



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**ESTUDIO SOBRE TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA LA
CONSERVACIÓN DE FRUTOS Y HORTALIZAS: VENTAJAS Y BENEFICIOS
TECNOLÓGICOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

ALMA YADIRA ROJAS CAMACHO

ASESOR: DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos y dedicatorias

Primero que nada agradezco a Dios por llenar mi vida de bendiciones, de dicha y sobretodo por darme la fuerza necesaria para continuar.

A mis padres José Carmen y Ma. Martha, a quienes agradezco de todo corazón por su amor, cariño y comprensión. Esto es lo menos que puedo ofrecerles como muestra de mi agradecimiento de que he aprovechado las oportunidades que me han brindado

Mami: gracias por enseñarme que nada en la vida es fácil y que las cosas más difíciles de alcanzar son las que más gratitud dejan. Tqm

Papa: gracias por todo su apoyo, cariño, confianza y paciencia que has tenido conmigo.

A mis hermanos Jaime y Marlen, aunque las situaciones siempre se tornen diferentes, a veces buenas o malas, les agradezco porque en los momentos importantes me han acompañado. A Javi por ser como eres y estar ahí cuando te necesito. Tqm.

A Jesús Escobar, gracias por animarme con tu sonrisa, con tu optimismo, con tu amor, por enseñarme y aprender conmigo, por tu apoyo incondicional. Te admiro y te amo.

A la memoria de mis tíos (†) Ignacio Camacho y Marina Magallon que fueron un apoyo muy importante al iniciar mi carrera.

A mi prima Yarnelh por su amistad y apoyo incondicional.

También agradezco a mi asesora de tesis la Dra. Andrea Trejo por asesorarme a lo largo de esta tesis, por compartir su conocimiento y amistad conmigo e inspirar en mi mucha admiración.

A mis amigas Brenda y Nayeli, por ser unas amigas increíbles y con quienes he compartido muchos momentos que siempre llevare en mi corazón. Gracias por todo su apoyo. Las quiero.

A todas las personas con las que de alguna manera compartí esta etapa de mi vida. A toda la generación 26 en general, pero especialmente a Yendi, José Luís, Yohana, Marisol, Campanita, Raquel, Clara, Cesar, Lola, Ivon, Karla.

Gracias por todos los recuerdos, los buenos y demás momentos que tuvimos juntos, los quiero y los extraño. Gracias por recordarme que hay personas valiosas en el mundo y gracias por estar en el mío.

A mis amigos de TPJI, especialmente a Sonia, por todos esos buenos momentos, por su cariño y sobretodo por el apoyo que me ha brindado. Tqm amiga.

A todos mis profesores que participaron en mi formación académica especialmente a la profesora Lupita Palacios, por su amistad y su apoyo.

A mis sinodales: Doraluz Villagomez, Adriana Llorente. Carolina Moreno. Miriam Álvarez. Gracias por el tiempo que dedicaron a la revisión de mi tesis, por su disposición y ayuda brindada y por su impecable guía metodologica.

Espero no haber olvidado a alguien y si lo hice mil disculpas saben que los quiero y gracias por haber hecho de estos 5 años de universidad los mejores.

*“Detrás de cada línea de llegada, hay una de partida
Detrás de cada logro, hay otro desafío.
Si extrañas lo que hacías, vuelve hacerlo.
Sigue aunque todos esperen que abandones
No dejes que se oxide el hierro que hay en ti.”
Anónimo.*

**ÍNDICE GENERAL**

Índice de figuras	v
Índice de tablas.....	vii
Abreviaturas	viii
Resumen.....	ix
Introducción	1
Objetivos	
Objetivo general	4
Objetivos particulares	4
Metodología de investigación	
2.1. Cuadro metodológico.....	5
Capítulo 1. Irradiación	
1.1. Historia y generalidades	7
1.1.2 Fundamentos y definición.....	8
1.2. Tipos de irradiación	
1.2.1. Irradiación no ionizante	8
1.2.2. Irradiación ionizante	10
1.2.2.1. Tipos de irradiación ionizante	12
1.2.2.2. Dosis de aplicación	13
1.3. Efectos de la irradiación sobre los microorganismos	16
1.4. Efectos de la irradiación sobre los constituyentes de los alimentos	
1.4.1. Agua	19
1.4.2. Carbohidratos	19
1.4.3. Vitaminas.....	20
1.5 Efectos de la irradiación sobre las propiedades organolépticas	21
1.6. Beneficios de la irradiación	22
1.7. Irradiación de diversos alimentos en diferentes países	23
1.8. Equipos	25
1.9 Aplicaciones de la irradiación en alimentos de origen vegetal.....	28
1.10. Legislación	
1.10.1. Comisión FAO - OMS del Codex <i>Alimentarius</i>	31
1.10.2 Unión Europea: Directiva 1999/2/CE y 1999/3/CE	31



1.10.3. México: Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA1-1993.....	31
1.11. Propuesta tecnológica para tratamiento cuarentenario para mango de exportación	33
1.11.1. Selección del producto de potencial económico.....	34
1.11.2. Implantación de la tecnología emergente más adecuada.....	36
1.11.3. Proceso tecnológico para la exportación de mango.....	36
1.11.4 Proceso tecnológico para la elaboración de cada producto.....	38
1.11.5. Equipos utilizados para el proceso de mango por irradiación ...	46
1.11.6. Costos de la implementación de la tecnología emergente.....	42
1.11.7. Beneficios y limitaciones de la tecnología emergente	
Propuesta	42
Capítulo 2. Altas presiones hidrostáticas	
2.1. Historia y generalidades	44
2.2. Fundamentos y definición	45
2.3. Condiciones de aplicación de las altas presiones.....	46
2.4. Efecto de las altas presiones sobre los constituyentes de los	
Alimentos	48
2.4.1. Agua	48
2.4.2. Carbohidratos	49
2.4.3. Vitaminas	50
2.4.4. Enzimas	50
2.5. Efecto de las altas presiones sobre microorganismos	53
2.6. Efecto de las altas presiones sobre las propiedades organolépticas.....	56
2.7. Beneficios de la aplicación de altas presiones	57
2.8. Equipos de tratamiento por altas presiones	59
2.9. Aplicaciones de las altas presiones en alimentos	62
2.9.1 Aplicaciones en productos vegetales.....	63
2.10. Legislación.....	65
2.11. Propuesta tecnológica para la conservación de guacamole por altas	
Presiones	
2.11.1 Selección del producto de potencial económico	66
2.11.2. Implantación de la tecnología emergente más adecuada	67
2.11.3. Proceso de elaboración de guacamole por método tradicional y	
y con AP.....	68
2.11.4 Proceso tecnológico para la elaboración de cada producto.....	70



2.11.5. Equipos utilizados	72
2.11.6. Costos de la implantación de la tecnología emergente	74
2.11.7. Beneficios y limitaciones de la tecnología emergente propuesta.....	74
Capítulo 3. Campos eléctricos pulsantes	
3.1. Historia y generalidades	75
3.2. Fundamentos y definiciones	76
3.3. Propiedades eléctricas de los alimentos	77
3.4. Tecnología y Equipo de tratamiento con campos eléctricos	77
3.5. Efectos sobre los componentes químicos de los alimentos	79
3.5.1. Carbohidratos	79
3.5.2. Vitaminas	80
3.5.3. Enzimas	80
3.6. Efectos de los campos eléctricos sobre las propiedades organolépticas. ..	81
3.7. Efectos de los campos eléctricos sobre los microorganismos	82
3.8. Factores que afectan la inactivación de los microorganismos.....	83
3.9. Limitaciones de esta tecnología	84
3.10. Aplicaciones de los campos eléctricos en alimentos	84
3.11. Legislación	86
3.12. Propuesta tecnológica para la conservación de jugo de naranja por campos eléctricos	
3.12.1 Selección del producto de potencial económico	87
3.12.2. Implantación de campos eléctricos en la elaboración de jugo de Naranja.....	89
3.12.3. Proceso para la elaboración de jugo de naranja.....	89
3.12.4 Proceso tecnológico para la elaboración de cada producto.	92
3.12.5. Equipos utilizados	94
3.12.6. Costos de la implantación de la tecnología emergente.....	96
3.12.7. Beneficios y limitaciones de la tecnología emergente Propuesta	96
Capítulo 4. Pulsos luminosos	
4.1. Historia y generalidades	98
4.2. Fundamentos y definiciones	98
4.3. Tecnología y equipo de tratamiento con pulsos luminosos	99
4.4. Efectos sobre los componentes químicos de los alimentos	102



4.4.1. Enzimas	102
4.5. Efectos de los pulsos luminosos sobre los microorganismos	103
4.6. Ventajas y limitaciones de esta tecnología	105
4.7. Aplicaciones de los pulsos luminosos en alimentos	105
4.8. Legislación	109
4.9. Propuesta tecnológica para la conservación de jitomate por pulsos luminosos.	
4.9.1 Selección del producto de potencial económico	110
4.9.2. Implantación de pulsos luminosos en la conservación de jitomate en Fresco.....	111
4.9.3. Descripción del proceso	112
4.9.4 Proceso tecnológico para la elaboración de cada producto.....	115
4.9.5. Equipos utilizados	117
4.9.6. Costos de la aplicación de la tecnología emergente.....	119
4.9.7. Beneficios y limitaciones de la tecnología emergente propuesta	120
5. Discusión	121
6. Conclusiones	127
7. Referencias.....	128

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Espectro electromagnético.....	9
Figura 2. Espectro electromagnético. Efectos en la materia.....	12
Figura 3. Símbolo de irradiación.....	13
Figura 4. Esquema de unidad de irradiación de Co ⁶⁰	27
Figura 5. Fuente de rayos gamma.....	27
Figura 6. Figuras comparativas de dos hortalizas tratadas con y sin irradiación.....	30
Figura 7. Fresas tratadas con irradiación y sin irradiación.....	30
Figura 8. Principales países productores de mango.....	34
Figura 9. Principales países exportadores de mango.....	35
Figura 10. Exportaciones e importaciones de mango.....	35
Figura 11. Diagrama de proceso de mango para exportación en fresco.....	38
Figura 12. Propuesta tecnológica de mango para exportación tratado con irradiación ionizante	39
Figura 13. Transiciones de fase del agua bajo presión. Diferentes estados del hielo..	49
Figura 14. Descenso de la actividad de la pectinesterasa (PE) de zumo de mandarina presurado durante el almacenamiento a 0°C.....	52
Figura 15. Inactivación de esporas de <i>B. stearothermophilus</i> con alta presión combinada con y sin calor.....	56
Figura 16. Sistema discontinuo para el tratamiento de alta presión de alimentos envasados.....	59
Figura 17. Sistema semicontinuo para el tratamiento de productos líquidos a granel.	61
Figura 18. Equipo a nivel piloto para tratamiento de altas presiones.....	61
Figura 19. Alimentos tratados con altas presiones. Guacamole y salsas.....	64
Figura 20. Principales países productores de aguacate.....	66
Figura 21. Principales países exportadores de aguacate	67
Figura 22. Diagrama de proceso de guacamole por el método de conservación tradicional.....	70
Figura 23. Propuesta tecnológica para la conservación de guacamole por altas presiones.....	71
Figura 24. Sistema de procesado de campos eléctricos pulsados de alta intensidad para la conservación no térmica de alimentos.....	78
Figura 25. Alimentos tratados con pulsos eléctricos: Jugos.....	86
Figura 26. Países productores de naranja 2006.....	87
Figura 27. Exportaciones de naranja en México	88



Figura 28. Diagrama de proceso de pasteurización de jugo de naranja conservado por calor.....	92
Figura 29. Propuesta tecnológica para la conservación de jugo de naranja por campos eléctricos.....	93
Figura 30. Espectro de luz del sistema Puré Bright (200 – 1000 nm).....	100
Figura 31. Sistema PBS serie Puré BrightI.....	100
Figura 32. Sistema para el tratamiento de alimentos con pulsos de luz.....	101
Figura 33. Proceso con pulsos de luz.....	101
Figura 34. Aplicación de pulsos de luz en la reducción de <i>Staphylococcus aureus</i> . tratamiento con 2 pulsos de luz J/cm ²	103
Figura 35. Desinfección de naranjas valencia aplicando pulsos de luz, inoculadas con esporas <i>Penicillium digitatum</i>	104
Figura 36. Aplicación de pulsos luminosos en la extensión de la vida de anaquel de camarón después de 1 semana de almacenamiento a temperatura de 4°C.....	108
Figura 37. Preservación de pan con pulsos luminosos en 11 días de almacenamiento a temperatura ambiente.....	109
Figura 38. Volumen de producción de jitomate (Miles de toneladas).....	111
Figura 39. Diagrama de proceso de jitomate para exportación en fresco.....	115
Figura 40. Propuesta tecnológica de jitomate para exportación tratado con pulsos luminosos.....	116



ÌNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dosis de irradiación para diferentes alimentos.....	15
Tabla 2. Dosis de radiación necesaria para eliminar microorganismos.....	17
Tabla 3. Efecto de la radiación gamma sobre la vitamina A en frutas y hortalizas.	21
Tabla 4. Irradiación de alimentos en diferentes países.....	24
Tabla 5. Condiciones de aplicación de altas presiones.....	46
Tabla 6. Inactivaciones por presión de ciertas bacterias.....	54
Tabla 7. Condiciones de presión.....	63
Tabla 8. Condiciones de aplicación de campos eléctricos.....	85
Tabla 9. Condiciones de aplicación de pulsos luminosos.....	106

**ABREVIATURAS**

AP	Altas Presiones
ATM	Atmósfera
BM	Bromuro de Metilo
CAC	Comisión del Código Alimentario
Ce¹³⁷	Cesio 137
Co⁶⁰	Cobalto 60
EDB	Dibromuro de Etileno
EU	Estados Unidos
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación
FDA	Administración de Alimentos y Medicamentos
GHz	Gigahertz
Gy	Gray. Unidad de Irradiación
HEFP	Pulsos de Alto Campo Eléctrico (Siglas en ingles)
HPP	Alta Presión Hidrostática (High hydrostatic pressure)
KHz	Kilohertz
LOX	Lipoxigenasa
MP	Mega Pascales
MeV	Mega electrón- Volt
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
OMS	Organización Mundial de la Salud
PEP	Campo Eléctrico Pulsado (Pulsed electric field)
PME	Pectinmetilesterasa
POD	Peroxidasa
PPO	Polifenoloxidasa
SAGARPA	Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
RP	Resistencia a la Presión
SP	Sensible a la Presión
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
UV	Radiación Ultravioleta
V	Volts

Resumen



RESUMEN

El presente estudio sobre la implementación de nuevas tecnologías para la conservación de frutos y hortalizas, tiene como objetivo el dar a conocer estas tecnologías emergentes para la conservación y aumento de la vida útil de frutos y hortalizas, que permitan realizar una propuesta tecnológica para su aplicación en productos vegetales producidos en México y de esta manera ampliar su comercialización en el mercado internacional.

Las tecnologías emergentes son métodos no térmicos de conservación de alimentos, siendo un proceso alternativo o complementario a los métodos tradicionales de conservación de alimentos. Estas nuevas tecnologías ofrecen nuevas alternativas en el procesamiento de alimentos y comprenden a: las altas presiones, campos de alta intensidad de pulsos eléctricos, pulsos luminosos e irradiación.

El presente trabajo está formado de cuatro capítulos específicamente describen con detalle lo referente a los fundamentos sobre estas tecnologías emergentes abarcando tanto el marco legal que rigen a estas tecnologías, sus principales características, fundamentos en comportamiento químicos, enzimas y microorganismos, así como equipos utilizados. Al finalizar cada capítulo, se muestra una propuesta tecnológica para la aplicación de estas tecnologías a un producto hortofrutícola de importancia económica para México, en función de exportación y producción. El mango producto económicamente importante para México presenta problemas en su comercialización a los Estados Unidos por lo que se realiza la propuesta para el control de plagas, y así de esta manera cumplirá con el requisito para su exportación a otros países y así evitar las barreras fitosanitarias que se le imponen. El aguacate es otro fruto de mayor producción y exportación en nuestro país, aplicarle altas presiones como método de conservación al ser transformado en guacamole ayudaría a entrar a diferentes países con una propuesta nueva.

Por otro lado para la naranja se propuso como alternativa tecnológica utilizar como método de conservación para el jugo natural los campos eléctricos y de esta manera conservar su aporte nutritivo y alargar su vida útil. Otro fruto de importancia económica es el jitomate, para el que se propuso tratamiento con pulsos luminosos que permite conservar el contenido de vitaminas y alarga la vida útil del producto.

El presente trabajo pretende contribuir y ser elemento para la industria alimentaria en México, sobre las posibilidades que ofrecen estas nuevas tecnologías y pretende apuntar las tendencias futuras en la tecnología de alimentos.

Introducción



1. Introducción

En las últimas décadas el mercado ha evolucionado considerablemente debido al desarrollo de numerosas tecnologías para la conservación de los alimentos.

Actualmente el consumidor es más exigente, demandando alimentos de mejor calidad, similares a sus equivalentes en fresco naturales, con buenas características nutricionales, sanos y que garanticen su seguridad alimentaria (Daoudi, 2004).

Hoy en día lo más buscado son tecnologías que dupliquen o tripliquen el periodo de vida útil. Lo que atrae como beneficio no solamente es la prolongación en el tiempo de distribución y almacenamiento si no también una seguridad añadida al producto requisito demandado por fabricantes y distribuidores (Singh y Oliveira, 1994).

Otra tendencia de conjunto importante a tomar en cuenta es la preocupación de los consumidores que muestran hacia los aditivos alimentarios. Las recientes alarmas alimentarias sobre los altos niveles de conservadores y los escándalos precedentes sobre la contaminación de los alimentos han incrementado la incertidumbre y necesidad de ofrecer garantías a los consumidores.

Los métodos de conservación de alimentos fueron mejorándose con el paso del tiempo, sin embargo muchos de ellos no producían un alimento adecuadamente conservado que fuese además nutritivo y apetitoso. A finales del siglo XVIII fue cuando la industrialización y los largos viajes por mar crearon la necesidad de conseguir que estos métodos fueran aplicables a productos muy diferentes.

Con el tiempo, el progreso técnico ha posibilitado no tan sólo el desarrollo de procedimientos originales para la conservación de los alimentos, sino también la aplicación de nuevos criterios inherentes a las necesidades y tendencias de los nuevos consumidores. Suministrar alimentos a la población es todavía la preocupación fundamental del hombre en el siglo XXI y, en este sentido, la tecnología juega un papel muy importante.

Las nuevas tecnologías reducen pérdidas de productos agrícolas después de la cosecha causada por la infestación por insectos o el deterioro por microorganismos. Destruye los agentes patógenos transmitidos por vía alimentaria. Y pueden prolongar la vida de anaquel de productos perecederos como las frutas y hortalizas (Willard, 2000).



Los nuevos métodos no térmicos de conservación de alimentos requieren de una investigación con el fin de evaluar su potencial como proceso complementario a los métodos más tradicionales de conservación de alimentos (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

Durante el procesado no térmico, la temperatura del alimento se mantiene por debajo de la temperatura que normalmente se utiliza en el procesado térmico, se podría decir que a temperatura ambiente y se espera que durante el procesado no térmico las vitaminas, nutrientes esenciales y aromas no experimenten cambios o que los mismos sean mínimos, estos procedimientos emplean menos energía que los térmicos (Sosa, 2006).

Ya que la mayoría de alimentos conservados son procesados térmicamente sometiendo al alimento a temperaturas entre 60° y 100°C durante pocos segundos. Y durante este periodo, se transfiere una gran cantidad de energía al alimento, y puede llegar a provocar reacciones indeseables en el alimento, acarreando cambios no deseados como pérdidas de vitaminas, nutrientes esenciales, aromas formación de subproductos(Barbosa- Canovas, *et al.*, 1998).

Cada tecnología tiene aplicaciones específicas en términos de los alimentos que pueden ser procesados, las tecnologías abordadas en la presente investigación son: las altas presiones, las cuales son adecuadas tanto para alimentos líquidos como en sólidos; los pulsos eléctricos, son utilizados preferentemente en productos líquidos, la irradiación para alimentos sólidos; y por último los pulsos lumínicos sólo son adecuados para la esterilización de superficies y, por lo tanto, pueden aplicarse a los materiales de envase (Richardson, 2001; Barbosa-Canovas, 1999; Narvaiz, 2000; Bello-Gutiérrez, 2000).

De esta forma, cada tecnología tiene ventajas y limitaciones, estas tecnologías permiten transformar los productos perecederos en productos estables, nutritivos e inocuos durante años. (Raventós Santamaría, 2003). A pesar de que existen usos industriales de estas tecnologías en diferentes países como: Japón, EE.UU., Francia y España, en México su uso es muy limitado (Houska, *et al.*, 2005).

El interés por diversificar los productos y mejorar la calidad impulsa una fuerte actividad en la industria de equipos para la industria alimentaria, con el fin de dar respuesta a las exigencias de las nuevas tecnologías.



Hoy en día, se llevan acabo numerosas investigaciones con la intension de poner a punto nuevas tecnologías para la conservación de alimentos encuadradas dentro de los métodos no térmicos. Todas ellas tienen el propósito de guardas lo mejor posible la calidad del alimento, y a la vez que se asegura su calidad sanitaria, evitando todo riesgo para la salud pública. Las nuevas tecnologías no térmicas de conservación de alimentos se han desarrollado para eliminar o minimizar la degradación de calidad de los alimentos que resulta del procesado térmico.

Por lo que el objetivo del presente trabajo fue la implementación de tecnologías emergentes en productos vegetales con potencial de exportación y producción en México.

Objetivos



Objetivos***Objetivo general***

Realizar un estudio bibliográfico sobre la implementación de nuevas tecnologías para la conservación y aumento de la vida útil de frutos y hortalizas que permitan realizar una propuesta tecnológica para la aplicación en productos vegetales producidos en México para ampliar su comercialización en el mercado internacional.

Objetivo particular 1

Describir los principales fundamentos técnicos y científicos de las nuevas tecnologías como: irradiación, altas presiones, campos eléctricos, y pulsos luminosos, que permitan establecer los beneficios de su aplicación en diferentes productos vegetales.

Objetivo particular 2

Revisar las principales aplicaciones de tecnologías emergentes en frutas y hortalizas y establecer el efecto en los parámetros físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos de estos productos.

Objetivo particular 3

Reunir información técnica sobre normas nacionales e internacionales que regulen la aplicación de tecnologías emergentes (irradiación, altas presiones, pulsos luminosos, campos eléctricos) en alimentos.

Objetivo particular 4

Establecer las características de los equipos utilizados para la implementación de tecnologías emergentes: Irradiación, altas presiones, pulsos luminosos, y campos eléctricos aplicados a frutos y hortalizas.

