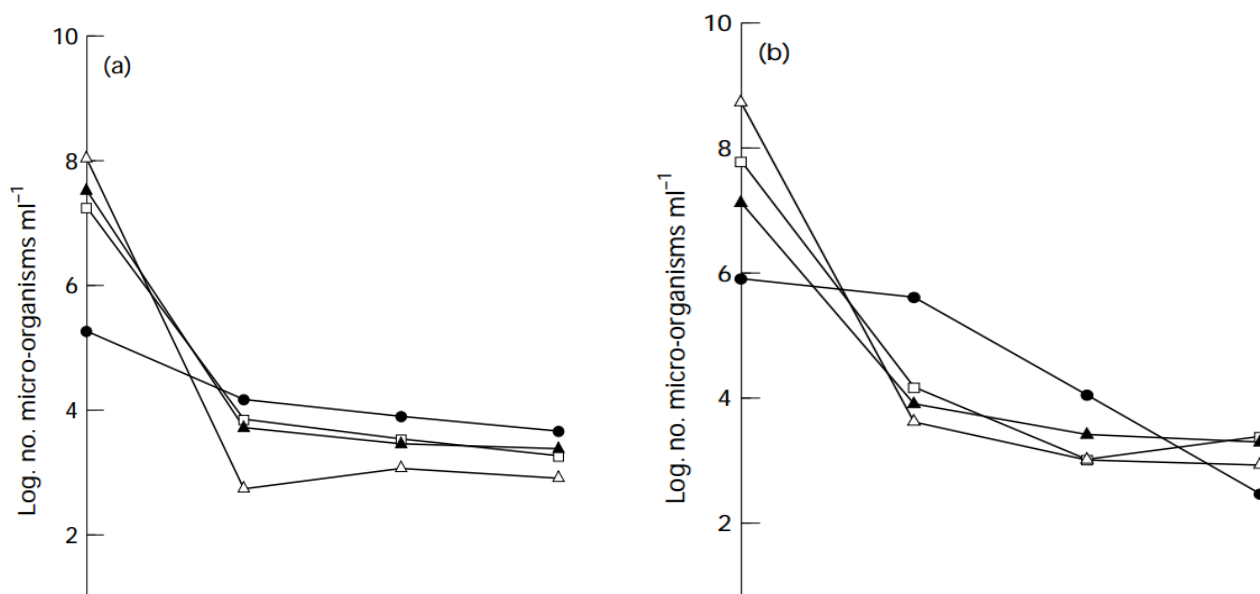


Ilustración 10 : Curvas de supervivientes de microorganismos **Gram positivos**

a) presurización a 20°C durante 10 min;

(b) presurización a 10°C durante 20 min. El número de registro de microorganismos representa los experimentos.

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900 2000 2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800 2900 3000 3100 3200 3300 3400 3500 3600 3700 3800 3900 4000 4100 4200 4300 4400 4500 4600 4700 4800 4900 5000 5100 5200 5300 5400 5500 5600 5700 5800 5900 6000 6100 6200 6300 6400 6500 6600 6700 6800 6900 7000 7100 7200 7300 7400 7500 7600 7700 7800 7900 8000 8100 8200 8300 8400 8500 8600 8700 8800 8900 9000 9100 9200 9300 9400 9500 9600 9700 9800 9900 10000