Objetivo particular 5

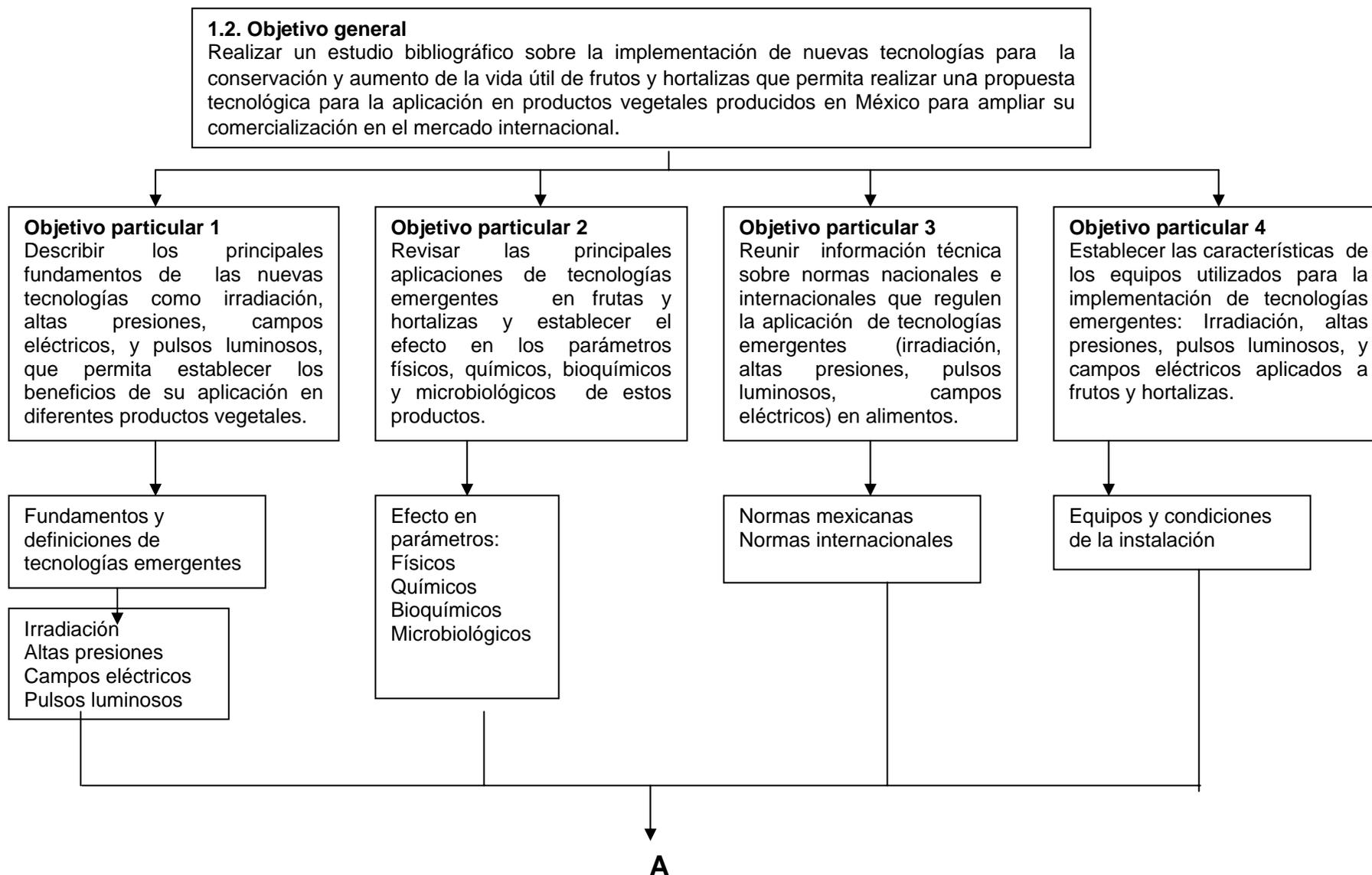
Realizar una propuesta tecnológica para la implementación de nuevas tecnologías en frutos y hortalizas producidos en México y con potencial para exportación.

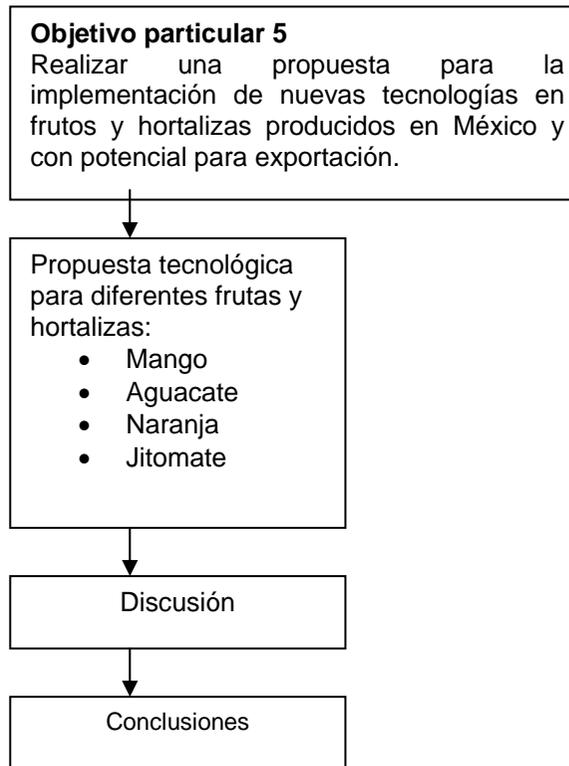


Metodología



Metodología de investigación





A: Continuación

Capítulo 1. Irradiación



1. Irradiación

1.1. Historia y generalidades

Desde mediados del siglo XIX con el descubrimiento de la física nuclear hubo una gran actividad científica relacionada con la posibilidad del uso de las radiaciones en diversos campos de la ciencia como la física, la química y la biología.

El descubrimiento de los rayos X por W.K. Roentgen en 1895 y las sustancias radioactivas por H. Becquerel un año después condujo a una intensa investigación de los efectos biológicos de la radiación ionizante. La radiación primero fue patentada para la conservación de alimentos en 1905 por dos científicos británicos. La irradiación en alimentos se utilizó por primera vez en los Estados Unidos en 1921 para inactivar el parásito humano *trichinella spiralis*, que contamina el músculo del cerdo (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

La idea de la posible aplicación de la radiación en la destrucción de microorganismos es tan antigua como el descubrimiento de la radioactividad en 1895. En 1904 Prescott observó el efecto de los rayos gamma del radio sobre hongos, levaduras, bacilos, etc. Pero no es hasta 1954 cuando el Ejército de los Estados Unidos comenzó un programa de esterilización de alimentos con el objeto de prolongar su higiene durante meses a temperatura ambiente (Raventos- Santamaría, 2005).

En 1947, Brash y Huber, los inventores de un acelerador de electrones plantearon la posibilidad de utilizarlo para irradiar carnes, huevos, leche y artículos de uso común aunque podrían producir algunos cambios organolépticos, éstos podrían ser evitados con ausencia de aire y con baja temperatura al momento de la irradiación (Raventos- Santamaría, 2005).

En el periodo 1950-1960 investigan la aplicación de la radiación para la conservación de alimentos en Bélgica, Canadá, Francia, Países Bajos, Polonia, URSS, República Federal Alemana y España. La primera irradiación de alimentos con fines comerciales se realizó en Alemania en 1957, irradiaron especias para mejorar las cualidades higiénicas con un acelerador Van de Graff pero en 1959 la legislación alemana prohibió el tratamiento de los productos alimenticios con radiaciones ionizantes. (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).



En noviembre de 1980 diversos Comités de Expertos de la OIEA, FAO y OMS concluyeron que “la irradiación de cualquier tipo de alimento hasta una dosis de 10 kGy no presenta riesgo para la salud humana”. También que “tal tratamiento no plantea especiales problemas nutricionales y/o microbiológicos”. Durante años se han aplicado en el campo de la medicina y de la ingeniería industrial pero desde la segunda mitad del siglo XX se ha extendido su empleo a la industria alimentaria con el fin de incrementar la vida útil comercial de los alimentos (Bello - Gutiérrez, 2000).

1.1.2. Fundamentos y definición

Definición:

Radiaciones gamma (procedente de cobalto 60) o bien rayos X de energía inferior a 5 MeV, o bien de un haz de electrones acelerados de menos de 10 MeV incidiendo sobre el alimento. Técnica complementaria a los métodos clásicos de aplicación (Bald - Garmedia, 2000).

Fundamentos

Irradiación.

Proceso tecnológico que aplica radiaciones ionizantes a un alimento con la finalidad de mejorar su estabilidad durante los prolongados periodos de almacenamiento, se considera como un método de conservación de alimentos que permite alcanzar un esterilización en frío y se puede aplicar a alimentos refrigerados como congelados, para evitar el desarrollo de sabores anormales (Bello - Gutiérrez, 2000).

Consiste en exponer el producto a la acción de las radiaciones ionizantes durante un cierto lapso, que es proporcional a la cantidad de energía que deseemos que el alimento absorba. Esta cantidad de energía por unidad de masa de producto se define como dosis, y su unidad es el Gray (Gy), que es la absorción de un Joule de energía por kilo de masa irradiada (Narvaiz, 2000).

1.2. Tipos de irradiación

1.2.1. Irradiación no ionizante

Es una onda o partícula que no es capaz de arrancar electrones de la materia que ilumina produciendo, como mucho, excitaciones electrónicas.



Ciñéndose a la radiación electromagnética, la capacidad de arrancar electrones (ionizar átomos o moléculas) vendrá dada, en el caso lineal, por la frecuencia de la radiación, que determina la energía por fotón, y en el caso no-lineal también por la "fluencia" (energía por unidad de superficie) de dicha radiación (Oliveira, 2007).

Así, atendiendo a la frecuencia de la radiación serán radiaciones no ionizantes las frecuencias comprendidas entre las frecuencias bajas o radio frecuencias y el ultravioleta aproximadamente. (Figura 1) (Internacional comisión on non-ionizing radiation protection)

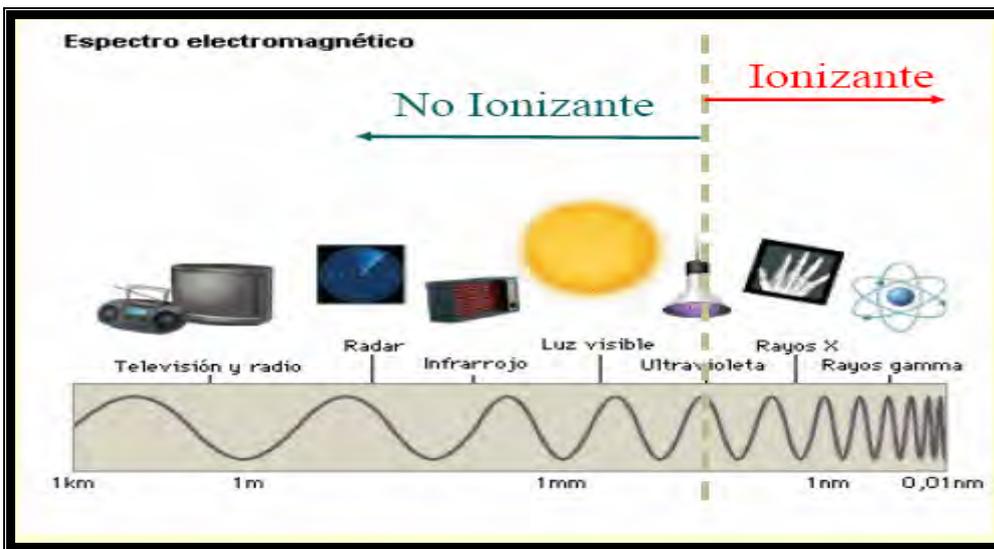


Figura 1. Espectro electromagnético

Fuente: Lomeli y Tamayo (2000).

La radiación no ionizante abarca todas las frecuencias inferiores al anterior umbral:

- *Ultravioleta A y B*: La radiación ultravioleta A (UVA) abarca longitudes de onda entre 320 y 400 nm; es la parte menos energética de la radiación UV (3,1-3,9 eV).
La radiación ultravioleta B (UVB) se extiende entre los 200 y 290 nm (Sendra, 2005).
- La irradiación ultravioleta (UV-C) es una tecnología alternativa a la esterilización química utilizada para reducir el crecimiento de microorganismos en alimentos. Ésta puede estar acompañada por otros mecanismos de defensa tales como modificaciones de la pared celular, enzimas de defensa y aumento en la actividad antioxidante (González y Villegas, 2005).



Sus efectos sobre la materia se basan en niveles rotacionales o vibracionales. Pueden ser:

- Inducción de corrientes
- Efectos térmicos
- Efectos fotoquímicos
- Sus efectos biológicos son conocidos parcialmente y están bajo discusión
- Sus aplicaciones en productos mínimamente procesados, efecto en daños por frío en productos tropicales y control de enfermedades como antracnosis.

Se tienen estudios sobre el efecto de la irradiación UV-C sobre los cambios en el contenido de fenoles y flavonoides totales, β -caroteno, ácido ascórbico y la capacidad antioxidante de mango fresco cortado durante el almacenamiento a 5°C.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, el contenido de β -caroteno y ácido ascórbico no tienen una influencia significativa sobre la capacidad antioxidante de mango fresco cortado. Y la irradiación UV-C por tiempos cortos (3-5 minutos) parece ser una alternativa viable y una técnica amigable para incrementar la capacidad antioxidante de mango fresco cortado, mejorando los múltiples beneficios a la salud del consumidor (González-Aguilar, 2005).

Otro estudio sobre la aplicación de radiación UV-C, combinadas o no con la técnica de salas blancas en la firmeza y el crecimiento microbiano de melón 'Galia' mínimamente procesado en fresco.

Las dosis de radiación UV-C controlaron el crecimiento microbiano tan eficazmente como el lavado con 100 mg L⁻¹ NaOCl, sin afectar la firmeza de la pulpa. La técnica de "sala blanca" redujo los conteos microbianos cuando se aplicó conjuntamente con la radiación UV-C, pero por sí sola no mostró beneficios. Ambas técnicas no limitaron el ablandamiento de las piezas de melón. La radiación UV-C combinada con la "sala blanca" fue una alternativa eficaz a la desinfección con agua clorada (100 mg L⁻¹ NaOCl) en el control microbiano del melón (Silveira *et al*, 2005).

1.2.2. Irradiación ionizante

Se llama radiación ionizante a una emanación de fotones con la energía suficiente para desplazar electrones de las moléculas sobre las que incide. Se denomina Irradiación al proceso de aplicar energía radiante sobre un objetivo, el cual puede ser un alimento (Welti, 1996). La radiación ionizante se caracteriza por poseer un alto contenido de energía, gran poder de penetración y acción letal debida a su liberación a nivel celular (Figura 2).



La radiación ionizante presenta ventajas en comparación con otros procedimientos en lo que se relaciona con la destrucción de bacterias en los alimentos (Tapia, 2000):

1. Es altamente letal, pero la dosis puede ajustarse para producir efectos pasteurizantes o esterilizantes.
2. A niveles bajos (<0,5 Mrad) no produce cambios organolépticos detectables en el producto.
3. Incluso con dosis altas (>1 Mrad) los cambios químicos totales producidos en el alimento son pequeños.
4. No deja residuos que no pertenezcan al alimento.
5. Se produce muy poco calor, por lo que los productos crudos mantienen las características del alimento fresco, pudiéndose incluso tratar los alimentos previamente congelados.
6. La penetración de la radiación es instantánea, uniforme y profunda, permitiendo un control preciso del procedimiento.

Existen inconvenientes:

1. Normalmente no se inactivan las enzimas cuando se utilizan dosis bactericidas, por lo que pueden permanecer activas en los alimentos durante el almacenamiento.
2. Los cambios químicos, aunque pequeños en su totalidad, pueden dar lugar a alteraciones organolépticas inaceptables en ciertos alimentos sensibles o en alimentos sometidos a dosis altas. Estos cambios se asocian generalmente con la presencia de radicales libres, los que a su vez pueden actuar también como un factor bactericida secundario.
3. Las dosis utilizadas para destruir microorganismos son varias veces superiores que las precisas para matar a un hombre y por lo tanto deben tomarse medidas de seguridad muy estrictas para proteger a los obreros y a los manipuladores de alimentos. Esto obliga a utilizar una fuerte protección alrededor de la fuente radiactiva y a controlar continuamente al personal y a la zona de trabajo.

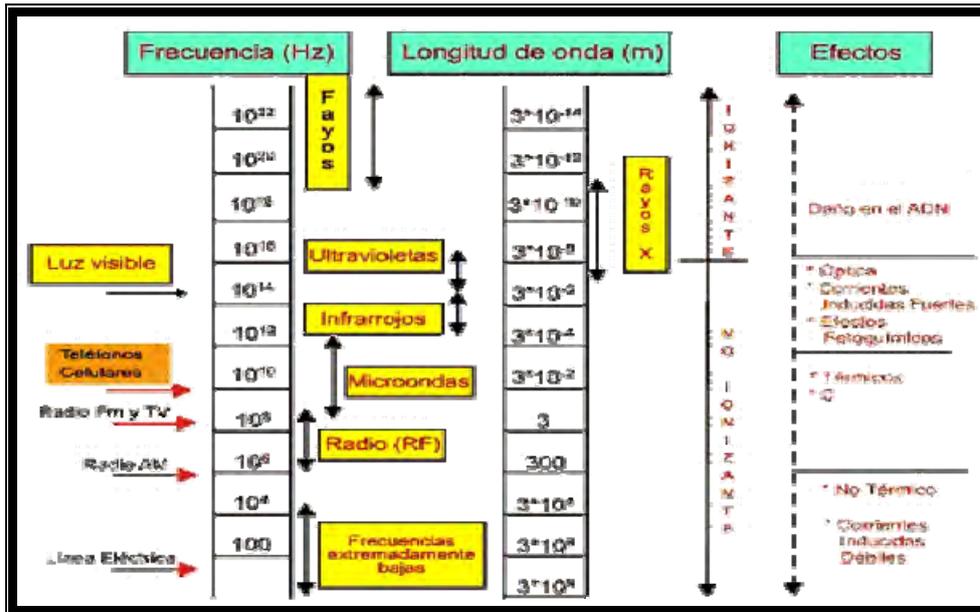


Figura 2. Espectro electromagnético. Efectos en la materia

Fuente: Lomeli y Tamayo (2000).

1.2.2.1 Tipos de irradiación ionizante

Se utilizan actualmente 4 fuentes de energía ionizante ¹:

- Rayos gamma provenientes de Cobalto radioactivo ⁶⁰Co
- Rayos gamma provenientes de Cesio radioactivo ¹³⁷Cs

Como los rayos gamma no producen radiactividad, los alimentos tratados con esas radiaciones pueden comerse sin riesgo y como tampoco producen calor, no hay pérdidas del contenido vitamínico. Los alimentos tratados con esta tecnología deben de traer la leyenda de irradiación o en su defecto el símbolo internacional (Figura 3).

Algunas legumbres, frutas y carnes sometidas a tratamiento con radiación gamma intensa se conservan frescas y comestibles durante meses y hasta años, sin refrigeración

¹ Las radiaciones gamma evitan el crecimiento del moho en naranjas, tomates y pan. Destruyen a los parásitos de la triquina que hacen muy peligroso el consumo de carne de cerdo. La exposición de alimentos a los rayos gamma aumenta la “vida de refrigeración” de salchichones, mariscos, fresas y de ensaladas preparadas (Barbosa Canovas *et al.*, 1998).



Figura 3. Símbolo de irradiación

Fuente: Centro Nacional de Energía Atómica (2004).

Las radiaciones gamma de alta intensidad proporcionan a algunos alimentos un sabor o un olor peculiar que no les gusta a algunas personas. A veces, la carne cambia de color y de textura.

- Rayos X, de energía no mayor de 5 megaelectron-Volt
- Electrones acelerados, de energía no mayor de 10 MeV

Los 2 últimos son producidos por medio de máquinas aceleradoras de electrones, alimentadas por corriente eléctrica.

De estas 4 fuentes, la más utilizada a nivel mundial, y la única disponible en nuestro país es el Co^{60} . Los rayos gamma provenientes de Co^{60} y Cs^{137} , poseen una longitud de onda muy corta, similares a la luz ultravioleta y las microondas; y debido a que no pueden quitar neutrones (partículas subatómicas que pueden hacer a las sustancias radioactivas), los productos y envases irradiados no se vuelven radioactivos. Los rayos gamma penetran el envase y el producto pasando a través de él, sin dejar residuo alguno (Narvaiz, 2000).

La cantidad de energía que permanece en el producto es insignificante y se retiene en forma de calor; el cual puede provocar un aumento muy pequeño de temperatura.

1.2.2.2. Dosis de aplicación

Gray (Gy). Unidad de radiación que en el Sistema Internacional sustituye al rad. Es la cantidad de energía absorbida por el sistema irradiado, que equivalente a un joule/kilogramo de material irradiado (1J/kg de sustancia irradiada).

Un kiloGray = 1 kGy = 1000 Grays = 1000 Gy (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).



La clasificación de la OMS según la dosis, es la siguiente:

- **Dosis Baja (hasta 1 kGy):** es usada para demorar los procesos fisiológicos, como maduración y senescencia de frutas frescas y vegetales, y para controlar insectos y parásitos en los alimentos.
- **Dosis Media (hasta 10 kGy):** es usada para reducir los microorganismos patógenos que causan descomposición de distintos alimentos; para mejorar propiedades tecnológicas de los alimentos, como reducir los tiempos de cocción de vegetales deshidratados; y para extender la vida en anaquel de varios alimentos.
- **Dosis Alta (superior a 10 kGy):** es usada para la esterilización de carne, pollo, mariscos y pescados, y otras preparaciones en combinación con un leve calentamiento para inactivar enzimas, y para la desinfección de ciertos alimentos o ingredientes, como especias (Narvaiz, 2000).

Dependiendo de la finalidad específica del tratamiento, estos intervalos generales reciben unas denominaciones que expresan el nivel de dosis. Se definen como: (Satin – Morton, 1992).

Radurización: tratamiento de los alimentos con una dosis de radiación ionizante suficiente para incrementar su vida media reduciendo sustancialmente el número de microorganismos alterantes

Radicalización: tratamiento de los alimentos con una dosis de radiación ionizante suficiente para reducir el nivel de patógenos no esporulados, incluyendo parásitos, hasta un nivel indetectable.

Radapertización: tratamiento de los alimentos con una dosis de radiación suficiente para reducir el nivel de microorganismos a niveles de esterilidad



En la tabla 1 se muestra la dosis de irradiación para diferentes alimentos, así como el efecto que causa en los diferentes componentes.

Tabla 1. Dosis de irradiación para diferentes alimentos

Alimento	Dosis (kGy)	Causa	Efecto
Dosis bajas Papas, cebollas, ajos	0.05 – 0.15	Inhibición de los brotes	Extensión del tiempo de almacenamiento.
Frutas y verduras	0.25 – 1	Retraso de la maduración	Mejora las propiedades de almacenamiento
Frutas	0.2 – 0.7	Muerte y esterilización sexual de insectos	Previene difusión de enfermedades
Carnes	0.3 – 0.5	Dstrucción de parásitos como <i>Trichinella spiralis</i> , <i>Taenia saginata</i> .	Previene enfermedades por parásitos transmitidas por la carne
Dosis medias Ciertas frutas y verduras	1- 3	Reducción de poblaciones de bacterias, mohos y levaduras	Mejora las propiedades de almacenamiento
Carne de vacuno, pollo, pescado	1 –5	Reducción de poblaciones de microorganismos capaces de crecer en temperaturas bajas	Mejora las propiedades de almacenamiento en frío
Dosis altas Carne de vacuno y aves de corral	25 - 45	Dstrucción de organismos esporulados y patógenos	Almacenamiento a largo plazo sin refrigeración

Fuente: Lomeli y Tamayo (2000).

Dosis específicas de radiación destruyen las células en reproducción, lo que está vivo en un alimento: microorganismos, insectos, parásitos, brotes. Por otro lado, la energía ionizante produce poco efecto sobre el producto. Los cambios nutricionales y sensoriales son comparables a los de los procesos de enlatado, cocción y congelado, y muchas veces, menores (Lomeli y Tamayo, 2000).



La irradiación puede también ser alternativa al uso de sustancias químicas de toxicidad sospechada, tales como fumigantes, algunos conservadores (nitrito de sodio en carnes), e inhibidores de brotación (hidrazida maleica). Tanto el bromuro de metilo² como la fosfinas se emplean para fumigar productos frutihortícolas y granos destruyendo insectos con fines cuarentenarios; el empleo de ambos está en vías de ser prohibido debido a los crecientes indicios sobre su toxicidad al hombre, tanto el consumidor como el operador (Narvaiz, 2000).

1.3. Efectos de la irradiación sobre los microorganismos

La aparición de patógenos ha aumentado el interés de utilizar la irradiación como una técnica de conservación en la industria alimentaria.

La acción de la radiación sobre los microorganismos presenta una selectividad todavía superior a la del calor, aunque sus efectos destructores tengan los mismos fundamentos: lesiones en las membranas e inactivación de sistemas enzimáticos, así las bacterias gram-positivas son más sensibles que las gram-negativas (Barbosa-Canovas *et al*, 1998).

Lo que se produce con las radiaciones ionizantes es una alteración cromosomita celular, que se refleja en la imposibilidad de la división celular y reproducción. Algunas formas vegetativas bacterianas son más resistentes en estado seco y el mismo efecto se consigue al reducir la disponibilidad del agua por congelación del alimento (Bello Gutiérrez, 2000). Cuando los alimentos ricos en agua se irradian en presencia de oxígeno pueden formar peróxido de hidrógeno con potente acción bactericida. En cambio, en ausencia de oxígeno algunos microorganismos pueden triplicar su resistencia. En general, los hongos presentan la misma resistencia que las formas bacterianas vegetativas, pero no así las levaduras y sobre todo los virus que suelen ser mucho más resistentes (Bello Gutiérrez, 2000).

La irradiación tiene un efecto inmediato en ellos en cuanto a que los lípidos son muy sensibles a las radiaciones y, como sabemos, éstos se encuentran a nivel de la membrana celular cambiando su permeabilidad y se provoca la muerte celular. Por otra parte, a largo plazo se rompen los enlaces débiles de los pares de bases de los ácidos nucleicos y las células bacterianas no se multiplican.

² El bromuro de metilo es un depresor de la capa de ozono, y según el protocolo de Montreal (Nov. 1995), está sujeto a restricciones crecientes hasta su prohibición estimada en el 2010. La irradiación tiene además otras ventajas sobre el uso de los fumigantes: mayor penetración; tratamiento más rápido; no requiere aireación posterior, no deja residuos (Narvaiz, 2000).



Las células vegetativas son destruidas fácilmente en tanto que los virus y esporas son más resistentes. Cuanto más sencilla es la estructura, más difícil es su destrucción por este tratamiento. Si este método es utilizado previamente a la aplicación de calor, se pueden conseguir niveles de esterilización comercial tras el calentamiento dado que los microorganismos serán más sensibles al calor y sin embargo no se verán afectados o de forma escasa tanto las propiedades nutritivas como las organolépticas del alimento (Barbosa –Canovas, 1998).

Existen dos problemas que presenta la irradiación y son:

- La radiación elimina microorganismos alterantes pero no bacterias patógenas por lo que se elimina un valioso sistema de indicación de la salubridad del alimento.
- La radiación destruye las bacterias productoras de toxinas pero no las toxinas que una vez liberadas al medio constituyen un riesgo de intoxicación.

En la tabla 2 se muestran las dosis de radiación para lograr la destrucción de diferentes bacterias patógenas y de deterioro,

Tabla 2. Dosis de radiación necesaria para eliminar diferentes tipos de microorganismos

Microorganismo	D (kGy) ^a
Bacterias patógenas	
<i>B. cereus</i> (esporas)	1.25 - 4.00
<i>Clostridium botulinum</i> (esporas)	.41 – 3.21
<i>C. Perfringes</i> (células vegetativas)	.29 - .85
<i>Escherichia coli</i>	.23 - .45
<i>Listeria monocytogenes</i>	.25 - .77
<i>Salmonella</i>	.37 - .80
<i>Staphylococcus aureus</i>	.26 - .45
<i>Vibrio</i>	.8 - .44
Bacterias de deterioro	
<i>Clostridium sporogenes</i>	2.30 – 10.9
<i>Micrococcus radiodurans</i>	12.70 – 14.10
<i>Pseudomonas putida</i>	.08 - .11
<i>Sporolactobacillus inulinus</i> (esporas)	2.10 – 2.58

^a D = dosis de radiación necesaria para eliminar el 90% de la población microbiana (un ciclo logarítmico de reducción).

Fuente: Barbosa-Canovas *et al.* (1998).



1.4. Efectos en componentes químicos sobre el alimento

Como resultado de la aplicación de radiaciones ionizantes a un alimento se pueden distinguir claramente dos tipos de efectos:

Efectos directos

Parece que los efectos primarios que aparecen sobre un alimento irradiado se deben a los contactos de sus partículas con las radiaciones de alta energía. Las proteínas y los pigmentos pueden experimentar cambios que conducen a modificaciones en la textura o en la coloración. Sin embargo, los efectos negativos observados no se pueden explicar considerando sólo la dosis de radiación recibida, determinante de la intensidad de estas colisiones. Por ello se piensa que existen otros efectos (Bello-Gutiérrez, 2000).

Efectos indirectos

Estos efectos indirectos se deben a la formación de iones excitados y radicales libres, que son muy reactivos, la mayoría de ellos vinculados a la alteración de las moléculas de agua. Los radicales libres formados pueden dar lugar a las más diversas reacciones como: el peróxido de hidrógeno, que es una molécula fuertemente oxidante y se puede considerar como un tóxico biológico, así como el radical hidroxilo, mientras que el radical hidrógeno es muy reductor. Sus reacciones con las demás moléculas pueden ocasionar cambios profundos, letal si ocurren dentro de las células microbianas (Bello-Gutiérrez, 2000).

Se ha estudiado mucho este tipo de efecto, enfocado de modo principal hacia la reducción de radicales libres, para ello se han intentado tres posibilidades: (Bello-Gutiérrez, 2000).

- a) Proceder a la irradiación de alimentos ya congelados, porque de este modo esta obstaculizada la difusión de los pocos radicales libres que se puedan formar y por consiguiente, se limitan las reacciones indirectas.
- b) Llevar a cabo la irradiación bajo vacío o en atmósferas inertes. Pero en este caso se produce de modo paralelo un efecto protector de los microorganismos contaminantes presentes.
- c) Adicionar sustancias neutralizadoras de radicales libres, como puede ser el ácido ascórbico, aunque se presenta el problema práctico de su incorporación a los alimentos no líquidos



A pesar de todo aun resultan poco conocidas las diversas modificaciones aparecidas en los más diversos alimentos, como en las frutas y verduras degradan sus pectinas o bien oxidan su glucosa o ácido glucurónico. En definitiva los alimentos irradiados pueden desembocar en alteraciones de origen químico del tipo de enranciamientos y pardeamientos, así como una posible pérdida de su valor nutritivo cuando se le aplican dosis de radiación relativamente intensas.

1.4.1. Agua

La irradiación de agua provoca un aumento de los radicales hidroxilos, de electrones hidratados y de otras especies. Estas a su vez reaccionan con proteínas, produciendo radicales libres de proteína. Los radicales también reaccionan con otras moléculas del alimento (Barbosa-Canovas *et al*, 1998).

1.4.2. Carbohidratos

Los carbohidratos ocupan un segundo orden de importancia en las frutas y vegetales después del agua. Al irradiar los carbohidratos de bajo peso molecular como son los azúcares simples, ocurren cambios físicos que serán indicativos de cambios químicos, como el cambio en el punto de fusión, rotación óptica (Barbosa-Canovas *et al*, 1998).

En los alimentos que tienen un alto contenido en almidón, como los plátanos verdes, el almidón presente puede ser un factor adicional de su firmeza. Debido a la importancia de la textura en la calidad de frutas y vegetales y debido a que su textura esta tan cercanamente ligada a los componentes de los carbohidratos, los cambios causados por la irradiación en los carbohidratos son de gran importancia. De los cambios inmediatos causados por irradiación de frutas y vegetales, el ablandamiento, esto es, la pérdida de textura, es el principal factor limitante en usar este proceso³. Para la mayoría de las frutas y hortalizas esto limita la dosis que puede ser utilizada (Flachner, 1991). Son hidrolizados y oxidados pero no hay pérdida de valor nutritivo. En el tomate se observa pérdida de consistencia.

³ El ablandamiento de frutas y vegetales esta principalmente relacionado con la degradación por radiación de los carbohidratos asociada con una textura normal, principalmente la celulosa, la pectina y el almidón. Esta degradación puede afectar la textura en dos formas, debilitando los tejidos estructurales rígidos y alterando las paredes celulares para reducir el turgor (Flachner, 1991).



1.4.3. Vitaminas

Se han estudiado la química de la irradiación de muchas vitaminas, pero la relación de los estudios con la irradiación de alimentos no es clara. Aunque el porcentaje de retención se ha estudiado ampliamente, para algunas vitaminas, pocos estudios incluyen la identificación de los productos de la degradación de las vitaminas formados por la radiación. La vitamina E es la más sensible a la radiación de todas las vitaminas liposolubles y la vitamina B₁ es la más radiolabil de las vitaminas solubles en agua. Muchas vitaminas reacciona de forma diferente con el calor y la radiación, pero las vitaminas con poca radio estabilidad son susceptibles de degradación con la luz, con oxígeno o con calor (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

La radiación gamma de 1kGy utilizada para reducir poblaciones de microorganismos en pico de gallo, una salsa estilo mexicano, se observaron que el contenido de ácido ascórbico disminuye en 50% inmediatamente después de la irradiación, pero las diferencias entre la salsa irradiada y la no irradiada al final de seis semanas de almacenamiento a 2°C, son escasas (Howard y Miller, 1995).

La vitamina A en estado seco, y los carotenoides de pro vitamina A, principalmente el B-caroteno, son relativamente estables a la radiación, y se ha observado poca inactivación hasta dosis de 20kGy (Molins, 2001).

La irradiación de alimentos puede variar el contenido vitamínico de un alimento, pero esta variación puede minimizarse controlando algunos factores como la temperatura, la atmósfera, el tiempo de almacenaje, etc. (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

Para que un alimento resulte exitosamente conservado por irradiación es necesario seleccionar ciertos parámetros: dosis de radiación, temperaturas de irradiación y conservación, tipo de envase, presencia o no de oxígeno en él. Así se logran evitar daños nutricionales y organolépticos. Además es posible combinar el tratamiento de irradiación con otros, por ejemplo un leve calentamiento previo, con lo cual se consigue un efecto sinérgico entre ambos y es posible disminuir las dosis de radiación a aplicar.

En la tabla 3 se muestra el efecto de la irradiación gama sobre la vitamina A en diversos productos hortícolas

**Tabla 3. Efecto de la radiación gamma sobre la vitamina A en frutas y hortalizas.**

Producto	Forma de provitamina A	Dosis de radiación (kGy)	% de pérdida de provitamina A
Mango fresco ⁴	Beta caroteno	0.75	0
	Carotenoides totales	0.25	25
	Carotenoides totales	0.75	20 – 40
Zanahoria fresca ⁵	Beta caroteno	0.08	30
Zanahoria seca en polvo	Beta caroteno	1 y 10	9 – 14
Zanahorias enlatadas ⁶	Carotenoides totales	18.6	0 – 56
Habas verdes enlatadas	Carotenoides totales	18.6	5 – 95
Brócoli enlatado	Carotenoides totales	18.6	25 – 50
Maíz enlatado	Beta caroteno	10	46 – 80
Espinacas congeladas	Beta caroteno	0.5	0

Fuente: Lomeli y Tamayo (2000).

1.5. Efectos de la irradiación sobre las propiedades organolépticas

Las frutas son apreciadas por su sabor y aroma delicado, de modo que la conservación de la calidad sensorial de las frutas irradiadas con propósitos de ampliar su vida comercial o de cuarentena es un requisito importante en términos de aceptabilidad por parte del consumidor.

⁴ En un estudio realizado en mangos y pimientos irradiados a dosis óptimas con el propósito de desinfección, observaron que existía una retención significativa de caroteno (Mitchell y Mclauchlan, 1990).

⁵ Con relación a las verduras, las zanahorias irradiadas con 0.08 kGy para prevenir el rebrote, pierden el 30 % de vitamina A. Sin embargo, las pérdidas se reducen notablemente cuando el producto está seco (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).



Varias evaluaciones se han realizado sobre las cualidades sensoriales de las frutas irradiadas, y se ha mostrado que los atributos de calidad tales como gusto, aroma, sabor, color y textura no se ven afectados significativamente en una variedad de especies de frutas tropicales, subtropicales y de zonas templadas que han sido tratadas con irradiación gamma, electrones o rayos X a las dosis óptimas para conseguir el efecto técnico deseado en cada una de las especies particulares de frutas (Molins, 2001). Sin embargo en algunas variedades de mangos, cuando se exponen a dosis bajas de radiación (.25-.75kGy) que son óptimas para retardar la maduración pueden dar como resultado la degradación incompleta de clorofila en la maduración, que puede afectar su atractivo visual (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

La exposición a dosis por encima de la óptima provoca cambios indeseables en la textura, sabor, aroma, gusto y color proporcional a la dosis de radiación.

La irradiación de bulbos de ajo variedad roja, no afectó desfavorablemente el aroma. Ya que el aroma de los ajos tratados es importante debido a que este producto se utiliza principalmente como condimento en la dieta (Ceci, 1991).

1.6. Beneficios de la irradiación

El proceso de irradiación es quizá el método de conservación de alimentos más cuestionado por los consumidores, aunque todos ellos tienen límites, ventajas y defectos.

El más importante beneficio es la mayor calidad desde el punto de vista microbiológico que ofrecen estos alimentos, ya que el proceso destruye patógenos problemáticos desde el punto de vista de la salud pública, entre los que podemos mencionar: *Salmonella*, *E. coli O157:H7*, *Campylobacter*, *Listeria monocitogenes*, *Trichinella spiralis*, etc. Es de destacar que los productos pueden ser tratados ya envasados, lo que aumenta aún más la seguridad e inocuidad del alimento (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

Otro de los beneficios es que aumenta la vida en anaquel de los alimentos tratados. Al retardar el deterioro natural de carnes, granos y sus derivados, frutas, disminuyen la cantidad de pérdidas del producto por deterioro, lo que ayuda a mantener bajo el precio de los alimentos y hacerlos llegar a poblaciones que muchas veces no tienen acceso a ellos. Disminuye también la utilización de compuestos químicos. Un típico ejemplo es el uso de fumigantes en las especias y condimentos, que luego dejan residuos tóxicos en el producto, como dibromuro de etileno, bromuro de metilo y óxido



de etileno. Otros compuestos químicos cuyo empleo se puede reducir o anular son los nitritos en carnes; los inhibidores de la brotación, como la hidrazida maleica; sustancias antimicrobianas como: sorbatos, benzoatos (Loaharanu, 1994).

Una de las indudables ventajas de la irradiación es la sustitución de tratamientos químicos y físicos en los procesos de cuarentena para evitar la invasión de insectos que acompañan a los productos que importan los países. El transporte de insectos de un sitio a otro, rompe el equilibrio de control natural y en consecuencia el desarrollo de una especie en un sitio libre de competencia o control (se provoca el desequilibrio). Son ejemplos, la abeja africana, la mosca mediterránea y la mosca mexicana de la fruta (Loaharanu, 1994).

La irradiación no aumenta la temperatura, por lo que puede aplicarse a productos congelados reduciendo el número de microorganismos patógenos como la *Salmonella*. También aumenta las condiciones de seguridad para el consumo de alimentos, por ejemplo, evita la salmonelosis. Facilita desparasitar frutas, hierbas y especias (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

1.7. Irradiación de diversos alimentos en diferentes países

Actualmente la United States Atomic Energy Comisión y la Armada⁷ investigan la utilidad de la radiación gama en la irradiación de alimentos con cobalto-60 y determinar los efectos sobre los alimentos (Narvaiz, 2000).

En 1983, la Comisión del Código Alimentario (Codex Alimentarius Comisión, CAC) adoptó como norma de carácter mundial las conclusiones del Comité Mixto de Expertos sobre la comestibilidad de Alimentos Irradiados (CMEAI) y elaboró un Protocolo General para Alimentos Irradiados y un Código de Recomendaciones Internacionales sobre la Práctica para la Operación en el Uso de Radiación para el Tratamiento de Alimentos (Lomeli y Tamayo, 2000).

El control y regulación de las plantas de irradiación de alimentos lo hace el gobierno de cada país que lo autorice y los intereses del mercado mismo. Se estima que se irradian y comercializan más de 500 000 toneladas/año y cada año se incrementa esta cifra. (Lomeli y Tamayo, 2000).

Actualmente más de 37 países han decidido aprobar la irradiación y la construcción de plantas de tratamiento para su utilización de la irradiación en el campo de la

⁷ Comisión de energía atómica de estados Unidos y la armada organismo encargado de regular la utilidad de la radiación gamma en la radiación de alimentos con cobalto 60.



alimentación. El uso y control de las plantas de tratamiento por irradiación están regulados por el gobierno de cada país, y dependen de las políticas para el medio ambiente y los intereses de comercio. Se calcula que anualmente se irradian y se comercializan 500000 toneladas de alimentos. Entre los países que irradian más de 10,000 toneladas/año se encuentran Bélgica, Japón, Países Bajos, Sudáfrica y Rusia y Francia, y China irradian cifras cercanas (Lomeli y Tamayo, 2000).

En la tabla 4 se muestran los países que han aprobado la irradiación como método de conservación.

Tabla 4. Irradiación de alimentos en diferentes Países

País	Producto irradiado	Año de inicio
Alemania	Cebollas	1985
	Hierbas y especias, ajos y papas en polvo	1987
	Huevo en polvo y fresas	1988
Argentina	Fresas, papas, cebollas, ajos.	1987
Bélgica	Arroz, papas, cebollas, ajos y pimentón.	1980
	Especias, verduras secas y goma arábica.	1983
Brasil	Arroz, papas, cebollas, habas, maíz, carne, especias, papayas, fresas, pescado y derivados, aves de corral.	1985
Chile	Papas, papayas, trigo y productos derivados, fresas, pollos, cebollas, arroz, pescado y derivados, cocos, dátiles, mangos, especias, legumbres.	1983
Dinamarca	Hierbas y especias.	1985
España	Papas y comida destinada a alimentación animal. Cebollas	1969
		1975
Estados Unidos de Norteamérica	Trigo, papas, cerdo, enzimas deshidratadas, frutas, verduras secas, hierbas y especias.	1963 1964 1985 1986
	Carnes de ave y vacuno (frescas y congeladas)	1990
	Comida para astronautas y para animales	1997
Finlandia	Especias y condimentos deshidratados. Todas las comidas de pacientes que requieren dietas esterilizadas	1987
Francia	Papas, cebollas y ajos	1972
	Especias y sustancias aromáticas	1977
	Goma arábica, cereales, verdura deshidratada y carne de pollo	1983



Hungría	Cebollas, especias (pimentón)	1982 1986
Italia	Papas, cebollas y ajos	1983
México	Especias (chile colorado), verduras deshidratadas, cereales, carne congelada, cacahuates, setas deshidratadas.	1984
Países bajos	Setas y carnes congeladas. Papas	1969
	Todas las comidas de pacientes que requieren dietas esterilizadas.	1970
	Cebollas, pollo, especias y ancas de rana congeladas, arroz y derivados.	1972
	Malta, pescado congelado, huevo en polvo y verdura congelada	1975 1978 1979
Reino Unido	Todas las comidas de pacientes que requieren dietas esterilizadas	1983
Sudáfrica	Papas, plátanos secos y aguacates	1969
	Cebollas, ajos, pollo, papaya, mango, fresas, lichis, queso en polvo, especias y verduras deshidratadas.	1977
URRS	Papas, granos, frutos secos y concentrados de comida seca. Cebollas	1978
		1958 1959
		1966 1973

Fuente: Lomeli y Tamayo (2000).

Se irradia gran variedad de alimentos, a veces para consumo interno y otras con fines de exportación. En 28 países (entre desarrollados y en vías de desarrollo) se comercializan alimentos irradiados.

Hoy en día más de 40 países han aprobado más de 100 artículos alimentarios irradiados o grupos de alimentos para consumo, tanto de forma incondicional o restringida (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

1.8. Equipos

Los productos alimenticios se irradian generalmente con radiación gamma de una fuente de radioisótopos, o con electrones o rayos X generados utilizando un acelerador electrónico.

El radioisótopo utilizado en la mayoría de las prestaciones comerciales de irradiación gamma es el cobalto⁶⁰, la mayor parte del cual se produce en Canadá irradiando cobalto natural.



El cesio¹³⁷ de carburante nuclear agotado es una fuente alternativa de radioisótopo, aunque en la actualidad no es muy utilizado (Barbosa- Canovas *et al.*, 1998).

Una planta de Cobalto⁶⁰ consta básicamente de una sala de irradiación, una piscina de almacenamiento, un sistema transportador, una consola de control, y depósitos que separan el material irradiado del sin irradiar (Figura 4)

La sala de irradiación es una cámara central de paredes de hormigón gruesas y puertas diseñadas especialmente para impedir la liberación de radiactividad. Los dispositivos de inter bloqueo y alarma impiden que la fuente de radiación se eleve mientras las puertas no estén completamente cerradas (Satin, 1992).

La piscina de almacenamiento (Figura 5) es el lugar donde se encuentran las fuentes radiactivas de Cobalto⁶⁰ mientras no se está tratando nada. El agua actúa de blindaje contra la energía radiactiva, protegiendo a los operadores cuando tienen que entrar en la sala. Cuando las instalaciones entran en funcionamiento se carga el alimento en una cinta sin fin que da vueltas alrededor de la fuente isotópica para que los alimentos sean tratados de forma uniforme, y se eleva por encima de la piscina dicha fuente isotópica. El sistema transportador sirve para desplazar automáticamente los alimentos dentro y fuera de la cámara de irradiación (Satin, 1992).

Los productos pasan por el campo de irradiación dentro de la cámara a una velocidad controlada con precisión para absorber la cantidad de energía necesaria para el tratamiento. Después del tratamiento, pueden manipularse inmediatamente. Desde la consola de control, fuera de la cámara de irradiación, operadores capacitados controlan electrónicamente la fuente de irradiación y el tratamiento de los productos.

Todas las instalaciones de irradiación deben tener una licencia, y son inspeccionadas periódicamente por el organismo gubernamental correspondiente. La seguridad de los trabajadores depende además de procedimientos de operación estrictos y de una capacitación adecuada (Narvaiz, 2000).

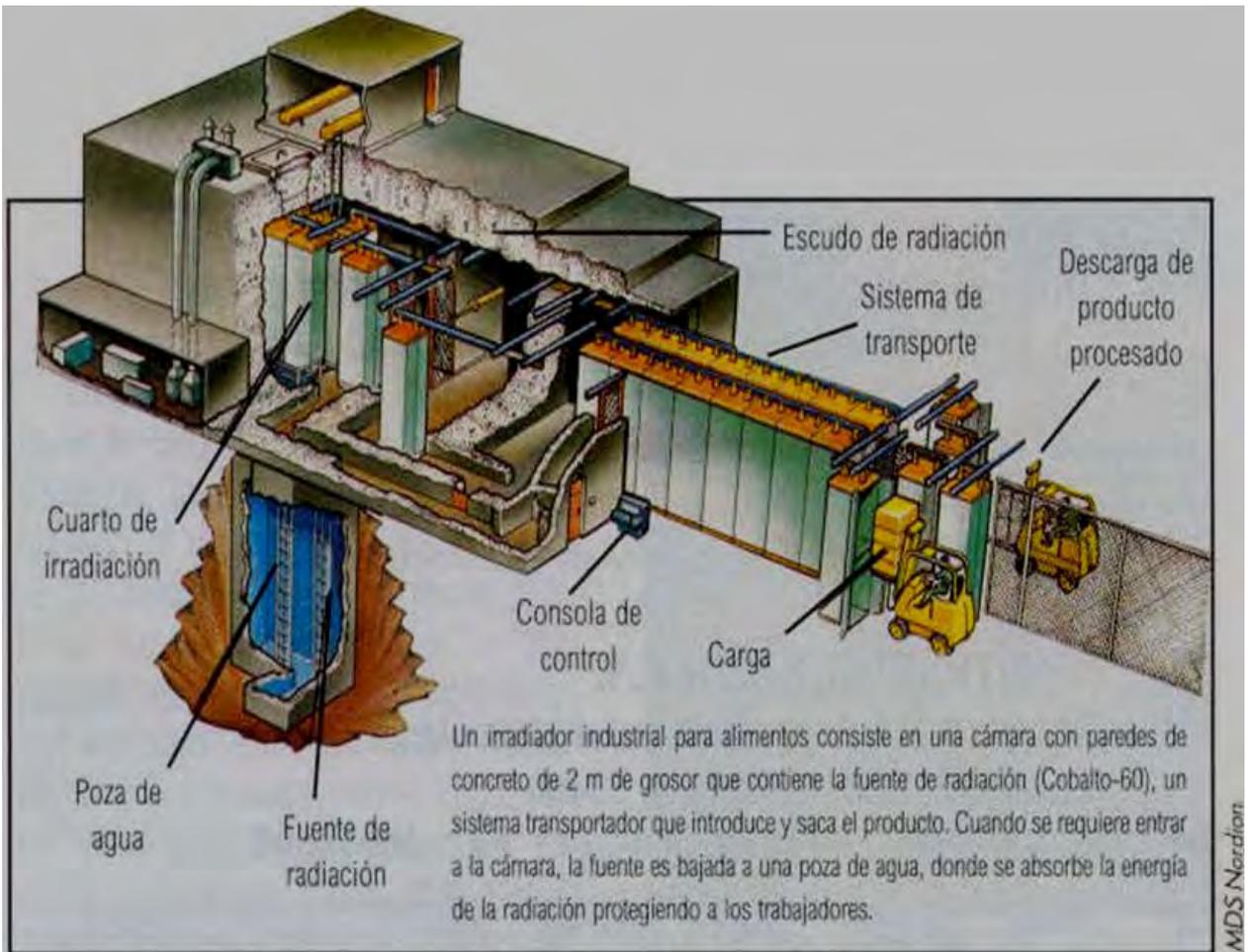


Figura 4. Esquema de unidad de irradiación de Co^{60}

Fuente: Rodríguez (2003).