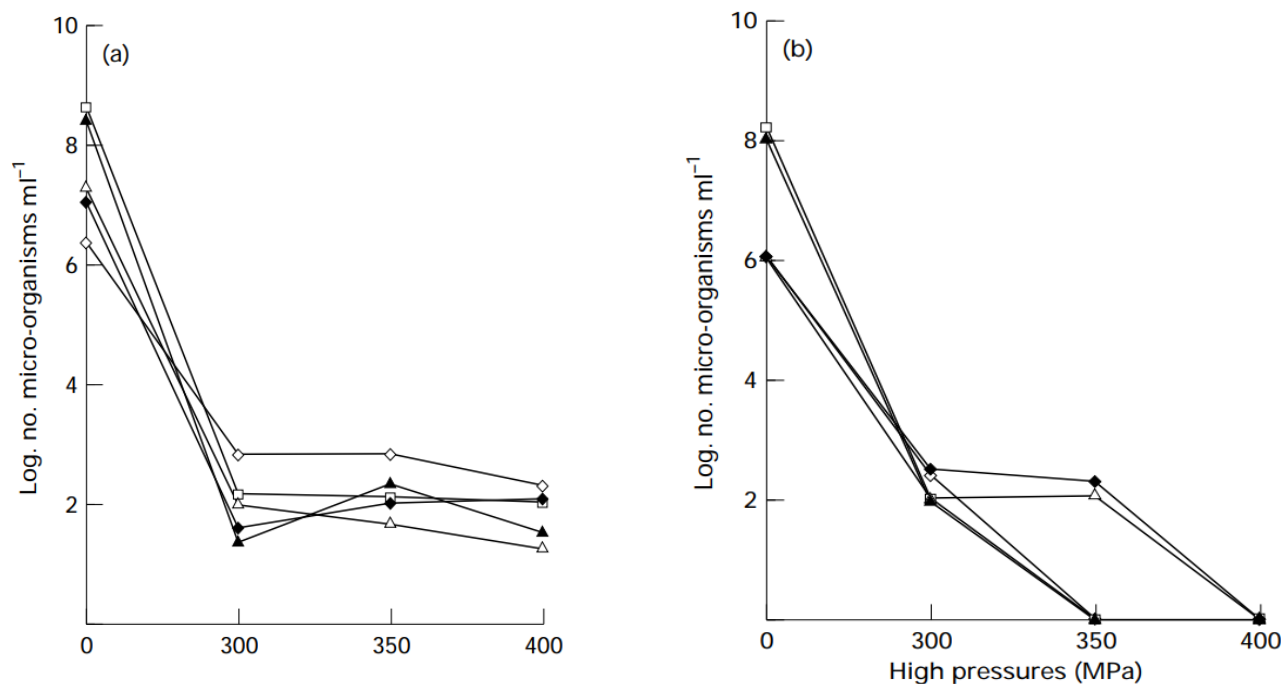
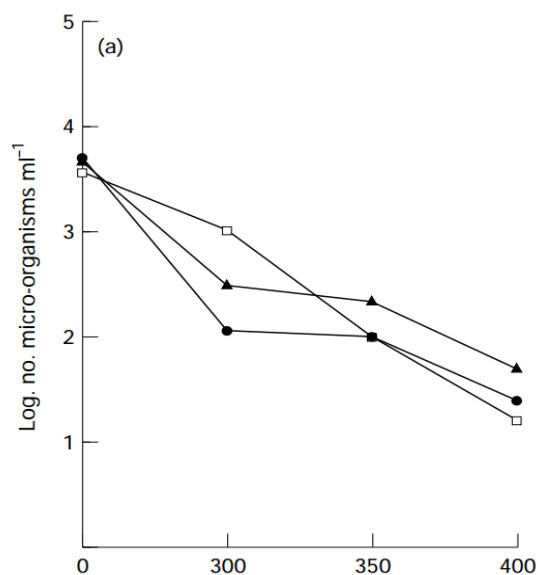


Ilustración 12 Curvas de supervivientes de microorganismos Gram negativos

a) presurización a 20°C durante 10 min;

(b) presurización a 10°C durante 20 min. El número de registro de microorganismos representa los experimentos.

Sa



Penicillium spp. (Arroyo et al., 1997)

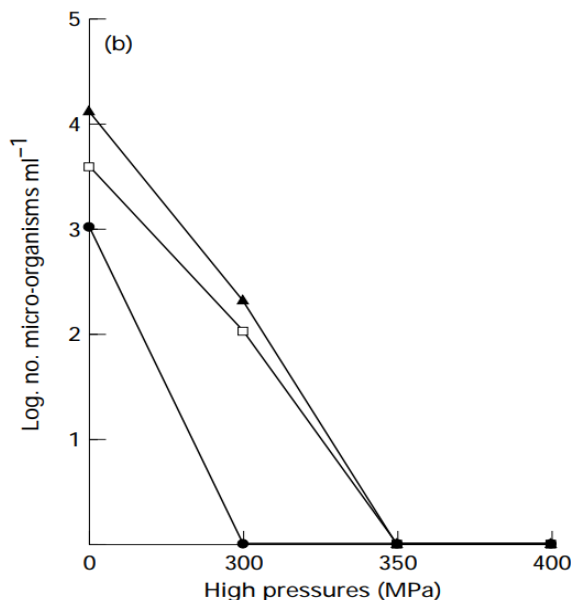


Ilustración 11: Curvas de supervivientes de microorganismos **Gram negativos**

a) presurización a 20°C durante 10 min;

(b) presurización a 10°C durante 20 min. El número de registro de microorganismos representa los experimentos.