Figura 5. Fuente de rayos gamma

Fuente: Olvera (2007).



Otro modo de irradiar alimentos consiste en el uso de máquinas eléctricas como fuentes de energía. Por medio de aceleradores, que producen haces de electrones de voltajes extremadamente altos para duchar los alimentos a procesar. Una gran ventaja de estos sistemas es que pueden encenderse y apagarse como una bombilla y no están relacionados con la industria nuclear. Una desventaja es que los haces de electrones de alta energía tiene un poder de penetración limitado comparado con los rayos gamma de una fuente de Co^{60} , el poder de penetración de los haces de electrones es adecuado sólo para materiales con un grosor de no más de 2-4 pulgadas (5-10 cm). Sin embargo para ciertos usos, estas fuentes son muy prácticas. Se utilizan más para irradiar carne de pollo y para la desinfestación de grano importado (Satin, 1992).

La elección de la fuente y el diseño del irradiador dependen por lo tanto de los productos a irradiar, el costo del equipo, los gastos operativos y el ambiente sociopolítico. Sin tener en cuenta la fuente, la función de la irradiación de alimentos es proteger o mejorar la calidad del producto lo que se consigue con una ionización uniforme.

1.9. Aplicaciones de la irradiación en alimentos de origen vegetal

El uso del proceso de irradiación está ampliamente fundamentado para frutas y verduras, ya que se pueden usar a bajos niveles de radiación 1 kGy, aproximadamente. También puede aplicarse a un gran número de productos, en variedad de condiciones como a productos enlatados precocinados, productos enlatados, envasados al vacío, a baja temperatura, etc. (Narvaiz, 2000).

Una cantidad de aplicaciones de la radiación ionizante en el procesado de alimentos conduce a usos potencialmente valiosos, incluyendo el aumento de la velocidad de hidratación de verduras deshidratadas como sopas preparadas, aumentando el rendimiento de zumos de uva sin que llegue a afectar la calidad del vino final; aumentando la velocidad de secado en frutas como ciruelas; reduciendo el tiempo de cocinado de judías (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

Actualmente se tiene una amplia gama de aplicaciones de la irradiación en frutas y vegetales frescos, y de acuerdo con la cantidad de energía entregada, se pueden lograr distintos efectos.



En un rango creciente de dosis, es posible inhibir la brotación de bulbos, tubérculos y raíces⁸, por ejemplo papas sin brote durante 9 meses a temperatura ambiente (Figura 6), esterilizar insectos como la "mosca del Mediterráneo" (*Ceratitis capitata*) para evitar su propagación a áreas libres, cumpliendo así con los fines cuarentenarios en productos frutihortícolas y granos⁹; retardar la maduración de frutas tropicales como plátano, papaya y mango¹⁰; demorar la senescencia de champiñones y espárragos; prolongar el tiempo de comercialización de "frutas finas", por reducción de la contaminación microbiana total, (fresa 21 días conservadas en refrigeración) controlar el desarrollo de microorganismos patógenos no esporulados¹¹ (excepto virus) y por último, esterilizar alimentos, es decir, aplicar un tratamiento capaz de conservarlos sin desarrollo microbiano a temperatura ambiente durante años, lo cual se asemeja a la esterilización comercial¹² (Narvaiz, 2000).

La radiación puede inducir ciertos cambios deseables de algunos alimentos. Así por ejemplo, las verduras deshidratadas e irradiadas se reconstituyen (hidratan) más rápidamente, carnes filamentosas y duras pueden ablandarse con dosis medianas de radiación que destruyan la pectina (Narvaiz, 2000).

La aplicación dosis de 0.8 a 0.9 KGy a ajos después de la poscosecha, se logro inhibir la germinación y reducir las pérdidas por pudrición, vaciado y peso fisiológico,

⁸ El uso de muy bajas dosis de irradiación inhibe la brotación de tubérculos y bulbos como papas, cebollas y ajos. Este método evita el empleo de agentes químicos (Ceci, 1991).

⁹ Este método puede causar la muerte o esterilidad de insectos; la radiación es uno de los mejores sustitutos de los agentes químicos. Como se requieren dosis de alrededor de 0.3 KGy, los cambios físico-químicos y organolépticos en frutas y hortalizas son insignificantes. A fines de 1985, el dibromuro de etileno (EDB), fue prohibido en Estados Unidos y hoy se están cuestionando otros fumigantes como el bromuro de metilo (BM). En enero de 1989 se aprobó en EU una dosis mínima de 0.15KGy como un método de desinfestación de papaya cultivada en Hawai (Narvaiz, 2000).

¹⁰ Dosis bajas retardan la maduración y prolongan la vida útil de algunas frutas como los mangos y papayas, en general la vida útil se duplica o triplica (Barbosa- Canovas, 1998).

¹¹ El uso de dosis medias de irradiación se puede extender por varios días y hasta semanas la vida útil de algunos productos como pescados, mariscos, algunas frutas y hortalizas. Este efecto se debe a la eliminación de algunos tipos de bacterias y parásitos, causantes de la descomposición de los productos antes mencionados (Barbosa-Canovas, 1998).

¹²Un tratamiento con dosis altas, destruye la flora microbiana presente en los alimentos por años, en envases sellados, a temperatura ambiente. Estos alimentos aún no están disponibles en el mercado, sin embargo éstos ya han sido utilizados por astronautas y algunos pacientes inmunodeprimidos.



lográndose conservar el producto por periodos de hasta 11 meses poscosecha en condiciones ambientales (Iglesias y Fraga, 2000).



Figura 6. Figuras comparativas de dos hortalizas tratadas con y sin irradiación
Fuente: Revista de extensión tecnovet, (1996)

Las fresas representan una importante aplicación de la irradiación (radurización) debido a los organismos responsables del crecimiento del deterioro y a que no se pueden controlar mediante refrigeración. La irradiación a una dosis de 2.0 – 2.5 kGy, retarda el deterioro, y las fresas permanecen firmes y frescas durante periodos más amplios (Figura 7).



Figura 7. Fresas tratadas con irradiación y sin irradiación.

Fuente: Revista de extensión tecnovet (1996).



1.10. Legislación

1.10.1. Comisión FAO - OMS del Codex Alimentarius:

- **Norma general CODEX para los alimentos irradiados** (rev 2003). Se aplica a los alimentos tratados con radiaciones ionizantes, no a los alimentos expuestos a dosis por instrumentos utilizados a efectos inspección
- **Código de prácticas del CODEX para el tratamiento de los alimentos irradiados**. Indica las prácticas que deben aplicarse para que el tratamiento por irradiación resulte eficaz y se efectúe de manera que permita mantener la calidad y obtener productos alimenticios inocuos y aptos para el consumo.

1.10.2. Unión Europea:

- . Se aplica a los alimentos tratados con radiaciones ionizantes

Esta norma muestra todos los alimentos e ingredientes alimentarios irradiados en el mercado comunitario y los permitidos dentro de este. Se incluye una lista comunitaria a escala europea una categoría de alimentos para tratamiento por irradiación hierbas aromáticas secas, especias y condimentos vegetales.

También se muestra que los alimentos irradiados están regulados por dos directivas:

La directiva 1999/2/CE, trata los aspectos generales y técnicos de la ejecución del proceso de irradiación, el etiquetado de los productos alimenticios irradiados y las autorizaciones de irradiación de estos productos. La directiva 1999/3/CE, trata del establecimiento de una lista de comunitaria de alimentos e ingredientes alimentarios autorizados para el tratamiento con radiaciones ionizantes.

1.10.2. México:

- **Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA1-1993**, Bienes y servicios.

Irradiación de alimentos

Esta Norma Oficial Mexicana establece las dosis permitidas para la irradiación de alimentos, materias primas y aditivos alimentarios

Controla y regula los alimentos, materias primas y aditivos alimentarios, por medio de dosis permitidas. Algunos productos mencionados en esta norma de irradiación son vegetales frescos, vegetales deshidratados, carnes, pescado, frutas, frutas deshidratadas.



Como se mencionó anteriormente para el proceso de irradiación se cuentan con 3 normas oficiales y una en proceso de ser aceptada, la NOM-022, publicada en el diario de la federación el 28 de diciembre del 2006, que en particular tratará de las condiciones específicas para el tratamiento de irradiación en frutas y hortalizas, específicamente mango y naranja. Ya que actualmente como no se encuentra aprobada dentro de nuestro país, no se pueden comercializar fuera del territorio nacional productos hortofrutícolas, como es el caso del mango como producto de exportación, solo movilizarlo con este tratamiento en algunas zonas del país. Por lo tanto, se está en espera que nuestro país pueda participar dentro de los países que exportan frutas con el tratamiento de irradiación, ya que se tiene contemplada que esta norma pueda ser aceptada el próximo año (Olvera, 2007)

En cuanto a las normas de irradiación internacionales como la del codex y la de la Unión Europea, al igual que la de México para diferentes productos alimentarios, concluyen que la irradiación de cualquier alimento o ingrediente no debe rebasar los 10Kgy, y bajo estas condiciones no presenta ningún riesgo para la salud toxicológicamente hablando, al igual que no genera riesgos adicionales como microbiológicos o nutricionales.

Todas estas normas mantienen en común el muestreo y el etiquetado, llevando así la leyenda de “irradiado” o llevar el símbolo de irradiación.

En general tienen en común obtener productos irradiados con las mejores características microbiológicas, para obtener un producto de calidad.

Hablando de forma general para la exportación de frutas y hortalizas a otro país específicamente EU debe existir una normativa que regule la irradiación en ambos países donde exista un acuerdo para el comercio de productos irradiados ante los países interesados, al igual que un plan de trabajo para el procesamiento de fruta en el que se establezca el origen de la fruta, el empaque, el transporte, el procesamiento, los métodos de muestreo y diferentes tipos de criterios de aceptación y rechazo etc.

Al igual que debe contener anexos donde se establezcan las condiciones de irradiación acorde a cada fruta, ya que en lo particular la nueva norma para irradiación de frutas y hortalizas que esta por salir, no menciona en su mayoría estas características importantes (Olvera, 2007).



1.11. Propuesta tecnológica para el tratamiento cuarentenario para *mango* de exportación

La presencia constante en los mercados mundiales de productos de mala calidad y contaminados, y el aumento de los rechazos de dichos productos, se traduce en graves daños para el desarrollo económico de los países. La contaminación de los alimentos es, en muchos casos, el resultado de problemas ambientales más generales de contaminación; de la falta de una infraestructura sanitaria y de una higiene adecuada; de la ausencia de buenas prácticas de manejo y cuidado de los alimentos; se traducen en altos riesgos para el consumidor.

Con el objeto de atenuar los problemas relacionados con la calidad e inocuidad de los alimentos en el comercio nacional e internacional, se propone la aplicación de tecnologías emergentes en frutos y hortalizas con el fin de facilitar las exportaciones de los principales frutos y hortalizas en fresco que produce México. La mayoría de las exportaciones de frutas y hortalizas son enviadas a los Estados Unidos de Norteamérica, con pequeños volúmenes dirigidos a Canadá. Sin embargo, en los últimos años se ha explorado la exportación de ciertos productos hortofrutícolas hacia Europa y Japón, con excelentes resultados.

Estas experiencias, han mostrado que para competir en estos mercados es necesario presentar productos de alta calidad, lo cual ha motivado a los productores a aplicar nuevas tecnologías con el fin de mejorar la calidad de sus productos, así como a mejorar su manejo poscosecha para extender su vida de anaquel y lograr llegar a mercados lejanos con producto de alta calidad. Al igual que evitando la cuarentena y así enviar más rápido sus productos a Estados Unidos. Para mangos evitando el tratamiento hidrotérmico ya que es considerado requisito para permitir el comercio en mercados Norteamericanos. Dicho tratamiento tiene como objetivo el control de la principal plaga del mango, *Ariastrephu Ludens*, mosca mexicana de la fruta.

La utilización de nuevas tecnologías en la producción hortofrutícola y el estricto cumplimiento de las normas de calidad han sido fundamentales para incrementar los volúmenes de exportación y mantener esta industria nacional en un nivel altamente competitivo. Estos niveles se han logrado después de afrontar varios retos como las barreras arancelarias,

La solución no reside en el cierre de las fronteras ni en la multiplicación de los sistemas de vigilancia, con el objeto de hacer que el ingreso de las mercancías sea más selectivo, sino en adoptar nuevas tecnologías en todas las fases del proceso de producción.



1.11.1. Selección del producto de potencial económico

Nuestro país es líder mundial en exportación de mango. Cifras de 2005 señalan que la producción de esta fruta fue de millón 381 mil toneladas, de las cuales 194 mil 542 se vendieron en el mercado internacional. Ocupando el cuarto lugar en la producción (Figura 8) mundial de esta fruta tropical (SAGARPA, 2007):

Los principales estados productores son, entre otros, Nayarit, Sinaloa, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Veracruz y Chiapas.

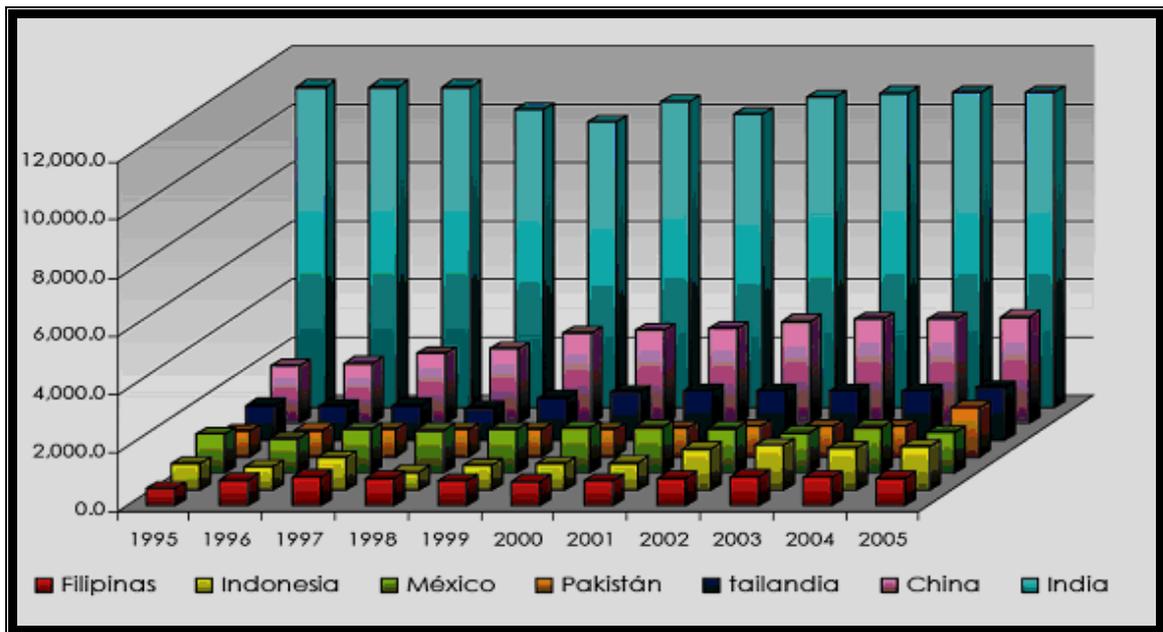


Figura 8. Principales países productores de mango

Fuente: Secretaria de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2007).

La India es el principal productor de mango y aporta alrededor del 42.7% del volumen total mundial, seguida de China con el 12.1%, Pakistán con el 6.0% y México en un cuarto lugar con casi el 6%.

México es el principal país exportador (Figura 9) del mundo con una participación del 30% en las exportaciones mundiales. Nuestro país destina sus exportaciones a los mercados de EU, Canadá, Europa y Japón. Siendo los principales estados exportadores de la Republica Mexicana, Michoacán, Sinaloa y Nayarit.

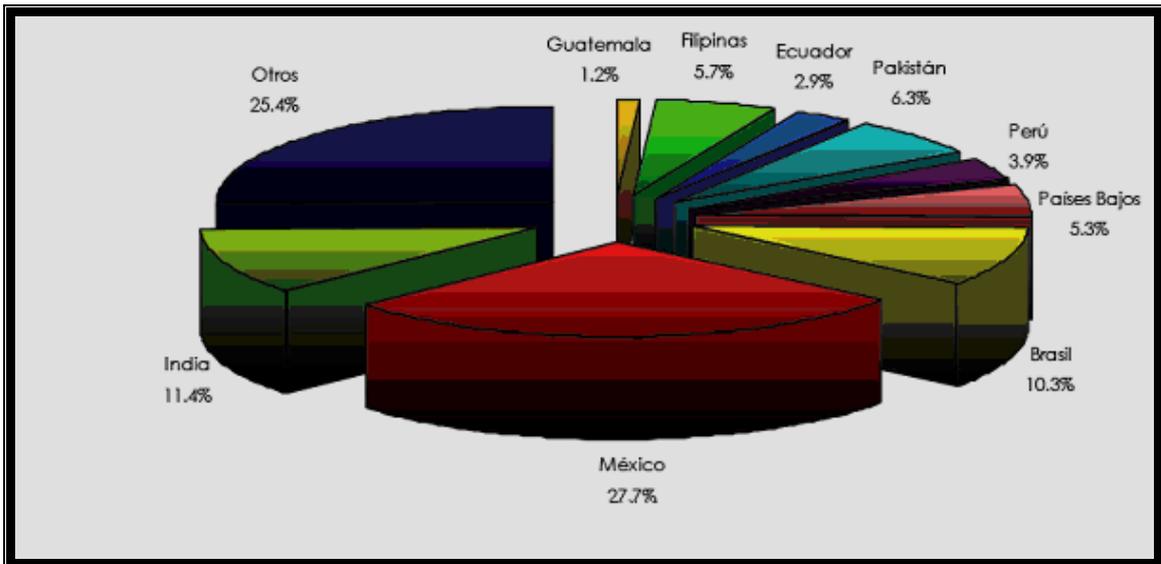


Figura 9. Principales países exportadores de mango

Fuente: Secretaria de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2007).

Estados Unidos es el país que absorbe el mayor volumen de exportación de envíos de mango hechos por empresas michoacanas, con el 91.12 por ciento de las 56 mil 381.2 toneladas A nivel mundial, alrededor del 75 por ciento de las importaciones (Figura 10) que hace Estados Unidos de mango corresponden a fruta enviada desde México.

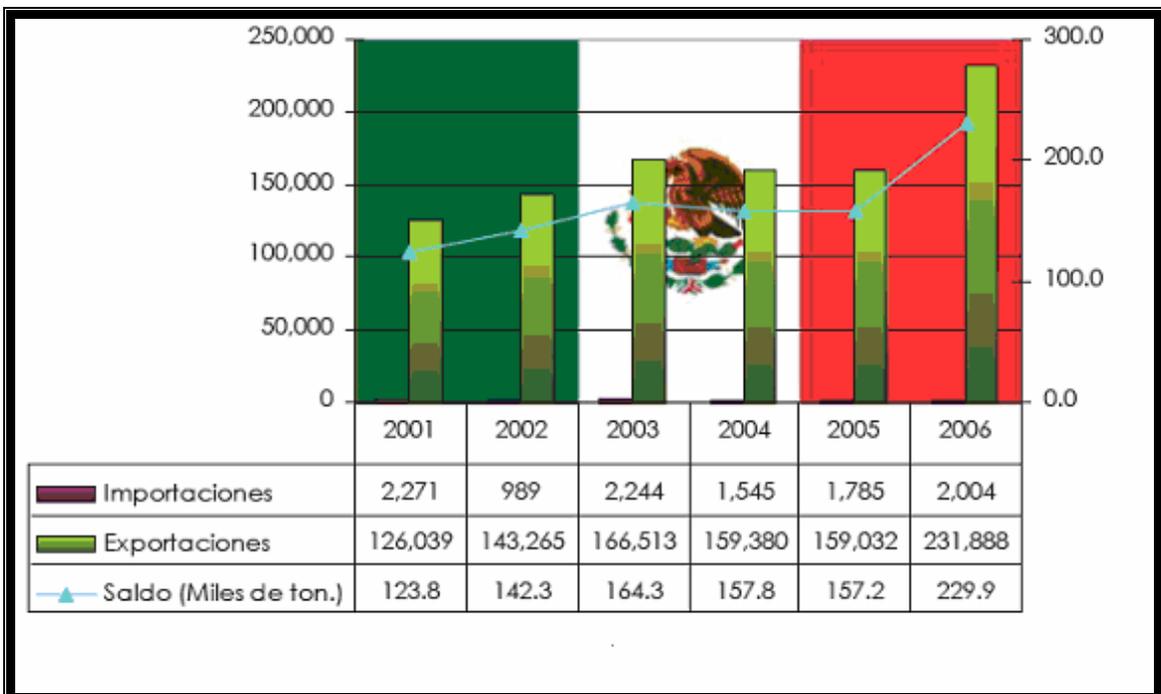


Figura 10. Exportaciones e importaciones de Mango

Fuente: Secretaria de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2007).



Los principales demandantes de esta fruta son los Estados Unidos, Canadá, los Países Bajos y en menor medida Japón.

Como se puede notar es una fruta muy importante en cuanto a exportación, por lo tanto es de importancia poder aplicar una tecnología emergente para la conservación de este fruto y así poder evitar pérdidas por infestaciones de plagas como la de la mosca de la fruta.

1.11.2. Propuesta de aplicar la irradiación a mangos para exportación

La opción principal de acuerdo a la exportación de mango en fresco es la aplicación de irradiación como tecnología emergente, ayuda en el control de la mosca de la fruta, ya que constituye un requisito fitosanitario indispensable para las exportaciones de México a Estados Unidos, y así a la vez poder evitar el tratamiento adicional cuarentenario de inmersión de la fruta en agua caliente, que puede provocar daños en la fruta, y generar más pérdidas para los productores.

1.11.3. Proceso tecnológico para la exportación de mango

En la figura 11 se muestra el diagrama de proceso de mango fresco para exportación.

Recepción: una vez que llegan los mangos a la empacadora se vacían directamente a graduadores y bandas transportadoras. Muchas veces el producto se vacía en tambores secos o con agua. En los tambores secos la caja se cubre con un forro acojinado y el producto se libera a través de una abertura controlada en el forro acojinado.