Escherichia coli; *R. Salmonella typhimurium*; *Yersinia enterocolitica*; *E. Pseudomonas aeruginosa*; e
Las diferentes presiones empleadas tuvieron poco efecto sobre el número inicial de esporas.

Las poblaciones iniciales de mesófilos aerobios viables y mohos y levaduras en vegetales (lechuga y tomate) disminuyeron 1 unidad logarítmica a presiones de 300MPa y superiores bajo ambos conjuntos de condiciones de tratamiento experimental. Sin embargo, el tratamiento a esa presión también resultó en alteraciones en las propiedades organolépticas de las muestras. En los tomates, la piel se aflojó y se despegó, la lechuga permaneció firme pero se doraba; El sabor no se vio afectado. En las hortalizas, el uso de presiones moderadas en combinación con otras condiciones de tratamiento parecería ser necesario para reducir las poblaciones de microorganismos contaminantes y evitar las alteraciones indeseables en las propiedades organolépticas que tienen lugar a 300MPa. **(Arroyo et al., 1997)**

Se han concluido que la aplicación de una presión de 300MPa a microorganismos a temperaturas relativamente bajas durante cortos períodos de tiempo fue capaz de reducir o inactivar la mayor parte de la microflora patógena y saprófita en las verduras, pero el tratamiento causó cambios en la apariencia y la delicada estructura de dichos productos. , haciéndolos menos adecuados para el consumo. Parece probable que la combinación de presiones más bajas con otras condiciones de tratamiento será eficaz para disminuir el número de microorganismos y al mismo tiempo evitar algunos de los efectos no deseados en los atributos organolépticos. **(Arroyo et al., 1997)**

La aplicación de alta presión hidrostática (200, 300, 350 y 400MPa) a 5 ° C durante 30 minutos a diferentes microorganismos (Gram-positivas y Gram-negativas, mohos y levaduras) demostró ser más eficaz en la inactivación de estos organismos que los tratamientos a 20°C durante 10min y a 10°C durante 20min. **(tabla 5, 6 y 7) (Arroyo et al., 1999)**

Tabla 4: Resultados estadísticos de la población de Gram-positivos después del tratamiento HPP a 5°C durante 30minutos (Arroyo et al.,1999)

	0 MPa	200 MPa	300 MPa	350 MPa	400 MPa
<i>Bacillus cereus</i>	8.72±0.11a	4.83±0.26c	3.60±0.07c	2.95±0.16b	2.04±0.23c
<i>B. subtilis</i>	7.61±0.20b	4.10±0.08d	3.83±0.10b	3.74±0.08a	2.74±0.09a
<i>Staphylococcus aureus</i>	7.73±0.09b	5.60±0.15a	4.14±0.05a	3.00±0.01b	1.94±0.11c
<i>Micrococcus luteus</i>	7.85±0.45b	5.19±0.15b	3.70±0.06c	3.00±0.05b	2.47±0.07b
<i>Listeria monocytogenes</i>	7.02±0.16c	5.53±0.19a	3.00±0.02d	0.00±0.00c	0.00±0.00d

Mean ± S.D.; n = 3; P = 95%.

Tabla 5: Resultados estadísticos de la población de Gram-negativos después del tratamiento HPP a 5°C durante 30 minutos (Arroyo et al., 1999)

	0 MPa	200 MPa	300 MPa	350 MPa	400 MPa
<i>Escherichia coli</i>	8.57±0.04a	5.21±0.13a	1.04±0.08c	0	0
<i>Salmonella typhimurium</i>	8.07±0.29b	5.27±0.04a	2.00±0.08b	0	0
<i>Salm. enteritidis</i>	7.45±0.29ab	5.21±0.23a	2.47±0.10a	0	0
<i>Yersinia enterocolitica</i>	7.10±0.11c	5.41±0.10a	2.00±0.24b	0	0
<i>Aeromonas hydrophila</i>	8.49±0.37a	4.10±0.11b	2.20±0.12b	0	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	7.06±0.21b	4.17±0.11c	2.50±0.03b	0	0
<i>Ps. fluorescens</i>	6.98±0.05b	4.68±0.06a	2.26±0.11a	0	0
<i>Erwinia herbicola</i>	6.17±0.07c	4.50±0.07b	2.26±0.06c	0	0
<i>Xanthomonas campestris</i>	8.35±0.11a	4.30±0.04c	0.00±0.00d	0	0

Mean±S.D.; n = 3; P = 95%.

Tabla 6: Resultados estadísticos de la población de mohos y levaduras después del tratamiento HPP a 5°C durante 30 minutos (Arroyo et al., 1999)

	0 MPa	200 MPa	300 MPa	350 MPa	400 MPa
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5.43±0.07a	4.06±0.06a	2.69±0.12a	0.95±0.08a	0
<i>Aspergillus niger</i>	4.04±0.07c	2.81±0.04c	1.34±0.15c	0.00±0.00b	0
<i>A. flavus</i>	4.66±0.04b	3.00±0.16c	2.30±0.08b	0.00±0.00b	0
<i>Penicillium</i>	4.60±0.06b	3.35±0.08b	1.39±0.15c	0.00±0.00b	0

Mean±S.D.; n = 3; P = 95%.

Los mohos, levaduras, bacterias Gram-negativas y *Listeria monocytogenes* fueron los más sensibles, y sus poblaciones se inactivaron por completo a presiones entre 300 y 350MPa. Las mismas condiciones de presión, temperatura y tiempo se han aplicaron en diferentes vegetales (lechuga, tomate, espárragos, espinacas, coliflor y cebolla), logrando reducciones de 2 a 4 unidades logarítmicas en mesófilos y mohos y levaduras viables a presiones de entre 300 y 400MPa. Las características sensoriales no se alteraron, especialmente en espárragos, cebolla, tomate y coliflor, aunque se observó un ligero dorado en la coliflor a 350MPa.

El crecimiento de los sobrevivientes fue indetectable usando el método de conteo de placas, lo que sugiere que los microorganismos que sufren estrés por presión eran metabólicamente inactivos aunque vivos. **(Arroyo et al., 1999)**

El HPP no inactiva la peroxidasa responsable del dorado en las verduras. El uso de bajas temperaturas y tiempos de presurización moderadamente largos produjo una mejor inactivación de microorganismos y mejores características sensoriales de los vegetales, y debería reducir los costos industriales. **(Arroyo et al., 1999)**

El tratamiento con HPP puede también reducir el riesgo de infección por algunos parásitos como *Cyclospora cayetanensis* que es un protozoo transmitido por los alimentos y el agua que infecta el intestino delgado superior de los humanos y puede causar gastroenteritis en humanos, incluidos brotes recientes en los Estados Unidos y Canadá asociados con frambuesas y albahaca contaminadas. **(Kniel et al., 2007)**

En un estudio de Kniel y su equipo se ha probado la eficiencia del tratamiento con alta presión hidrostática (HPP). Las frambuesas y la albahaca se inocularon con oocistos de este dicho parásito a niveles altos (106 oocistos) y bajos (104 oocistos), y los productos inoculados y de control se trataron con o HPP (550 MPa a 40°C durante 2 minutos).

Estos resultados sugieren que el tratamiento HPP puede usarse para reducir el riesgo de infección por *ciclosporiasis* asociada con el producto y que la HPP fue muy efectiva para productos con niveles de contaminación altos. **(Kniel et al., 2007)**

Muchos son los estudios que confirman que el tratamiento con altas presiones (HPP) se ha demostrado ser muy eficientes para la esterilización y la pasteurización de vegetales, para mejorar su vida útil manteniendo el aspecto fresco y también todas las propiedades nutricionales y funcionales como las vitaminas, los flavonoides, carotenoides y moléculas antioxidantes.

También, según el objetivo del tratamiento y la naturaleza del producto tratado, la HPP se puede combinar con otras técnicas para mejorar el resultado del tratamiento y superar las desventajas del tratamiento HPP.

Conclusiones

1. Los consumidores están cada vez más preocupados por las características nutricionales relacionadas con el consumo de las frutas y verduras, así como por la seguridad de los alimentos que comen, y exigen cada vez más alimentos de alta calidad y convenientes con aspecto y sabor natural, con una apariencia fresca, un valor nutricional mejorado, costo razonable, racionalidad ambiental, pero sobre todo, estar libres de patógenos que pueden causar enfermedades más o menos graves.

Estas demandas han abierto el camino para tecnologías alternativas al procesamiento convencional de alimentos, incluida las técnicas de alta presión.