Preenfriamiento: Consiste en disminuir la temperatura del producto rápidamente hasta la ambiente para evitar la proliferación de microorganismos, esto se hace empleando agua fría entre 2° y 10°C., en algunos tambores de agua el producto se vacía directamente de la caja dentro del agua; otros sumergen la caja y el producto flota libremente.

Selección: Los mangos son transportados con bandas hacia un equipo clasificador donde se seleccionan los mangos en buenas condiciones y se eliminan los dañados.

La mesa de selección simple consiste en un elevador de rodillos, situado normalmente en posición horizontal, y una cinta transportadora para destríos o calidades inferiores. Los rodillos se apoyan sobre guías de madera en su movimiento de avance, de manera que adquieren un movimiento de rotación que hace girar la fruta, con el fin de verla en su totalidad. La cinta puede estar situada encima o debajo del elevador.



Clasificación: Las frutas una vez en bandas transportadoras pasan hacia un equipo clasificador donde se acomodan de acuerdo al tamaño de los mangos. Cuenta con un programa para el control de la máquina por medio de un computador, así como tarjetas para activar las salidas digitales.

El calibre del mango está relacionado al número de mangos que caben en una caja de 4 kg. Por ejemplo el calibre ocho refiere a que ocho de esos mangos completan una caja.

Limpieza: los productos que se van a envasar necesitan estar perfectamente limpios para evitar el desarrollo de microorganismos que generalmente se encuentran en su superficie; la limpieza puede ser de dos tipos: húmeda y seca, cuando los productos están muy sucios se emplean los dos métodos, aunque también depende de la naturaleza de la fruta. Cuando se realiza la limpieza húmeda es necesario eliminar el exceso de agua libre que queda en la superficie, haciéndola pasar por un túnel de aire a una temperatura de 35°C para garantizar una humedad relativa del 85% para evitar la deshidratación. Al agua de lavado se le agregan fungicidas, antimicrobianos. En el caso del mango se utiliza una solución de cloro a 15ppm/100Lt de agua.

Tratamiento térmico: la inmersión en agua caliente es el único tratamiento aprobado para su uso contra la mosca de la fruta. En mangos para exportación la USDA recomienda usar temperaturas de 46.1°C, no menor 45.4°C; por 65 min, para frutos menores a 300g y 90min para mayores de este peso, sumergiendo la fruta en agua caliente a una profundidad de 10cm. Esta se realiza en tinas o tanques con agua.

Enfriamiento: inmediatamente después del tratamiento con calor se pasa a un sistema de hidro enfriamiento mediante la inmersión del mango a un tanque con agua a 21°C durante los primeros 30 minutos inmediatos al tratamiento, y una vez pasado este tiempo, se permitirá el uso de agua a una temperatura menor.

Encerado: Algunas frutas se enceran como parte de la operación de envasado. Las ceras se usan para reducir las pérdidas de agua, para reemplazar las ceras naturales que se perdieron durante el lavado y la limpieza, para cubrir heridas además pueden combinarse con fungicidas o reguladores del crecimiento. Al cubrir los mangos con cera puede incrementar su vida de almacenamiento y reducir pérdidas de peso. La cantidad de sólidos utilizado en las emulsiones de cera par su aplicación en mangos es por debajo de 1.7%. Se recomienda la utilización de la cera de candelilla en mango.

Empacado: el mango es empacado en cajas de 4 kg. Pasa a ser paletizado y posteriormente almacenado en cámaras de refrigeración. Cuando las cajas tienen



como destino Estados Unidos, cada caja de fruta será estampada con la leyenda "tratado con agua caliente", cada mango deberá llevar una etiqueta con el nombre del Exportador. Las cajas son acomodadas en pallet de 1.2 m x 1.2 m, pudiendo apilar 20 camas por paletas, que luego son enzunchadas para asegurar la carga. Cada pallet contiene aproximadamente 240 cajas.

Irradiación: se le aplicara radiaciones gamma provenientes de cobalto 60, esto en una planta de irradiación de alimentos. Con las características de seguridad que se requieren, aplicándole una dosis de .05 a 1.0 Gy.

1.11.4. Proceso tecnológico para la elaboración de cada producto

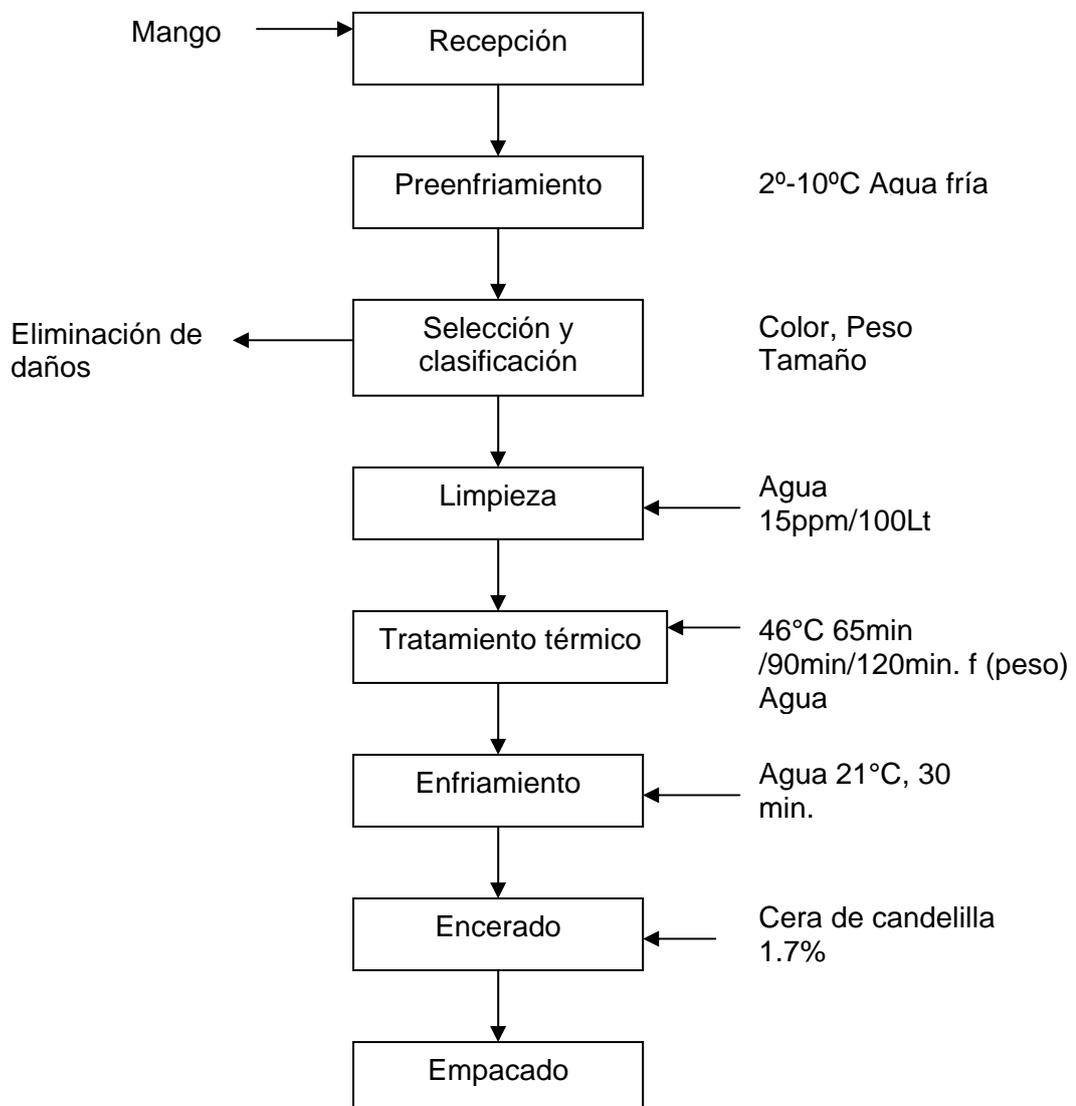


Figura 11. Diagrama de proceso de mango para exportación en fresco.

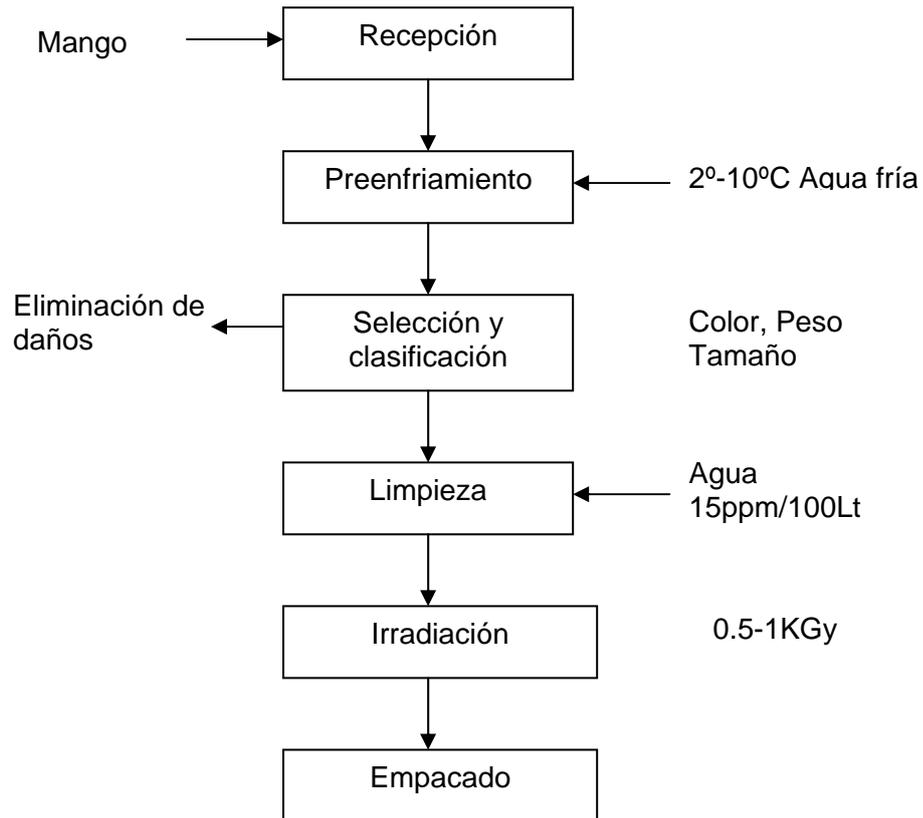


Figura 12. Propuesta tecnológica de mango para exportación tratado con irradiación ionizante.

En estos diagramas de proceso comparativos de los dos métodos (Figura 11) de conservación de fruta por tratamientos térmicos y aplicaciones de fungicidas como método tradicionales e irradiación como tecnología emergente.

En la figura 12 se presenta la propuesta tecnológica para mango para exportación, en la cual se sustituye el tratamiento hidrotérmico por un tratamiento por irradiación.

Se puede observar que existe una eliminación de etapas en el proceso (Figura 12), en el caso del mango para exportación, normalmente se le aplica un tratamiento térmico y en algunos casos el encerado para la conservación y como método cuarentenario, y así poder controlar la mosca de la fruta. Esto con el propósito de que el mango que se producen en lugares contaminados queden libres de insectos y enfermedades como una medida preventiva para evitar su diseminación a otros países.

En el proceso aplicando la irradiación como tecnología de conservación emergente, la dosis de aplicación es de 0.5 a 1 KGy, es una dosis relativamente baja, obteniendo así un producto más fresco sin daños por temperaturas altas. Ya que tan sólo a una dosis de menos de 1KGy elimina microorganismos y sobretodo, se evita los tratamientos de cuarentena en contra de la mosca de la fruta, y así poder exportar esta fruta en un tiempo mas corto y libre de plagas.



1.11.5. Equipos utilizados para el proceso de mango por irradiación

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
<p>Volcadores de bins</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Utilizados para alimentar la línea de limpieza y selección.• Voltea el bins en 135°, por medio de cilindro Oleohidráulico• Motor de 2 HP
<p>Tinas de enfriamiento</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Tinas de acero, plástico• controladas por un sistema computarizado que nos garantiza cumplir eficientemente con la regulación de la temperatura• Cuentan algunas además con dos calderas de vapor con sistemas automáticos de arranque y paro, que nos aseguran un total control de la temperatura del proceso
<p>Mesa de selección</p> 	<ul style="list-style-type: none">• La mesa de selección simple consiste en un elevador de rodillos, situado normalmente en posición horizontal, y una cinta transportadora para desechos o calidades inferiores.• Los rodillos se apoyan sobre guías de madera en su movimiento de avance, de manera que adquieren un movimiento de rotación que hace girar la fruta, con el fin de verla en su totalidad.
<p>Clasificadora</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Es manejada a través de una computadora• tiene de 1 a 8 líneas corriendo cada línea hasta 18 charolas por segundo, y el sistema de salidas digitales puede crecer hasta 40 salidas.• Ordena al mango, en función de su peso, en calibres que van desde el cinco hasta el catorce.



EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
<p>Lavadora</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Capacidad de lavado en continuo desde 400Kg/hr hasta 200Kg/hr, provista de banda transportadora para productos delicados.• Opcional filtro anti-insectos y sistema de burbujas de aire. Tuberías de fácil acceso para limpieza y boquillas orientables.
<p>Enceradora</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Consta de cepillos para el reparto uniforme de ceras o fungicidas.• Construido en acero inoxidable.• La velocidad de rotación de cepillos regulable, cepillos de pelo mezcla 50% natural y sintético, preinstalación de barrendera y motorizada.• Bandejas de desagüe inclinadas de fácil limpieza.
<p>Bandas transportadoras</p> 	<ul style="list-style-type: none">• El recubrimiento de este tipo de banda posee efectos antideslizantes y amortiguadores. Banda adecuada para el transporte de materiales frágiles o deformables• La estructura de la cara superior tiene efecto amortiguador, aplaca y absorbe las vibraciones e impactos dados por los materiales transportados y simultáneamente evita deslizamientos.• Aunque depende del material transportado es factible el transporte con ángulos de inclinación de 25° a 35°.• 3m de largo por 1.2m de ancho
<p>Planta de irradiación</p> 	<p>Irradiación de los mangos de 0.5 a 1.0 KGy</p> <p>PLANTA: STERIGENICS PLANTA DE IRRADIACION</p>

Fuente: Imágenes de diferentes equipos tomados de empresas: FRUTIMAQ, RODEVA, FOMESA, TIU, DANMIX, DECO, LOURO.



1.11.6. Costos de la implementación de la tecnología emergente

El éxito de la puesta en marcha de una nueva tecnología depende de la disponibilidad de una infraestructura apropiada en un determinado país. En general el proceso de irradiación de alimentos requiere la misma infraestructura que otros procesos físicos como congelación, secado. La energía utilizada para conservar por irradiación es pequeña a comparación con otras tecnologías.

Ya que cualquier tratamiento alimentario añade costos al producto, al igual que otros procesos físicos la irradiación necesita grandes inversiones de capital y una capacidad mínima crítica y volúmenes de producto para que la operación sea económica. Ya que el costo de cada lápiz de cobalto oscila entre los 15,000 dólares (Olvera, 2007).

A diferencia de otros procesos físicos, los costos de la operación con irradiación son pequeños especialmente con lo que respecta a las necesidades energéticas. Ya que irradiar un kilogramo de producto cuesta entre \$ 1.00 a 2.50 (Olvera, 2007).

En naciones tecnológicamente avanzadas, así como en muchos países desarrollados existe la infraestructura necesaria para el montaje de plantas procesadoras con irradiación.

Cuando se aplican operaciones especiales para la conservación de alimentos, el costo de los productos aumenta pues para cada operación especial es necesario un equipo específico.

7.1.7. Beneficios y limitaciones de cada tecnología emergente propuesta.

Beneficios

- Tratando los mangos con radiación ionizante, conserva por tiempo mas amplio al fruto, descontamina al fruto de bacterias patógenas, mejorando la calidad higiénica previniendo así potenciales peligros para la salud, controla la maduración, senescencia, no produce residuos tóxicos con algunos plaguicidas, como el dibromuro de etileno que es altamente cancerígeno.
- Aumenta la vida útil de los productos, destruye los microorganismos que ocasionan la alteración del deterioro del producto y senescencia.
- Inhibe algunos procesos bioquímicos tales como la actividad enzimática, retrasando la maduración
- Controla la infestación de insectos como la mosca de la fruta y otros insectos, que dan como resultado perdidas poscosecha de los alimentos, ya que muchos países libres de peste imponen controles de cuarentena estrictos para evitar la importación de insectos. Y así se evita tener en cuarentena a los frutos.



Limitaciones

- En productos frescos como el mango algunas dosis de irradiación causar ablandamiento o incremento en la permeabilidad de los tejidos (textura acuosa).
- El costo de la planta que es bastante caro.
- Rechazo social: Los alimentos tratados por radiaciones ionizantes suscitan en el consumidor un gran escepticismo en lo que a la influencia en la salud se refiere por lo que no son bien aceptados.

Capítulo 2. Altas presiones hidrostáticas



2. Altas presiones hidrostáticas

2.4.1. Historia y generalidades

El potencial de la alta presión (AP) para conservar alimentos se conoce desde finales del siglo XIX. Su utilidad en este campo fue señalada por el equipo de Bert H. Hite a partir de los estudios iniciados en el año 1899 sobre los efectos de las altas presiones en la conservación de leche, carne y zumos de frutas (Daoudi, 2004).

Bridgman en 1914 estudio el efecto de la alta presión sobre clara de huevo, donde observó que la desnaturalización proteica de la clara de huevo se produce de manera irreversible a partir de 300 Mpa y se intensifica con el aumento de la presión y el tiempo de tratamiento (Richardson, 2001).

En la década de los ochenta, la universidad y la industria japonesas, apoyadas por el Ministerio de Agricultura, fueron pioneras en el desarrollo de la AP para su aplicación en la industria alimentaria. El primer fruto de esta investigación fue la comercialización, en abril de 1990, de mermelada tratada por AP (Raventós-Santamaría, 2005).

Esta iniciativa fue seguida por la comercialización de otros productos, avalada por un interés creciente de los consumidores, que valoran las características organolépticas de los productos tratados por presión, ya que los asocian a productos naturales y con muy poca transformación.

La tecnología de alta presión se utilizó originalmente en la producción de cerámicas, aceros y súper aleaciones. En la pasada década, la tecnología de alta presión se expandió a la industria alimentaria. Ya que la inactivación de microorganismos con alta presión fue reconocida desde principios del siglo veinte, pero sólo en la pasada década los investigadores empezaron a estudiar la potencial comercialización de la tecnología con alta presión en la industria alimentaria (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

En 1998, una industria de Estados Unidos inició la comercialización de ensalada de aguacate tratada por AP, mientras que en Europa, Francia y España también lanzaban al mercado productos tratados por esta técnica. Utilizando el tratamiento de AP se obtienen productos cuyas vitaminas, así como los sabores, aromas y colores naturales se conservan casi intactas (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

El éxito comercial de la pasta de aguacate producida por la empresa Avomex Inc. de calidad en los Estados Unidos para la tecnología AP.

Actualmente se encuentran en el mercado jugos tratados por alta presión en varios países y recientemente fueron introducidos en México por el Grupo Jumex (Torres, 2004).



2.2. Fundamentos y definición

Fundamento:

Sometimiento del producto a una elevada presión hidrostática (400 - 900 MPa ó 4.000 -9.000 atm), desde minutos hasta algunas horas. Fluido transmisor: agua (Bald - Garmendia, 2000).

El tratamiento por altas presiones, también llamado pasteurización hiperbárica, es un proceso de conservación de alimentos consistente en introducir los productos a tratar envasados previamente en recipientes herméticos y flexibles, en una cámara llena de agua y someterlos a alta presión hidrostática durante unos minutos (Tellez, 2001).

Las altas presiones son las presiones comprendidas entre 100 y 1000 Mpa. Donde el medio utilizado para transmitir la presión es el agua. Y por lo tanto a este proceso se le conoce como altas presiones hidrostáticas (Daoudi, 2004).

Esta tecnología en el área de los alimentos asegura el nivel de la alta calidad de los productos (sabor, color, contenido de la vitamina, componentes biológicos activos) similar al de las materias primas frescas. Esta tecnología permite también la producción de productos no tradicionales (Houska *et al.*, 2005).

Debido a que la AP se utiliza para mejorar la calidad microbiológica y las características fisicoquímicas y sensoriales, se deben seleccionar las condiciones de tratamiento más adecuadas, en función del objetivo prioritario. El tiempo de aplicación de la presión puede oscilar entre unos pocos minutos y algunas horas, y la temperatura de tratamiento puede ir de los -20 a los 90°C (Bello-Gutiérrez, 2000).

Se basa en dos principios fundamentales:

- a) Donde se indica que la presión se transmite de manera uniforme e instantánea a través de todo el material biológico tratado por la alta presión, tratándose así de un proceso isostático. Este proceso evita la presencia de zonas sobre tratadas, así como la deformación del producto y este hace que sea más homogéneo (Daoudi, 2004).
- b) El segundo de estos se basa en el principio de Le Chatelier, el cual postula que todo fenómeno que va acompañado de una disminución de volumen se ve favorecido por la presión y viceversa (Gervilla-Fernández, 2001). Según este principio la aplicación de la alta presión desplaza el equilibrio de un proceso hacia el estado que ocupa menos volumen, en principio en una macromolécula proteica, la formación de enlaces hidrógeno, la ruptura de interacciones



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

hidrófobas y también de pares iones, son acompañados de una restricción de volumen favorecida por la presión (Daoudi, 2004).

2.3. Condiciones de aplicación de las altas presiones.

En la tabla 5 se muestran las condiciones de aplicación de las altas presiones en diversos alimentos procesados y en fresco, sus condiciones y los efectos que provoca la aplicación de esta tecnología.

Tabla 5. Condiciones de aplicación de altas presiones

Alimento	Condiciones	Viabilidad	Referencias
Jugo de brócoli y manzana	500 MPA y 10 minutos, pH más abajo que 4.2	A estas condiciones se demostró la capacidad de las altas presiones para disminuir cinco unidades logarítmicas de microorganismos representativos como mohos, levaduras formas de <i>E. coli</i> . Y puede llegar a estar en almacenamiento hasta 70 días.	Houska <i>et al.</i> , (2005)
Gazpacho	500 Mpa 15 min, 50°C	Inactivación de la pectinmetilesterasa. Durante el almacenaje del gazpacho no recuperó su actividad.	Daoudi (2004)
	500 MPa 30 min, 50°C	Polifenoloxidasa inactiva un 75%, mostró pérdidas de actividad a lo largo del almacenamiento (30días)	
	500 MPa, 30 min, 50°C	Peroxidasa, inactivación del 73%	
Jugo de uva	500 MPa, 2°C, 10 min	Se conservan los parámetros de control, sin presentar pardeamiento, no hubo cambios organolépticos, sin afectar el dulzor y la acidez. La actividad de la pectinmetilesterasa fue reducida a más del 50%.	
Jugo de naranja concentrado	900 MPA durante 2 min en 45°C, pH más bajo (3.2).	Inactivación del 90% de pectinmetilesterasa	Basak y Ramaswamy (2000)
Brotos de soja verde	400 MPa/40°C 13 días de almacenamiento a 4°C	Alcanzó una reducción de 5.8 y 7.8 unidades logarítmicas de microorganismos aerobios mesófilos y coliformes fecales de 10^8 ufc/g Iniciales, no observándose recuperación durante la conservación refrigerada.	Muñoz <i>et al.</i> (2006)



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

Alimento	Condiciones	Viabilidad	Referencias
Puré de fresa y jugo de naranja	300 Mpa a 60°C, 1 min	Se mostró la inactivación de la enzima peroxidasa.	Cano y Hernández (1997)
Jugo de naranja	700 Mpa, 1min, 90 días de almacenamiento	Se consiguió la estabilidad microbiológica y enzimática del jugo de naranja durante 90 días en condiciones de refrigeración.	Goonder <i>et al.</i> , (1998)
Jugos de naranja carbonatados	200-600 MPa 30-300 s, 15 a 50°C	La inactivación de la pectinmetilesterasa Utilizando AP en combinación con CO ₂ en jugo de naranja permiten una mayor velocidad de inactivación de esta enzima, pero no incrementan su grado de inactivación final.	Truong <i>et al.</i> , (2002)
Jugo de naranja	800 MPa, 25°C, 1 min.	La actividad de la PME cedió al nivel más bajo de actividad residual de 3.9 % y en cuanto a la pérdida de ácido ascórbico fue menos del 20 % en almacenamiento después de 3 meses a 4 ° C ó 2 meses a 15 ° C.	Nienaber y Shellhammer (2001)
Melocotones y peras	4100 atm, 30 minutos	El tratamiento por presión de estos productos hace que se mantengan comercialmente estériles por 5 años.	Hoover <i>et al.</i> , (1989)
Tomate cherry	200, 400, 600Mpa pH 4-9 20min	A estas condiciones se mostró que la PME fue muy barotolerante a todos los valores de pH estudiados, perdiendo el 10, 20 y 40% de su actividad después de los tratamientos con las diferentes presiones, y esto indica que no hubo efecto del pH, en la interacción presión. pH y que la inactivación se debe únicamente a la presión aplicada.	Tangwongchai <i>et al.</i> , (2000)
Puré de tomate	150MPa 30°C 15min	La actividad de la pectinmetilesterasa se redujo en un 35% de su actividad inicial.	Hernández y Cano,(1998)
	350MPa 20°C	La actividad de la peroxidasa se redujo en un 25% de su actividad inicial.	
Papas	900 MPa, 30 min, 45°C, pH 7.	Solo el tratamiento a estas condiciones se inactiva la polifenoloxidasas por completo	Eshtiaghi <i>et al.</i> , (1994)



2.4. Efecto de las altas presiones sobre los constituyentes de los alimentos.

2.4.1. Agua

Las propiedades fisicoquímicas del agua se ven modificadas por la presión, gran parte de los alimentos que consumimos, están compuestos en su mayoría por agua, por los cambios que se tienen lugar en el agua bajo las altas presiones serán extrapolables a los alimentos ricos en esta.