2. El procesamiento con altas presiones es una tecnología recientemente emergente que ya ha llegado al consumidor con una variedad de productos frescos. Esta técnica consiste en la aplicación de uniforme e instantánea de alta presión que va hasta 600Mpa y que sea transmitida por un medio líquido (generalmente agua), provoca al final del proceso que dura unos minutos un efecto de pasteurización.
3. Muchas aplicaciones se desarrollaron recientemente para frutas y verduras. Y se ha concluido que el tratamiento de vegetales con altas presiones puede ser combinado o no a un tratamiento térmico suave. En función del objetivo del tratamiento y las calidades que queremos guardar en el producto final, las presiones y temperaturas del procesado pueden variar de 300 a 600MPa y 5 a 100°C.
4. el tratamiento con altas presiones es eficiente para mejorar la vida útil de una variedad de vegetales y que es capaz de inactivar los microorganismos que pueden ser patógenos para los humanos incluyen bacterias, hongos, levaduras y también parásitos.
5. el tratamiento con altas presiones puede inactivar algunas enzimas que causan una pérdida del aspecto fresco del alimento (enzimas que causan el dorado por ejemplo), además de mejor conservar los rasgos de calidad, el sabor fresco de los productos finales, preservando todas las propiedades nutricionales y funcionales como las vitaminas B y C, los flavonoides y carotenoides, moléculas antioxidantes.

Bibliografía

- Alvarez-Jubete, Laura, Juan Valverde, Ankit Patras, Anne Maria Mullen, y Begonya Marcos. 2014. «Assessing the Impact of High-Pressure Processing on Selected Physical and Biochemical Attributes of White Cabbage (*Brassica Oleracea* L. Var. Capitata Alba)». *Food and Bioprocess Technology*, 7 (3): 682-92.
- Alvarez MD, Cuesta FJ, Fuentes R, Canet W. 2016. Rheometric nonisothermal gelatinization kinetics of high hydrostatic pressure treated chickpea flour slurry. *Journal of Food Engineering*, 187:70e81.
- Arroyo, G., P. D. Sanz, y G. Prestamo. 1999. «Response to High-Pressure, Low-Temperature Treatment in Vegetables: Determination of Survival Rates of Microbial Populations Using Flow Cytometry and Detection of Peroxidase Activity Using Confocal Microscopy». *Journal of Applied Microbiology*, 86 (3): 544-544.
- Arroyo, G., P.D. Sanz, y G. Préstamo. 1997. «Effect of High Pressure on the Reduction of Microbial Populations in Vegetables». *Journal of Applied Microbiology*, 82 (6): 735-42.
- Barba, F. J., Criado, M. N., Belda-Galbis, C. M., Esteve, M. J., & Rodrigo, D. 2014. Stevia rebaudiana Bertoni as a natural antioxidant/antimicrobial for high pressure processed fruit extract: processing parameter optimization. *Food Chemistry*, 148: 261-267.
- Clariana, Maria, Juan Valverde, Hilde Wijngaard, Anne Maria Mullen, y Begonya Marcos. 2011. «High Pressure Processing of Swede (*Brassica Napus*): Impact on Quality Properties». *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12 (2): 85-92.
- Deliza, R., Rosenthal, A., Abadio, F. B. D., Silva, C. H. O., & Castillo, C. 2005. Application of high pressure technology in the fruit juice processing: benefits perceived by consumers. *Journal of Food Engineering*, 67: 241–246.
- Denoya, Gabriela I., Sergio R. Vaudagna, y Gustavo Polenta. 2015. «Effect of High Pressure Processing and Vacuum Packaging on the Preservation of Fresh-Cut Peaches». *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie - Food Science and Technology*, 62(1): 801-6.
- Department of Process and Food Engineering, Faculty of Engineering, University Putra Malaysia, 43400 Serdang, Selangor, Malaysia, Wael M. Elamin, Biological and Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, University of Khartoum, Khartoum, Sudan, Johari B. Endan, Department of Process and Food Engineering, Faculty of Engineering, University Putra Malaysia, 43400 Serdang, Selangor, Malaysia, Yus A. Yosuf, Department of Process and Food Engineering, Faculty of Engineering, University Putra Malaysia, 43400 Serdang, Selangor, Malaysia, et al. 2015. «High Pressure Processing Technology and Equipment Evolution : A Review». *Journal of Engineering Science and Technology Review* 8(5): 75-83.
- Elizondo-Montemayor L, Hernandez-Brenes C, Ramos-Parra PA, Moreno-Sanchez D, Nieblas B, Rosas-Perez AM, et al. 2015. High hydrostatic pressure processing reduces the glycemic index of fresh mango puree in healthy subjects. *Food & Function*, 6:1352e60.
- Evrendilek, G. Akdemir, y P. Ozdemir. 2019. «Effect of Various Forms of Non-Thermal Treatment of the Quality and Safety in Carrots». *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* (mayo): 344-54.
- FDA. 2011. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies – High-pressure processing. Available from:

<https://www.fda.gov/files/food/published/Kinetics-of-Microbial-Inactivation-for-Alternative-Food-Processing-Technologies.pdf>

- Grauwet, T., Rauh, C., Van der Planken, I., Vervoort, L., Hendrickx, M., Delgado, A., Van Loey A. 2012. Potential and limitations of methods for temperature mapping in high pressure thermal processing. *Trends in Food Science & Technology*, 23(2): 97–110.
- Gupta, R., Balasubramaniam, V.M. 2012. High-Pressure Processing of Fluid Foods, In *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods*, P.J. Cullen, B.K. Towari, and V.P. Valdramidis, Ed. Elsevier, p. 109-133, 1st edition, U.K.
- Hjelmqvist, J., 2005. Commercial High Pressure Equipment. In *Novel Food Processing Technologies*, G.V. Barbosa-Cánovas, M.S. Tapia and M P. Cano, Ed. CRC Press, p. 361–374, New York.
- Hogan E, Kelly AL, Sun D .2005. High pressure processing of foods: an overview. In: Sun D (ed) *Emerging technologies for food processing*. Elsevier Academic Press, San Diego, pp 3–27
- Huang HW, Lung HS, Yang BB, Wang CY. 2014. Responses of microorganisms to high hydrostatic pressure processing. *Food Control*.
- Huang, Hsiao-Wen, Chiao-Ping Hsu, y Chung-Yi Wang. 2020. «Healthy Expectations of High Hydrostatic Pressure Treatment in Food Processing Industry». *Journal of Food and Drug Analysis*
- Huang, Hsiao-Wen, Chiao-Ping Hsu, Binghui Barry Yang, y Chung-Yi Wang. 2014. «Potential Utility of High-Pressure Processing to Address the Risk of Food Allergen Concerns: Effects of HPP on Food Allergen...». *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 13 (1): 78-90.
- Knier, Kalmia E., Adrienne E. H. Shearer, Jennifer L. Cascarino, Gary C. Wilkins, y Mark C. Jenkins. 2007. «High Hydrostatic Pressure and UV Light Treatment of Produce Contaminated with Eimeria Acervulina as a Cyclospora Cayetanensis Surrogate». *Journal of Food Protection* 70 (12): 2837-42.
- Leite TS, de Jesus ALT, Schmieles M, Tribst AAL, Cristianini M. 2017. High pressure processing (HPP) of pea starch: effect on the gelatinization properties. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*
- Li W, Tian X, Liu L, Wang P, Wu G, Zheng J, et al. 2015. High pressure induced gelatinization of red adzuki bean starch and its effects on starch physicochemical and structural properties. *Food Hydrocolloids*.
- Mahadevan, Swetha, y Mukund V. Karwe. 2016. «Effect of High-Pressure Processing on Bioactive Compounds». En *High Pressure Processing of Food*, editado por V.M. Balasubramaniam, Gustavo V. Barbosa-Cánovas, y Huub L.M. Lelieveld, 479-507. New York, NY: Springer New York.
- McInerney, Jennifer K., Cathryn A. Seccafien, Cynthia M. Stewart, y Anthony R. Bird. 2007. «Effects of High Pressure Processing on Antioxidant Activity, and Total Carotenoid Content and Availability, in Vegetables». *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8 (4): 543-48.
- Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., Samson, T.C., Welti-Chanes, Torres, J.A. 2011. HighPressure Processing Technologies for the Pasteurization and Sterilization of Foods. *Food Bioprocess Technology*, 4(6): 969–985.
- Muntean MV, Marian O, Barbieru V, Catunescu GM, Ranta O, Drocas I, et al. 2016. High pressure processing in food industry e characteristics and applications. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*
- Oey I, Lille M, Van Loey A, Hendrickx M .2008. Effect of high-pressure processing

on color, texture and flavor of fruit- and vegetable-based food products: a review. *Trends Food Science Technologies*, 19:320–328

- Patazca E, Koutchma T, Balasubramaniam VM. 2007. Quasi-adiabatic temperature increase during high pressure processing of selected foods. *Journal of Food Engineering*, 80:199–205.
- Qiu, W., Jiang, H., Wang, H., Gao, Y. 2006. Effect of high hydrostatic pressure on lycopene stability. *Food Chemistry*
- R. W. van den Berg, H. Hoogland, H. Lelieveld, and L. Van Schepdael, "High Pressure Equipment Designs for Food Processing Applications," in *Ultra High Pressure Treatments of Foods*, M. E. G. Hendrickx and D. Knorr, Eds., ed *New York: Springer*, 2001, pp. 297-313
- Rastogi NK, Raghavarao KS, Balasubramaniam VM, Niranjan K, Knorr D. 2007. Opportunities and challenges in high pressure processing of foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47:69–112.
- Requejo-Jackman, C. 2013. Effect of high pressure processing on avocado slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 18: 65-73.
- Rodrigo D, Jolie R, Van Loey A, Hendrickx M .2007. Thermal and high pressure stability of tomato lipoxygenase and hydroperoxide lyase. *Journal of Food Engineering*, 79:423–429
- Rodrigo, D., Cortés, C., Clynen, E., Schoofs, L., Van Loey, A., Hendrickx, M. 2006. Thermal and high-pressure stability of purified polygalacturonase and pectinmethylesterase from four different tomato processing varieties. *Food Research International*.
- Roldan-Marin E, Sanchez-Moreno C, Lloria R, Deancos B, Cano MP .2009. Onion high-pressure processing: flavonol content and antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie science technology journal*
- Scheidt, Tiago B., y Filipa V. M. Silva. 2018. «High Pressure Processing and Storage of Blueberries: Effect on Fruit Hardness». *High Pressure Research*, 38 (1): 80-89.
- Terefe, Netsanet Shiferaw, Philipp Tepper, Anja Ullman, Kai Knoerzer, y Pablo Juliano. 2016. «High Pressure Thermal Processing of Pears: Effect on Endogenous Enzyme Activity and Related Quality Attributes». *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33 (febrero): 56-66.
- Tian Y, Li D, Zhao J, Xu X, Jin Z. 2013. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) on slowly digestible properties of rice starches. *Food Chemistry*, 152:225e9.
- Tribst, Alline Artigiani Lima, Bruno Ricardo de Castro Leite Júnior, Miguel Meirelles de Oliveira, y Marcelo Cristianini. 2016. «High Pressure Processing of Cocoyam, Peruvian Carrot and Sweet Potato: Effect on Oxidative Enzymes and Impact in the Tuber Color». *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34 (abril): 302-309.
- Van den Broeck I, Ludikhuyze L, Weemaes C, Van Loey A, Hendrickx M .1998. Kinetics for isobaric-isothermal degradation of L-ascorbic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46:2001–2006
- Van der Plancken, I., Grauwet, T., Oey, I., Van Loey, A., Hendrickx. 2008. Impact evaluation of high pressure treatment on foods: considerations on the development of high pressure-temperature-time integrators (pTTIs). *Trends in Food Science and Technology*, 19(6): 337-348.
- Voldřich, M., Dobáš, J., Tichá, L., Čeřovský, M., Krátká, J. 2004. Resistance of vegetative cells and ascospores of heat resistant mould *Talaromyces avellaneus* to the high pressure treatment in apple juice. *Journal of Food Engineering*, 61(4): 541–543.

- Woolf, AB, Wibisono, R, Farr, J, Hallett, I, Richter, L, Oey, I .2013. Effect of high pressure processing on avocado slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 18: 65–73.
- Yaldagard M, Mortazavi SA, Tabatabaie F. 2008. The principles of ultra high pressure technology and its application in food processing/preservation: a review of microbiological and quality aspects. *African Journal of Biotechnology*, 7: 2739–2767.
- Yordanov DG, Angelova GV. 2010. High pressure processing for foods preserving. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 24:1940–1945.
- Zhang, Lin, Shun Dai, y Robert G. Brannan. 2017. «Effect of High Pressure Processing, Browning Treatments, and Refrigerated Storage on Sensory Analysis, Color, and Polyphenol Oxidase Activity in Pawpaw (*Asimina triloba* L.) Pulp». *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie science technology journal*, (diciembre): 49-54.