La presión modifica muchas propiedades del agua, el volumen del agua disminuye en un 4% a 100 MPa y un 15% a 600 MPa en una temperatura de 22°C. Los alimentos con alta humedad y poco gas reaccionan a una compresión similar a la del agua, esta disminución de agua implica un aumento en la densidad y, como consecuencia los coeficientes de disolución de los solutos disminuyen (Barbosa- Canovas, 1998).

El punto de fusión del agua disminuye con el aumento de la presión: es de -5°C a 70 MPa y de -20°C a 200 MPa, a presiones superiores de 1000 MPa y a temperatura ambiente se produce formación de hielo¹³ (Barbosa- Canovas, 1998).

El pH del agua también disminuye bajo presión pasando de 7 a 6.27, cuando la presión aumenta de 0.1 MPa a 1000 Mpa (Daoudi, 2004).

Según el diagrama de fases del agua (Figura 13) esta permanece líquida a temperaturas bajo cero (-22°C, 210 MPa). Esto se explica ya que la presión impide el aumento de volumen que requiere la formación de cristales de hielo de tipo I, aunque hay tipos de cristales del tipo II y IX.

La formación de estos últimos debido a sus densidades mayores que las del tipo I y estructura molecular, se ve favorecida con la presión, además los cristales del tipo VI y VII, se forman a temperatura ambiente. Por lo tanto, este efecto podría favorecer para someter alimentos a temperatura subcero desde 0 a -20°C sin la formación de cristales de hielo (Gervilla- Fernández, 2001).

¹³ La presión tiene un efecto importante sobre las fases de transición del agua (cristalización-fusión), que puede mantenerse en estado líquido a -22°C hasta una presión de 210 MPa. (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

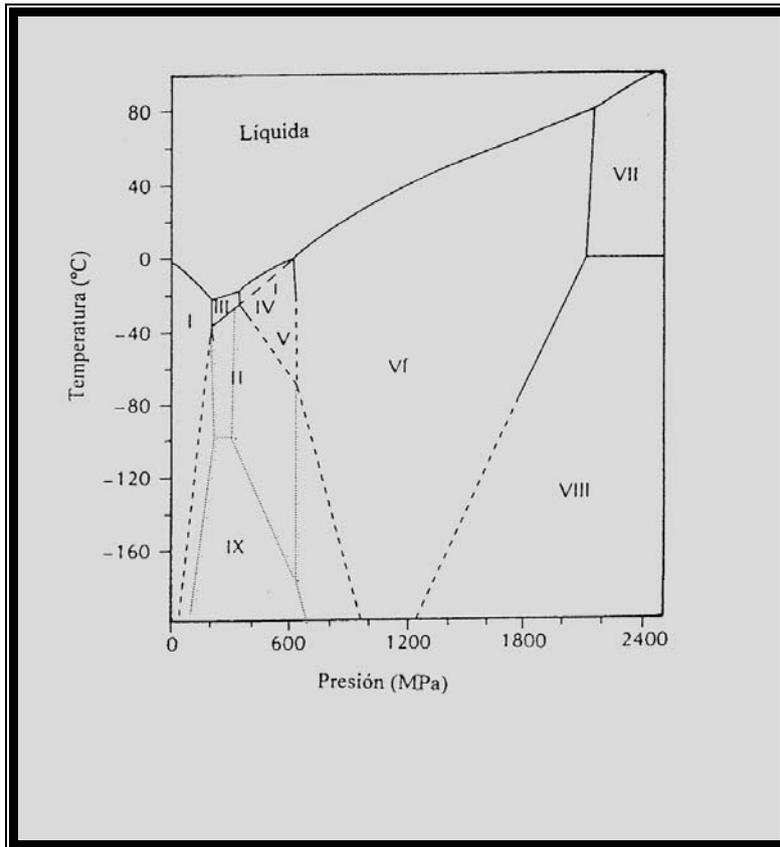


Figura 13. Transiciones de fase del agua bajo presión, diferentes estados del hielo

Fuente: Gervilla - Fernández (2001).

En general los cristales de hielo que se forman bajo presión, son de tamaño inferior a los formados convencionalmente por la congelación. En estas condiciones se produce menos pérdida de agua, una estructura más homogénea y un producto con mejor textura (Gervilla - Fernández (2001).

Estas observaciones tienen lugar a unas consecuencias prácticas sobretodo en el campo de la tecnología de los alimentos congelados y el almacenaje de alimentos a temperaturas de congelación sin llegar a congelarlos.

2.4.2. Carbohidratos

Debido a las pocas investigaciones sobre los efectos de las altas presiones sobre los carbohidratos, los autores coinciden en afirmar que los azúcares simples no se ven afectados por este tratamiento. Ya que las reacciones de condensación de Maillard son inhibidas por la aplicación de las altas presiones entre 50 y 200 MPa. En consecuencia el desarrollo del sabor y del color no se produce (Daoudi, 2004).

La alta presión afecta la transición sol-gel de los polisacáridos, formándose geles diferentes a los obtenidos por la aplicación de calor. En cuanto a los granos de almidón estos gelatinizan bajo presión a temperaturas más bajas de las habituales. (Barbosa-Canovas, 1998).



2.4.3. Vitaminas

Existen pocos estudios que demuestren los efectos de las altas presiones sobre cada una de las vitaminas en cada alimento en particular, pero aun así parece que al contrario de lo que pasa en los tratamientos térmicos las vitaminas son más resistentes a la presión. Este fenómeno es una característica que más interés puede generar en los consumidores y por tanto de gran expectativa para las industrias (Gervilla-Fernández, 2001).

Sobre el efecto de vitaminas hidrosolubles B1, B2 y C diluidas a pH de 6.7, mostraron que los tratamientos de 200, 400 y 600 MPa durante 30 minutos a temperatura de 20°C, no tuvieron ningún defecto significativo sobre la retención de las vitaminas B1 y B2, pero en la vitamina C fue afectada y mostró 87.7% y 88.6% de retención después del tratamiento de 200 y 600 MPa. En otro estudio sobre el tratamiento de las altas presiones en vitamina C de zumos de piña y pomelo, se observó una ligera degradación de esta vitamina después de un tratamiento a 600 MPa a 40 minutos la cual fue del orden de 15% y 26%, respectivamente (Daoudi, 2004).

Según diversos autores, las altas presiones hidrostáticas es el proceso tecnológico que menos afecta a las vitaminas hidrosolubles, lo que contribuye a conservar la calidad nutricional del producto.

2.4.4. Enzimas

Las enzimas son catalizadores complejos constituidos por proteínas globulares que aceleran la velocidad de las reacciones químicas.

La alta presión induce cambios en las reacciones que catalizan las enzimas, como cambios estructurales. La función enzimática puede verse afectada de diversas maneras: la inactivación puede ser parcial o total, reversible o irreversible dependiendo del tipo de enzima, del nivel de presión, del tiempo, de la temperatura, pH, del medio (Daoudi, 2004).

La actividad enzimática puede verse incrementada o inhibida por la presión dependiendo de dicha reacción conlleva un aumento o disminución del volumen (Gervilla– Fernández, 2001).

Con respecto a las enzimas relacionadas con la calidad de los productos frutícolas y hortícola, para los que se cree que el tratamiento de alta presión ofrece un gran potencial en el área de conservación y procesado, los esfuerzos de la investigación se



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

han enfocado principalmente en la inactivación enzimática, mientras que en la liberación desde la membrana y las reacciones que catalizan en mucho menor grado.

Algunas enzimas clave en el procesado de frutas y hortalizas incluyen la polifenoloxidasas (PPO), que es responsable del pardeamiento enzimático y del deterioro concomitante de la calidad, la lipooxigenasa (LOX) que incluye cambios en el sabor, color y valor nutritivo, la pectinmetilesterasa (PME) que es responsable de la desestabilización de la turbidez y de los cambios de consistencia y la peroxidasa (POD) que aumenta los sabores desagradables (Richardson, 2001).

La pectinesterasa es una enzima responsable de la pérdida de calidad en frutos; provoca la degradación de la pectina y que la textura del producto cambie, provocando ablandamiento de los tejidos.

Debido a su importancia en la industria alimentaria, la cinética de inactivación térmica de estas enzimas relacionadas con la calidad del alimento ha sido estudiada ampliamente en el pasado y generalmente está bien documentado.

La investigación bibliográfica sobre altas presiones llevada a cabo da a conocer que la PPO puede manifestar dependiendo de su fuente, tanto que se activa, es decir incrementa la actividad catalítica, como que se inactiva. La comparación de los datos de la bibliografía permite concluir que las presiones necesarias para inducir una inactivación sustancial de la PPO varía entre 200 y 1000 MPa, dependiendo del origen de la enzima y de las condiciones micro-medioambientales tales como la composición del medio, pH, presencia de sales, azúcares etc. (Richardson, 2001).

En el caso de PPO de papas se consiguió la inactivación mediante un tratamiento de 900 MPa durante 30min a 45°C, a un pH 7. Se consiguió la inactivación completa de esta enzima (Eshtiaghi *et al.*, 1994).

La estabilidad a la presión para PME de naranja, guayaba y tomate, varía enormemente desde aproximadamente 150 a 1200 MPa, dependiendo del origen y del medio en el que se lleva a cabo la inactivación, es decir la inactivación tiene lugar más rápidamente en medio ácido y está protegida por un aumento en la cantidad de sólidos solubles (Richardson, 2001).

Para LOX, en cuanto a la inactivación por presión se han llevado estudios detallados para LOX de tomate, soja, judías verdes y guisantes. En la bibliografía se ha informado de presiones para la inactivación en un intervalo estrecho de 400 y 600 MPa. Para LOX de soja, judías verdes y tomate se ha logrado la caracterización



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

completa de la cinética de inactivación en una gama de presión-temperatura desde m0.1 a 650 MPa y desde -10 a 80°C (Barbosa- Canovas *et al.*, 1998).

La POD en algunos casos es extremadamente resistente a la presión. En judías verdes, un tratamiento de presión a 900 MPa indujo simplemente una ligera inactivación a temperatura ambiente mientras que una combinación con una temperatura elevada incremento el efecto inactivante a 600 MPa (Richardson, 2001).

En puré de fresa y jugo de naranja, a 300 Mpa, a una temperatura de 60°C por 1 minuto, se logró la inactivación de la enzima peroxidasa (Cano y Hernández, 1997).

Las deshidrogenadas sujetas a una presión de 1.000 atm durante 15 minutos a 27°C, se inactivan completamente. La inactivación de enzimas esta influenciada por el pH, concentración de sustrato, estructura subunitaria de la enzima y la temperatura de presurización (Richardson, 2001).

La alta presión a 1.000 y 2.000 atm causa fuertemente la inactivación de pectinesterasa¹⁴.

La pectinestera de zumos de mandarina se inactiva en las presiones de 3.000 atm y superiores. La inactivación es irreversible y la pectinesterasa no se reactiva durante el almacenamiento a 0°C (Figura 14).

Los sólidos solubles como azúcares, proteínas y lípidos ejercen una acción de protección frente a la inactivación de pectinesterasa por alta presión (Barbosa-Canovas *et al.*,

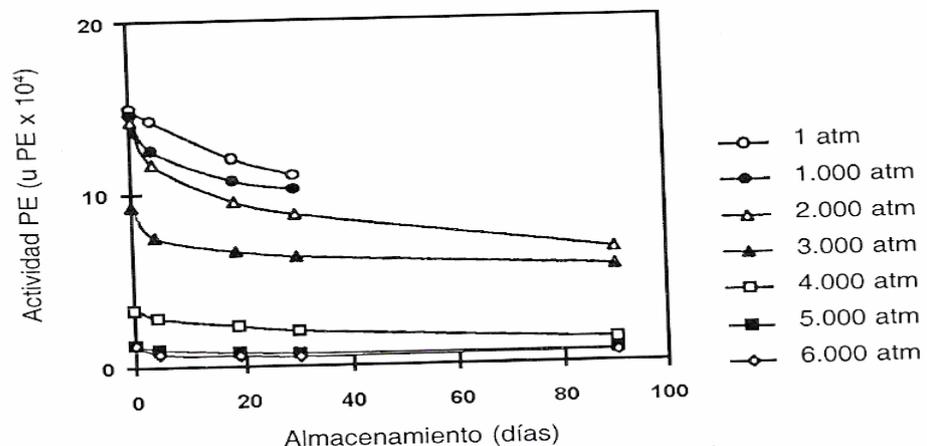


Figura 14. Descenso de la actividad de pectinesterasa (PE) de zumo de mandarina presurado durante el almacenamiento a 0°C.

Fuente: Barbosa- Canovas *et al.* (1998).

¹⁴ En jugos de naranja carbonatados a 200- 600 MPa por 30 a 300 s de 15 a 50°C, la inactivación de la pectinmetilesterasa en combinación con CO₂ permiten una mayor velocidad de inactivación de esta enzima pero no incrementa su grado de inactivación final (Truong *et al.*, 2002).



La inactivación de enzimas tiene lugar como resultado de la alteración por la presión de las estructuras intramoleculares o cambios conformacionales en los puntos activos. La inactivación de algunas enzimas con altas presiones a 1.000 a 3.000 atm es irreversible (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

2.5. Efecto de las altas presiones sobre microorganismos.

La alta presión induce cambios en los sistemas biológico-morfológicos, bioquímicos y genéticos- así como cambios en la membrana y pared celular de los microorganismos. Las bacterias gram negativas se inactivan a una presión menor que las gram positivas (Tellez, 2001).

La mayoría de las bacterias son capaces de crecer a presiones de hasta 200 – 300 atm¹⁵. A los microorganismos que son capaces de crecer a presiones tan altas como 400-500 atm se les denomina barófilos. Los organismos barófilos difícilmente crecen a presiones más altas de 300-400 atm. Y los microorganismos que pueden crecer en el intervalo de presiones 1-500 atm se les denomina euribáticos (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

La resistencia de los microorganismos a la presión varía considerablemente y depende de muchos factores, entre ellos: tipo de microorganismo (familia, especie y cepa) y fase de crecimiento en la que se encuentre, temperatura, pH, presión, tiempo del tratamiento y composición del medio (Daoudi, 2004). Las bacterias más sensibles a las altas presiones son las que tienen una forma bacilar y las más resistentes son las que tienen una forma de cocos. Por otro lado, las levaduras y hongos son microorganismos muy sensibles a las altas presiones inactivándose a 200-300 MPa, mientras que las esporas son muy resistentes y pueden sobrevivir a presiones muy elevadas (tabla 6) (Daoudi, 2004).

En general para inactivar las células vegetativas es necesario aplicar presiones superiores a 200 MPa. Para la inactivación de la mayoría de las bacterias gram positivas se necesitan tratamientos de 500- 600 MPa a 25°C durante 10 minutos,

¹⁵ Las altas presiones moderadas disminuyen la velocidad de crecimiento y reproducción, las presiones muy elevadas provocan la inactivación de microorganismos. El umbral de presión para el retraso en la reproducción e inactivación depende de cada microorganismo y especie (Tellez, 2001).



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

mientras que la gram negativas se inactivan con tratamientos de 300-400 Mpa a 20°C. (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

El crecimiento y reproducción de *E. coli* se retarda cuando esta bacteria esta bajo presiones en el intervalo de 100-500 atm. La reproducción, como el aumento en el número de células viables, se retarda más que el crecimiento. Cuando se incuba *E. coli* a 200 atm, su velocidad de crecimiento es mayor cuando aumenta la temperatura. A presiones superiores a 400 atm la fase de inducción se ve prolongada a 525 atm no existe crecimiento. Sin embargo, las células se inactivan a presiones más bajas si aumenta la temperatura (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

Tabla 6. Inactivaciones por presión de ciertas bacterias

Microorganismo	Presión aplicada (atm)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Viabilidad
<i>Bacillus anthracis</i>	970	-	10	Mueren células vegetativas y algunas esporas.
<i>B. anthracis</i>	2.900	-	10	Sobreviven algunas esporas, se atenúa su virulencia.
<i>E. coli</i>	2.900	25-30	10	La mayoría de las células mueren pero no se esterilizan .
<i>E. coli</i>	1.000	30	0	9X10 ⁸ células en fase estacionaria/ml.
<i>E. coli</i>	1.000	40	720	Esterilización
<i>E. coli</i>	1.000	20	720	Esterilización
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1.935	-	720	Se esterilizan células
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	2.040-3060	20-25	60	Se esterilizan células
<i>Salmonella enterica</i> <i>Ttyphimurium</i>	4.080-5.440	-	5	Se esterilizan células
<i>Streptococcus spp.</i>	1.935	-	10	Esterilizado
<i>Vibrio cholerae</i>	1.935	-	720	Se esterilizan células

Fuente: Barbosa - Canovas *et al.* (1998)



Inactivación de esporas

La formación de las denominadas esporas es una estrategia de supervivencia única de algunos géneros de bacterias en condiciones extremas de estrés, entre las que las más importantes para la conservación de alimentos son *Bacillus* y *Clostridium*.

La resistencia extrema a los tratamientos físicos y químicos conseguida con la esporulación se cree que esta relacionada con factores tales como la deshidratación del núcleo, la impermeabilidad de las capas o membranas de recubrimiento y a la presencia de pequeñas proteínas solubles en ácido (Tellez, 2001).

Las esporas bacterianas, a diferencia de las células vegetativas, son mucho más resistentes a la presión. La inactivación de esporas se logra con tratamientos cíclicos de presión, y los de presión a temperaturas altas pero inferiores a las utilizadas en la esterilización convencional. Sin embargo, la eficacia de estas alternativas depende de la temperatura inicial, el calentamiento adiabático, el pH, el nivel de presión y el tiempo de procesado. La determinación de las esporas más baroresistentes asociadas con envenenamiento por alimentos, y la investigación de los mecanismos responsables de la diferencia entre cepas resistentes a la presión (RP) y sensibles a la presión (SP), son de importancia crítica para el avance de la tecnología AP. También es muy importante determinar que tipo de aditivos incrementan la inactivación de las esporas por medio de la presión (Velásquez *et al.*, 2005).

Aunque los recuentos de esporas se pueden rebajar mediante la exposición a alta presión, se requiere de la combinación con otros métodos de conservación, tales como una elevación suave de la temperatura, para una reducción sustancial de los recuentos de esporas viables (Richardson, 2001). Ya que se requiere de la combinación de la presión con temperatura de 60°C y más altas para una amplia inactivación de las esporas: cuanto más baja sea la presión aplicada, más alta es la temperatura requerida para inducir una extensión programada de la inactivación. A temperaturas por debajo de 60°C en combinación con una presión de aproximadamente 400 MPa, para esporas de *clostridium sporogenes* y *Bacillus coagulans* se obtuvieron reducciones máximas de tres ciclos logarítmicos (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

La inactivación de esporas por presión está fuertemente influenciada por la temperatura y menos fuertemente por el pH, actividad de agua y fuerza iónica (Figura 15). La inactivación de esporas es mayor cerca de la neutralidad y más pequeña a niveles extremos de pH. La presión inicia la germinación de esporas de forma óptima cerca de pH neutro (Barbosa-Canovas, *et al.*, 1998).

Los productos muy ácidos o muy ricos en sacarosa, no permiten la germinación de las esporas y por lo tanto son productos que pueden ser tratados a presiones no muy elevadas (3.000 a 4.000 bar a la temperatura ambiente) durante tiempos cortos de diez minutos. Los jugos de frutas y las confituras por lo tanto fueron los primeros tipos de alimentos que han sido tratados mediante altas presiones para mejorar su vida útil comercial, debido a su composición ácida y ricos en azúcares. Incluso en el caso de confituras de frutas como fresas, kiwis, manzanas etc., se consigue una esterilización total del producto (Bello -Gutiérrez, 2000).

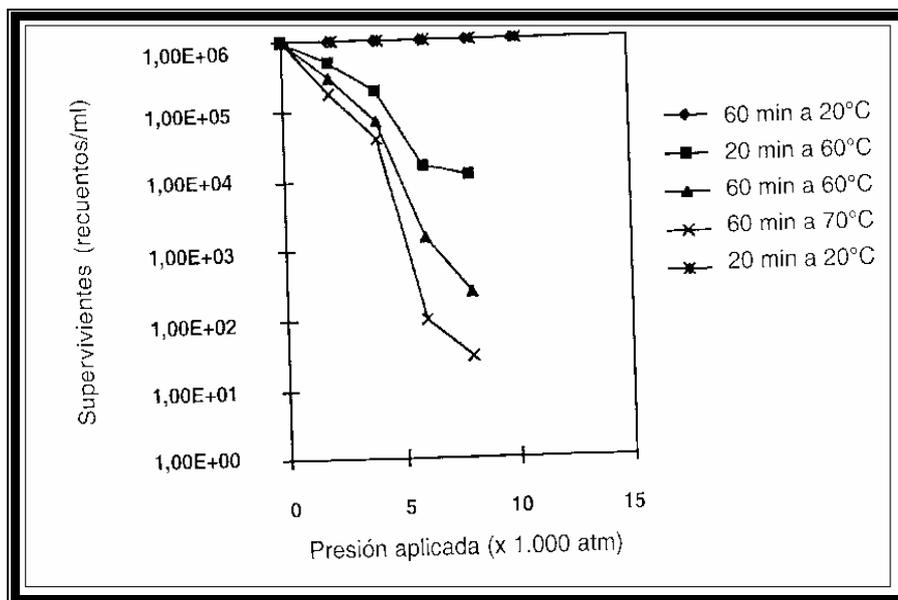


Figura 15. Inactivación de esporas de *B. stearothermophilus* con alta presión combinada con y sin calor

Fuente: Barbosa-Canovas *et al.* (1998).

2.6. Efecto de las altas presiones sobre las propiedades organolépticas.

Características importantes de los alimentos de alta calidad son la textura, el color, el sabor y el valor nutritivo aunque se admite que el tratamiento de alta presión solamente afecta mínimamente la calidad global del alimento, una ventaja atribuida al hecho de que la alta presión mantiene intactos los enlaces covalentes, hasta ahora



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

los efectos sobre las características individuales de la calidad no han sido estudiados de un modo extenso ¹⁶ (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

Un estudio cinético detallado relativo al efecto combinado de la presión y la temperatura sobre el color de zumo de brócoli reveló que el contenido en clorofila y el color verde eran estables hasta 4 horas de tratamiento a 800 MPa y 40°C. Solamente cuando la alta presión se combina con una temperatura mayor a 50°C, se observan algunos cambios de color (Richardson, 2001).

En los jugos de frutas, los potenciales de la alta presión surgen principalmente del hecho de que durante el tratamiento de presión se puede mantener el sabor fresco.

En cuanto a la textura, las hortalizas tratadas con presión no se ablandan durante la subsiguiente cocción, lo que se atribuye a la acción de PME que solamente ha sido inactivada parcialmente por la presión. La alteración simultánea de las estructuras de las células permite la interacción de la enzima con el sustrato péptico (Richardson, 2001).

Para lo que son frutos procesados, en jugo de pomelo elaborado con tecnología de alta presión no poseen el gusto amargo del limonero presente en el procesado térmico convencional. Por otra parte melocotones y peras procesadas a 4100 atm durante 30 minutos, permanecen comercialmente estériles durante 5 años (Hoover *et al.*, 1989). El tratamiento por presión de jugos cítricos no pasteurizados poseen un aroma parecido a fresco sin pérdidas de vitamina C y con una vida comercial de aproximadamente 17 meses (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

Las confituras obtenidas por el proceso de alta presión retienen el gusto y color de la fruta fresca, al contrario de las confituras convencionales producidas por cocinado. Las altas presiones permiten la permeación de la solución de azúcar en el interior de las frutas, así como la conservación comercial de la confitura (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

2.7. Beneficios de la aplicación de altas presiones.

El atractivo principal de esta tecnología es que, al poderse realizar el tratamiento a temperatura ambiente, se conservan los parámetros de calidad del producto original.

¹⁶ Para muchos productos frutícolas y hortícolas tales como mermelada fresas, zumo de tomate, puré de guayaba, puré de aguacate y puré de plátano, se observó que el tratamiento de alta presión conserva ampliamente el color fresco. La luminosidad y el color rojo/verde de productos tratados con presión se encontraron que eran superiores comparados con sus equivalentes tratados térmicamente (Richardson, 2001).



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

El procesamiento por alta presión AP a temperaturas de refrigeración, medio ambiente o con calentamiento moderado permite la inactivación de microorganismos patógenos y deterioradores de alimentos con cambios mínimos en su textura, color y sabor, existe un mantenimiento de vitaminas, aromas y sabor; en comparación con el efecto que tienen las tecnologías convencionales¹⁷ (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

Ya que el proceso térmico es el método tradicionalmente utilizado para lograr la estabilidad microbiológica de los alimentos. Aunque esta tecnología esta disponible en diversas formas dentro de la industria de alimentos, en muchos casos su aplicación ocasiona pérdida importante en la calidad de los alimentos.

A diferencia de los procesos térmicos y otras tecnologías de preservación, los efectos del AP son uniformes e instantáneos a través del alimento y por lo tanto independientes de la geometría y del tamaño del producto y del equipo de presión-temperatura y tiempo requeridas para la conservación de los alimentos producen en ellos solo ligeros cambios químicos, y por lo tanto, sus propiedades sensoriales y nutricionales son afectadas en forma mínima (Torres *et al.*, 2004).

Eso se debe a que las reacciones que ocurren comúnmente durante el tratamiento térmico no se presentan durante el tratamiento por alta presión a menos que exista una vía de reacción alternativa que implique la reducción del volumen inducida por la presión.

El procesamiento por alta presión AP es la única tecnología alternativa de procesado que ha llegado al consumidor con una variedad de nuevos productos y en este trabajo se presentan numerosas oportunidades que se han comercializado y muchas otras que representan nuevas oportunidades para la industria de alimentos.

En este sentido, este futuro es prometedor pues la nueva generación de equipos permitirá procesos de presión a temperaturas elevadas, pero inferiores a las de esterilización convencional, con lo que se espera lograr la inactivación de esporas bacterianas. Todas estas condiciones permitirán desarrollar alimentos estables a temperatura ambiente sin necesidad de la refrigeración para su distribución comercial (Tellez, 2001).

¹⁷ Utilizando AP se pueden obtener hasta cinco reducciones decimales en patógenos importantes para la conservación de alimentos incluyendo *Salmonella typhimurium*, *S. enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* y *Vibrio parahaemolyticus* (Torres *et al.*, 2004).



2.8. Equipos de tratamiento por altas presiones.

Los japoneses son los primeros fabricantes de cámaras de alta presión. Las mayores compañías japonesas que fabrican cámaras de alta presión son: Mitsubishi Heavy Industries Ltd., Kobe Steel Ltd. y Nipón Steel Ltd (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

La cámara de presión se construye con doble cilindro. La superficie interna de la cámara de presión es precargada con un esfuerzo de compresión alta. Las partes de la cámara que están en contacto con el medio de presurización se construyen de acero inoxidable. La presión máxima se alcanza a los 90 segundos, se utiliza un autocierre con una alta carga al cierre de la cubierta de la cámara. Para generar la presión requerida se usa un pistón accionado por un cilindro hidráulico (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

El tratamiento de alta presión se puede realizar en dos tipos de equipos en función del producto a tratar; normalmente se ocupa el equipo discontinuo para productos líquidos o sólidos ya envasados y el tipo semicontinuo para líquidos no envasados.

Los equipos de alta presión discontinuos (Figura 16) consisten en un cilindro de acero inoxidable con una pared gruesa y resistente que contiene en su interior el líquido de compresión (agua o una mezcla de agua aceite). Este líquido es impulsado desde un depósito de agua hasta el recipiente de tratamiento (Daoudi, 2004).

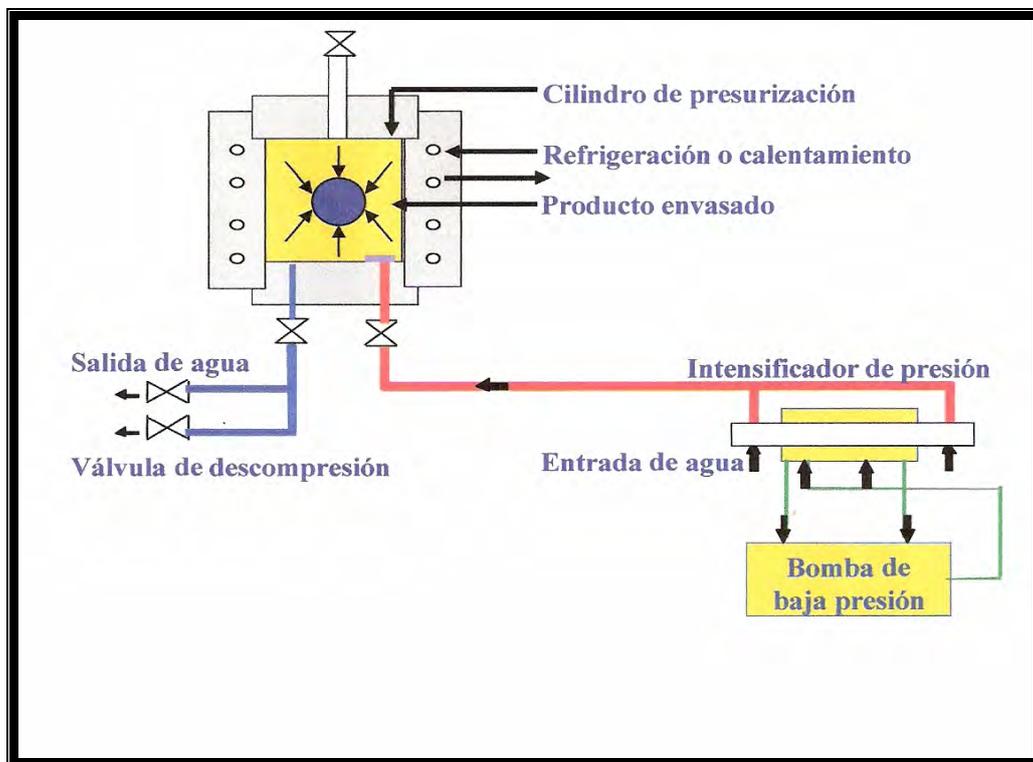


Figura 16. Sistema discontinuo para el tratamiento de alta presión de alimentos envasados.

Fuente: Daoudi (2004).



La productividad de un sistema discontinuo aumenta si se reduce el ciclo presurización-despresurización. El tiempo de presurización se reduce aumentando la velocidad de descarga de la bomba. Cuando se alcanza la presión de operación requerida, la velocidad de bombeo se reduce. Al final del tiempo de tratamiento especificado, la cámara de presión se despresuriza en dos etapas para evitar que se libere súbitamente el agua presurizada (Daoudi, 2004).

En los sistemas discontinuos el alimento es presurizado por cargas, una después de la otra. El procesado discontinuo reduce el riesgo de que grandes cantidades de alimento se lleguen a contaminar por los lubricantes o por partículas que llegan de la máquina.

Se pueden procesar diferentes tipos de alimentos sin el peligro de recontaminación o de la necesidad de limpiar el equipo de cada operación (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

La cámara de presión con una capacidad de procesado de 600 L/h de alimento líquido a una presión máxima de operación de 4.200 atm fue utilizada en Japón para producir comercialmente jugo de manzana. El zumo posee un aroma a fresco sin sabor amargo (Daoudi, 2004).

El producto ya envasado se introduce dentro del cilindro y una vez se realiza la carga, un par de bombas inyectan agua dentro del cilindro hasta alcanzar la presión adecuada, manteniendo la presión durante el tiempo necesario para el tratamiento y pasar finalmente a la descompresión.

Los equipos semicontinuos son utilizados con productos alimentarios que pueden ser bombeados (Figura 17).



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

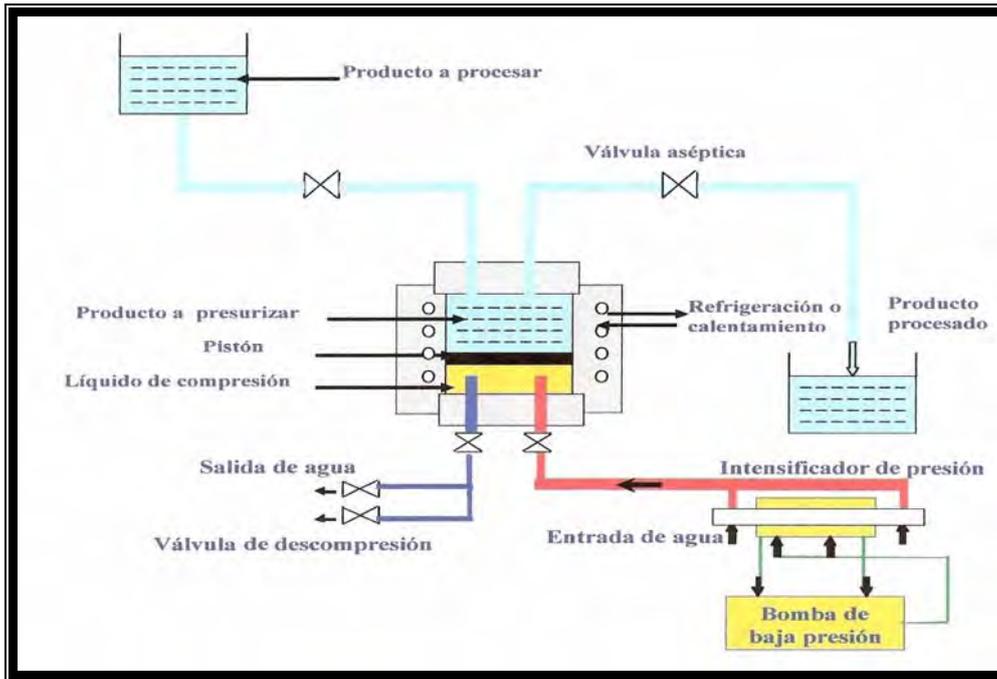


Figura 17. Sistema semicontinuo para el tratamiento de productos líquidos a granel
Fuente: Daoudi (2004).

La compresión directa es generada mediante la presurización de un medio sobre la parte final de un pistón. En este caso el alimento está en contacto directo con el acero de la cámara, por lo tanto este debe ser de un material que no experimente corrosión durante su utilización y que sea adecuado para estar en contacto con los alimentos. Una bomba presuriza el agua que se encuentra separada del alimento por el pistón. El alimento una vez presurado se evacua de la cámara utilizando una válvula aséptica de alta presión.

Estos equipos tienen un mejor rendimiento volumétrico y un mejor aprovechamiento de la energía utilizada, (Figura 18) con el inconveniente de un coste inicial mayor. El coste del volumen de alimento tratado disminuye en gran medida al utilizar máquinas con cilindros de elevado volumen (Daoudi, 2004).



Figura 18. Equipo a nivel piloto para tratamiento de altas presiones
Fuente: Centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) (2004).



La práctica de estos tratamientos se realiza en varias fases sucesivas (Bello - Gutiérrez, 2000):

- Acondicionamiento del alimento en un envase herméticamente cerrado y adecuado para que pueda ser introducido en la cámara de presión.
- Llenado del recinto de la cámara con el medio transmisor de la presión, que en muchas instalaciones se trata de agua mezclada con pequeñas cantidades de aceite soluble, con fines lubricantes y anticorrosivos.
- Compresión del líquido a la presión estimada, con una pequeña reducción del volumen de acuerdo con la presión administrada. En ella se mantiene el periodo de tiempo que sea necesario, variable en función del tiempo de alimento y temperatura de proceso
- Someter la cámara a la correspondiente descompresión y sacar el producto.

2.9. Aplicaciones de las altas presiones en alimentos.

El interés principal de poder aplicar las altas presiones a la conservación de los alimentos, se centra en el interés de poder introducir cambios positivos en estos, como tener una mejora en su conservación, textura, sin afectar su olor, sabor o su valor nutricional.

El procesado con alta presión se puede utilizar para aumentar la vida comercial de alimentos, para la descongelación de alimentos congelados y para el almacenamiento de alimentos sin necesidad de congelación. La vida comercial de los alimentos se aumenta por la inactivación de los microorganismos, enzimas indeseables, esporas, utilizando las presiones apropiadas (Raventós -Santamaría, 2005).

Entre los nuevos métodos de conservación de los alimentos, la AP es probablemente la tecnología más desarrollada comercialmente. El atractivo principal de esta tecnología es que, al poderse realizar el tratamiento a temperatura ambiente, se conservan los parámetros de calidad del producto original (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

Cuando un alimento es sometido a AP se observa principalmente los efectos siguientes: modificación del volumen del sistema, modificación de la estructura del almidón y las proteínas, modificación de la actividad enzimática e inactivación de los microorganismos.

En la tabla 7 se muestran las condiciones generales de presión en que se producen esos efectos, aunque, en la práctica, son muy variables según el alimento tratado y cada caso requiere un estudio completo.



Tabla 7. Condiciones de presión

PRESIÓN	EFECTOS
200 MPa	Influencia sobre la cinética enzimática, modificación de las propiedades físicas de las proteínas. Alteración de la membrana de los microorganismos.
300 Mpa	Inactivación enzimática irreversible. Muerte de microorganismos.
400 MPa	Gelificación de los almidones. Desnaturalización de las proteínas.
500 MPa	Muerte de las esporas bacterianas. Inactivación de enzimas.

Fuente: Raventós –Santamaría (2005)

2.9.1. Aplicaciones en productos vegetales

De acuerdo a las amplias investigaciones sobre las altas presiones en alimentos, específicamente las aplicaciones a frutas y vegetales, se muestra que se puede estabilizar productos ácidos como zumos de frutas y productos vegetales, concentrados de frutas, mermeladas, confituras, a partir de 300 MPa a temperatura ambiente¹⁸. La estabilización se produce sin afectar a las características físico-químicas del producto ni su valor nutricional, especialmente las vitaminas A y C, aunque para conseguir la inactivación de las enzimas pectinolíticas y polifenoxidasas, enzimas muy resistentes a la presión, y por lo tanto resulta necesario un tratamiento térmico moderado que acompañe a la presión (Daoudi, 2004).

Una de las primeras aplicaciones del proceso de altas presiones apareció en Francia, al principio una compañía comenzó a producir zumo de naranja. Hoy en día el producto se comercializa bajo el nombre de Pampryl y la producción esta continuando (Barbosa-Canovas, 1998).

La siguiente aplicación de altas presiones emergió en Estados Unidos, donde una nueva compañía mexicana, Avomex en 1996 comenzó a comercializar varios productos de aguacate para uso a granel y al por menor. En pocos años el guacamole ha llegado a ser el mejor ejemplo de un producto conservado con la aplicación de altas

¹⁸ Los zumos de frutas y las confituras de una gran variedad de frutas, como fresas, kiwis, higos, manzanas, naranjas, han sido tratados con altas presiones. No sólo se puede conseguir una esterilización del producto, sino también modificar su textura, dando lugar a un nuevo tipo de producto, pero conservando el sabor y el color de la fruta fresca (Bello-Gutiérrez, 2000).



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

presiones que es superior a cualquier otro competidor tradicional por lo tanto la vida comercial refrigerada de este producto se amplió a 45 días sin pérdidas serias de la calidad (Richardson, 2001).

El éxito comercial de la pasta de aguacate producida por la empresa Avomex Inc. calidad en los Estados Unidos para la tecnología AP .estableció un estándar de calidad (Figura 19).

Actualmente se encuentran en el mercado jugos tratados por alta presión en varios países y recientemente fueron introducidos en México por el Grupo Jumex (Torres *et al.*, 2004).

Diversos trabajos han estudiado el efecto de la presión sobre la estabilidad de diferentes productos vegetales y frutas. Houska en un trabajo sobre jugo de brócoli y manzana procesados con alta presión, mostró que los análisis revelaron que a 500 MPa a 10 minutos, se demostró la capacidad de las altas presiones para disminuir cinco unidades logarítmicas de microorganismos y una estabilidad, ya que puede llegar a estar en almacenamiento hasta 70 (Houska *et al.*, 2005).

Ogawa 1990 estudio el efecto de la presión entre 100 y 600 MPa en zumo de mandarina que habían inoculado con diferentes especies de levaduras y mohos. Los resultados de estos trabajos demostraron que tratamientos de 350 MPa durante 30 minutos ó 400 MPa durante 5 minutos a temperatura ambiente, permitieron la reducción de la carga microbiana en 5 unidades logarítmicas con respecto a la carga inicial (Daoudi, 2004).

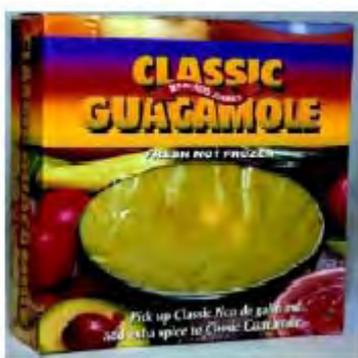


Figura 19. Alimentos tratados con altas presiones. Guacamole y salsas.
Fuente: Servicio de información Estadística Agroalimentaria y Pesquera de SAGARPA (2000).



2.10. Legislación.

En Europa, los alimentos tratados por esta tecnología estarían considerados desde el punto de vista legal como “*novel food*” (**Reglamento CE n° 258/97, de 27 de Enero de 1997, sobre nuevos alimentos y nuevos ingredientes alimentarios**)

Sin embargo, los preparados pasteurizados a base de frutas, son los únicos productos tratados por altas presiones que están regulados en Europa por una normativa específica (**Decisión de la Comisión de 23 de Mayo de 2001**).

En cuanto a la legislación con la cual esta regida la tecnología de altas presiones, en México y en muchos otros países no esta regulada ya que al ser una tecnología nueva, y por lo tanto pocos alimentos que se comercializan; tanto en nuestro país como en muchos otros, es difícil su aplicación.

En cambio en la Unión Europea es más común encontrar productos tratados con altas presiones, por lo tanto los alimentos que han sido sometidos a esta tecnología son considerados desde el punto de vista legal como “*novel food*” sobre nuevos alimentos y productos e ingredientes alimentarios donde nos habla de las características que deben cumplir los nuevos productos, específicamente sobre el etiquetado donde deben llevar mencionado el tipo de tratamiento al que fue sometido cierto alimento.

Ya que al ser una tecnología no convencional entra dentro del rango de nuevos ingredientes en aquellos países. Para así garantizar la seguridad de estas nuevas tecnologías sometiendo al alimento a una evaluación de seguridad antes de ser puesto en el mercado.

En particular no existe una norma que regule las altas presiones como tal y mucho menos en un producto en particular, sin embargo el grupo Danone, presenta una propuesta a las autoridades francesas, para que se le pueda permitir pasteurizar por medio de esta tecnología, bases de frutas, y poder comercializar sus productos a partir de base de frutas presurizadas. Siendo así aceptadas una presión, una temperatura y un tiempo en particular a utilizar, con la seguridad de que no se tiene ningún riesgo a la salud (Decisión de la Comisión de 23 de Mayo de 2001)

Siendo comercializadas dentro de la Unión Europea, siempre y cuando lleve la leyenda de pasteurizado por altas presiones. Y pueden ser aplicadas a una gran variedad de frutas.



2.10. Propuesta tecnológica para la conservación de guacamole por altas presiones.

2.10.1. Selección del producto de potencial económico

El aguacate es un fruto al igual que el mango de gran importancia para nuestro país, debido a la producción y exportaciones se realizan de este producto en fresco.

México destaca como el principal productor (Figura 20) con 1,022 mil toneladas, cantidad que significa 32% de la producción total. También es el principal exportador de esta fruta (SAGARPA, 2005).

Los seis principales países que cultivan aguacate son: México, Indonesia, Estados Unidos, Colombia, Brasil y República Dominicana. De estos países el que más ha crecido es Colombia con una tasa media anual del 6.7%. México creció a un promedio de 1.5 % anual en dicho periodo.

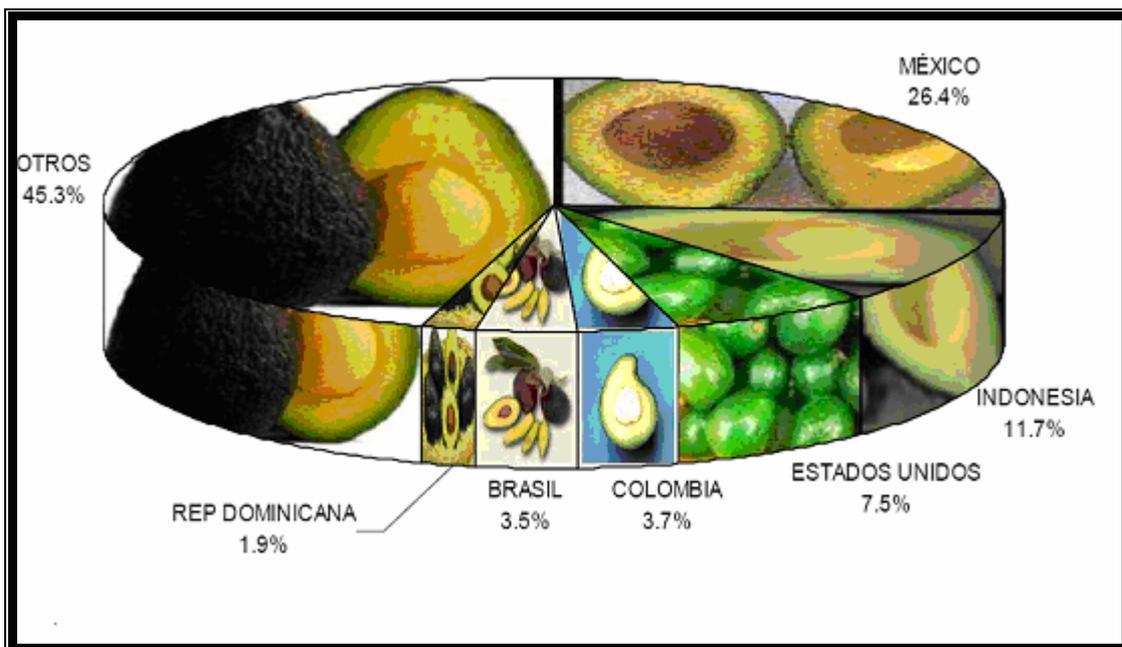


Figura 20 .Principales países productores de aguacate

Fuente: Secretaria de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2005).

México es el mayor productor de aguacate en el mundo, en los últimos años se está convirtiendo en el mayor exportador (Figura 21). En el periodo comprendido entre 1996- 2005, a nivel mundial se exportaron en promedio 425 mil toneladas de aguacate al año.



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

México aportó 24.7% de las exportaciones mundiales y tuvo un crecimiento promedio anual de 14.5%.

Estados Unidos es el principal importador de aguacate mexicano, 41.8% de las exportaciones fueron destinadas a ese mercado. En el periodo comprendido de 1996 a 2006 Japón tuvo una tasa de crecimiento media anual de 30.4%, siendo 2004 y 2006 los años que más se exportó a ese país (28.8 miles de toneladas). Las exportaciones de aguacate en total crecieron a una tasa media anual de 9% en el periodo mencionado (SAGARPA, 2005)

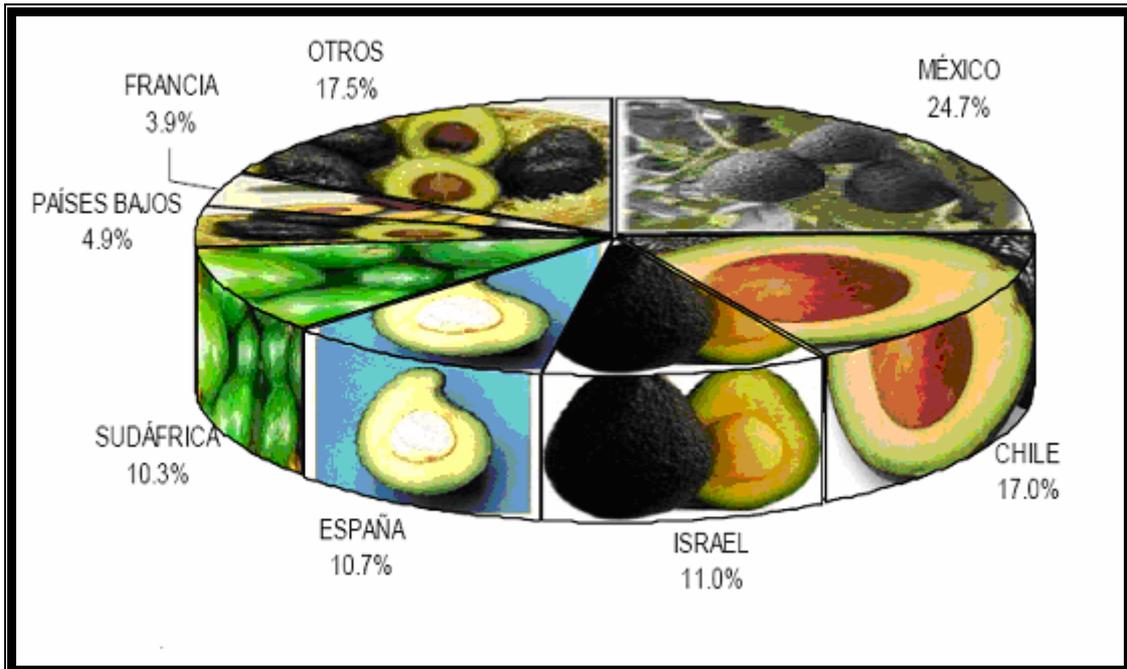


Figura 21. Principales países exportadores de aguacate

Fuente: Secretaria de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2005).

En la temporada 2005-2006 se enviaron al vecino país 130 mil toneladas de aguacate, 30 mil a Japón, 15 mil a la Unión Europea, 13 mil a Canadá y 12 mil a naciones de Centroamérica, con un valor total de 400 millones de dólares.

A partir de la reducción de las barreras fitosanitarias impuestas por los Estados Unidos a la entrada del aguacate de origen mexicano a partir del período comercial 1996/97, las ventas han registrado aumentos importantes desde entonces.

2.1. Implantación de la tecnología emergente más adecuada

Este fruto tiene mucho potencial en cuanto la exportación en fresco, sin embargo una opción para su aceptación en otros países es obteniendo un producto como guacamole, que de igual manera ha tenido una importante demanda en EU. La conservación por altas presiones, sería una buena opción por que es un producto innovador que por su tratamiento con altas presiones su venta es en fresco. Ya que



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

va a garantizar las características originales del fruto alargando su vida de almacenamiento y garantizando su inocuidad.

2.10.3. Proceso de elaboración de guacamole por método tradicional y con AP

En la figura 22 muestra el proceso de elaboración de guacamole por método tradicional, a continuación se describe cada una de las operaciones del proceso.

Recepción: una vez que se recolectan los aguacates con maquinaria especial de cosecha, evitando que se golpee y que tenga contacto con el suelo. Por medio de esta operación se hace posible eliminar materiales extraños que la fruta pudiera traer del campo.

Preenfriamiento: Consiste en disminuir la temperatura del producto rápidamente hasta la ambiente para evitar la proliferación de microorganismos, se hace empleando agua fría entre 2º y 10ºC.

Selección: Los aguacates son transportados con bandas, en esta sección se eliminan toda aquella fruta que presente manchas, picaduras, golpes mecánicos y/o malformaciones, siendo esta manual.

Limpieza: los aguacates para procesar necesitan estar perfectamente limpios para evitar el desarrollo de microorganismos.

Despulpado: los aguacates son partidos a la mitad, y en esta etapa se le retira la cáscara y el hueso, para quedar sola la pulpa. La despulpadora Esta máquina se utiliza para eliminar partículas como semillas, vástagos, cáscaras, y otros materiales no deseados para obtener pulpa.

Mezclado: en esta etapa se le adiciona a la pulpa de aguacate, la otra materia prima que le va a dar sabor al producto, como sal, cebolla, ajo.

Mezclado: el segundo mezclado consiste en adicionar el conservador para alargar la vida comercial del producto, en este caso seria de 100 a 200 mg de acido ascórbico por litro de producto.

Envasado: se realiza en bolsas de polietileno de baja densidad.



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

Almacenado: una vez envasado el producto, es almacenado a una temperatura de 2 a 4 °C. por 5 días.

Se puede observar en el diagrama de proceso que proceso convencional del guacamole, se le adiciona ácido ascórbico como conservador y antioxidante de esta manera su vida de anaquel es corta de 5 días en refrigeración.

En la figura 23 se muestra la propuesta de elaboración de guacamole aplicando altas presiones.

El tratamiento con altas presiones que se omiten la adición de aditivos químicos, alarga su vida comercial 45 días en refrigeración, sin pérdidas significativas en cuanto a la calidad del producto

El éxito se basa en la sensibilidad al calor de la pulpa de aguacate y a la estabilidad a presión baja de la polifenoloxidasas. El aguacate tratado por alta presión es aceptado en el mercado de los Estados Unidos debido a que no se había satisfecho la demanda del consumidor por un producto con una vida de anaquel aceptable, fácil de usar y libre de aditivos químicos.



2.10.4. Proceso tecnológico para la elaboración de cada producto

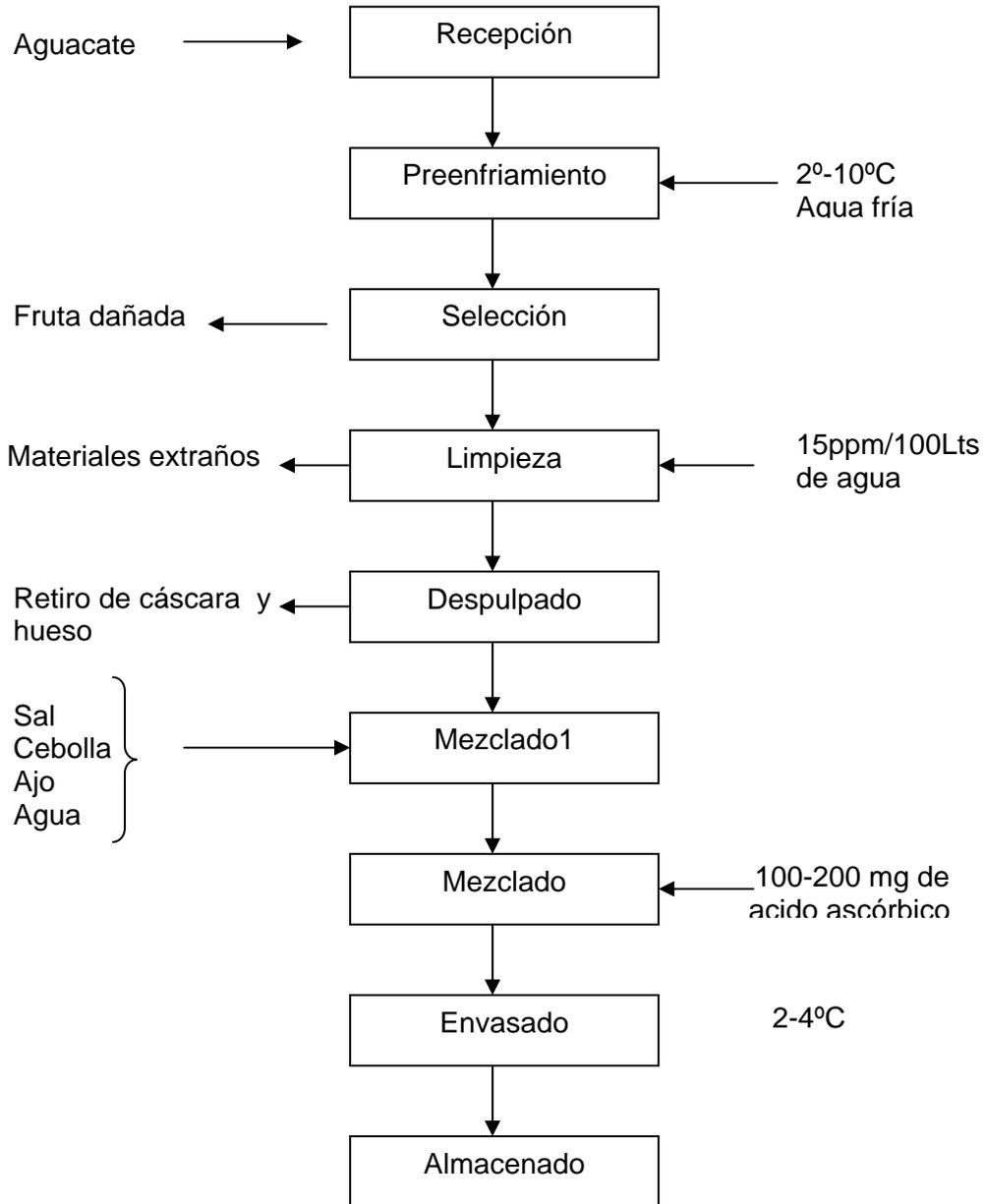


Figura 22. Diagrama de proceso de guacamole, por el método de conservación tradicional

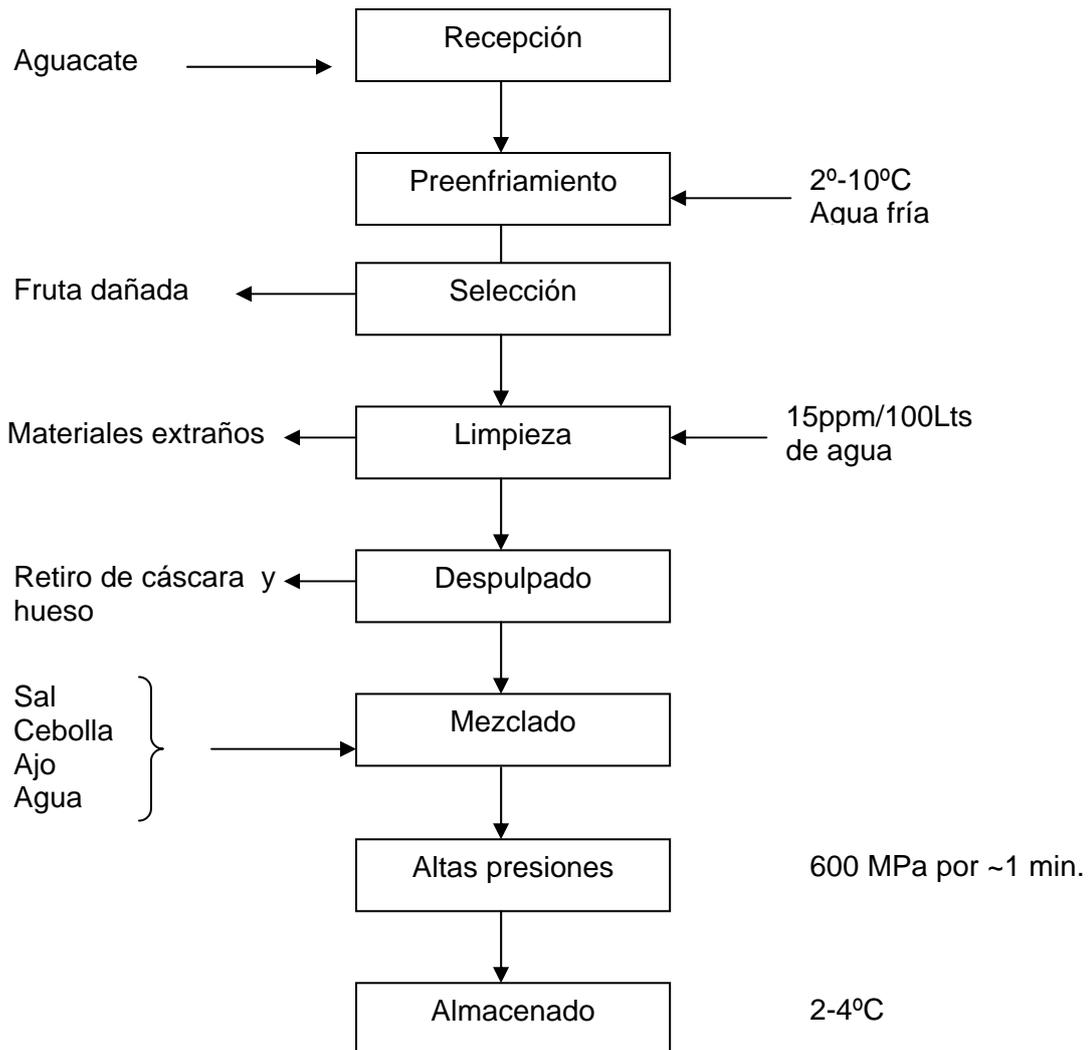


Figura 23. Propuesta tecnológica para la conservación de guacamole por altas presiones

Fuente: Pluma y Hernández (1987).



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

2.10.5. Equipos utilizados para procesar guacamole

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
<p>Volcadores de bins</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Utilizados para alimentar la línea de limpieza y selección.• Voltea el bins en 135°, por medio de cilindro Oleohidráulico• Motor de 2 HP
<p>Bandas transportadoras</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Con capacidad de producción de longitudes hasta de 72 pulg., y con coberturas RMA I y RMA II y de diversas clasificaciones, entre las cuales: Resiste el calor (más de 60° C)• Resistente a bajas temperaturas (menos de -50° C), Resistente a grasa,• Resistente al desgaste por roce, Destinadas a alimento y Encarrujadas.
<p>Tinas de enfriamiento</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Tinas de acero, plástico• controladas por un sistema computarizado que nos garantiza cumplir eficientemente con la regulación de la temperatura• Cuentan algunas además con dos calderas de vapor con sistemas automáticos de arranque y paro, que nos aseguran un total control de la temperatura del proceso
<p>Lavadora</p> 	<ul style="list-style-type: none">• La máquina está constituida por un cilindro de acero inoxidable con una cinta sin fin en el interior para transportar el aguacate.• En el interior se encuentra una red de tubería que aspersa agua sobre el producto a limpiar. Abajo está montado un plano inclinado en acero inoxidable para recuperar el agua.• La periferia del cilindro tiene una serie de barras inoxidables especiales para detener las hojas y hierbas de la materia prima



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
Despulpadora 	<ul style="list-style-type: none">• Toda su construcción es en acero inoxidable.• El cilindro es desmontable para su limpieza. Si se requiere se pueden fabricar varios cilindros para diferentes frutas.
Mezcladora 	<ul style="list-style-type: none">• Para resolver todo tipo de problemas de mezclado con polvos, líquidos y pastas en pequeñas cantidades no importando las características de sus productos.• Capacidad para 50 Lts.
Invasadora 	<ul style="list-style-type: none">• Maquina de bandas para el llenado, formado y envasado en distintas presentaciones.• Control mediante PLC, el cual contiene un modulo inteligente de control de T° y la interacción con el usuario es por un monitor• Material acero inoxidable Para productos viscosos
Equipo de altas presiones 	<ul style="list-style-type: none">• Los equipos de alta presión consisten en un cilindro de acero inoxidable con una pared gruesa y resistente que contiene en su interior el liquido de compresión (agua o una mezcla de agua aceite).• Este líquido es impulsado desde un depósito de agua hasta el recipiente de tratamiento.

Fuente: Imágenes de diferente equipos tomados de empresas: VENTURI, BTYS, RODEVA, JERSA, JAVAR, MICRON, Centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.



2.10.6. Costos de la implementación de la tecnología emergente

Si bien la tecnología tiene bajos costos de operación, es necesario capacitar al personal para asegurar que estos costos sean mínimos. Un ejemplo son los sellos de alta presión que deben ser mantenidos apropiadamente para reducir costos de operación y, sobre todo, interrupciones en la operación de la planta.

Otra consideración importante es la cuidadosa separación de los productos tratados y por tratar, ya que es muy difícil distinguirlos por simple observación. Un error de este tipo causaría grave daño a la confianza del consumidor en esta innovadora tecnología.

2.10.7. Beneficios y limitaciones de la aplicación de Alta Presión hidrostática en la elaboración de guacamole

Beneficios

- El atractivo principal de esta tecnología es que, al poderse realizar el tratamiento a temperatura ambiente, o a temperaturas no muy altas se conservan los parámetros de calidad del producto original.
- No existen cambios significativos en cuanto a sus propiedades organolépticas, ya que se retienen sus aromas y nutrientes, dando un aroma y textura de aspecto fresco
- Inactiva enzimas polifenoloxidasas en el guacamole. En el caso del guacamole la vida comercial refrigerada aumenta 45 días sin pérdidas serias de la calidad
- Las altas presiones tienen efectos diferentes sobre la estructura de los productos, los microorganismos o las características sensoriales, sin afectar apenas a su contenido nutricional. Una ventaja de las altas presiones es que, como tiene efectos sobre la textura de los alimentos, permite obtener gelatinas y purés sin necesidad de añadir ni azúcares ni almidones, productos muy interesantes para segmentos de población como los diabéticos.

Limitaciones

- Se requiere de personal capacitado para la operación del equipo
- Si no se respetan las condiciones de operación el producto puede perder sus características originales.



CAPÍTULO 2. ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

Capítulo 3. Campos eléctricos



3. Campos eléctricos pulsados

3.1. Historia y generalidades

El uso de esta técnica comienza a principios del siglo XX, cuando en 1924 Beattie y Lewis demostraron el efecto letal de las descargas eléctricas sobre los microorganismos al aplicar sobre el alimento un voltaje de 3.000-4.000 V.

Según Beattie y Lewis, el efecto bactericida observado en la leche eléctricamente tratada proveída a la ciudad de Liverpool en Inglaterra era no sólo debido al calor generado durante el proceso, pero era también debido al campo eléctrico en sí mismo (Ahmed y Singh, 2001).

Posteriormente, otros científicos, como Fetterman (1928) y Getchell (1935), combinaron la corriente eléctrica con la temperatura para pasteurizar leche e inactivar bacterias. Entre 1928 y 1938 la corriente eléctrica se utilizó como medio de generar calor para la pasteurización de unos 200 millones de litros de leche para el consumo (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

Durante los años 60, los procedimientos fueron desarrollados para crear poros en membranas de la célula sujetando las células a los altos voltajes. Un gradiente natural de la presión existe a través de las membranas celulares, de modo que cuando una célula se pone en un campo eléctrico, el potencial de transmembrana aumente (Ahmed y Singh, 2001).

Pero no es hasta finales de 1967 cuando Sale y Hamilton realizan los primeros estudios para la inactivación de microorganismos aplicando campos eléctricos homogéneos de alto voltaje. Estos científicos realizaron numerosas observaciones sometiendo suspensiones de microorganismos a campos eléctricos de hasta 25 kV/cm en pulsos de 2 a 20 μ s (García, 2004).

Observaron que la estructura de la membrana celular presentaba poros irreversibles cuando se les aplicaba un determinado potencial a través de la membrana. De esta forma, se dedujo un potencial crítico para la inactivación de bacterias en función de la forma y el tamaño de la célula (Barbosa y Pothakamury, 2000).



Estudios posteriores fueron demostrando que la destrucción microbiana por pulsos eléctricos se encontraba asociada a una destrucción o deformación de la pared celular y no a un desprendimiento de calor producido por el efecto Joule en este proceso¹⁹ (Barbosa-Canovas *et al.*, 1998).

3.2. Fundamentos y definiciones

Fundamento

Aplicación de pulsos eléctricos de microsegundos de alta intensidad de campo eléctrico (10^4 V) en alimentos colocados entre dos electrodos. El equipo incluye un generador de alto voltaje, una cámara de tratamiento, un sistema de refrigeración y un equipo de envasado aséptico, además de los sistemas de control (Bald Garmedia, 2000).

Definición

El procesamiento de alimentos con campos eléctricos (PEF), también conocido como pulsos de alto campo eléctrico (HEFP), es una nueva tecnología para la inactivación de microorganismos y enzimas que se lleva a cabo a temperatura ambiente o de refrigeración con la aplicación de una breve descarga de alto voltaje a alimentos colocados entre dos electrodos por tiempos en el orden de los microsegundos (García *et al.*, 2004).

El tratamiento mediante pulsos eléctricos de alto voltaje hace uso de la electricidad como fuente energética. El campo eléctrico es aplicado al alimento en forma de pulsos de decenas de miles de voltios, pero extremadamente breves, pues su duración puede oscilar entre los milisegundos y los microsegundos. Y así poder reducir los tiempos de procesado y las pérdidas de energía debidas al calentamiento del alimento resultan mínimas (Bello - Gutiérrez, 2000).

¹⁹ Vega observó que la velocidad de inactivación dependía de la *fuerza iónica del medio y del pH*; tratando leche inoculada con *E. coli* con pulsos de 55 kV demostraron que la efectividad del tratamiento era superior a valores más bajos de pH, mientras que a medida que aumentaba la fuerza iónica la inactivación era menor (Vega, 1995).



3.3. Propiedades eléctricas de los alimentos

El estudio de las propiedades físicas de productos ha sido y sigue siendo objeto de un considerable interés por parte de los investigadores ya que estas pueden emplearse como índices de distintas características relevantes de los citados productos y servir de fundamento para el desarrollo de equipos de procesamiento de los mismos (Torres *et al.*, 1998).

Las propiedades eléctricas son aquellas que se refieren a la interacción entre los campos electromecánicos y los materiales constitutivos de los diferentes productos agrarios, en un rango de frecuencias que abarca desde campos estáticos y frecuencias bajas hasta frecuencias del orden de GHz propias de microondas, dentro del cual se producen fenómenos de conducción eléctrica (Torres *et al.*, 1998).

Mediante el estudio de propiedades eléctricas puede avanzarse en el conocimiento de la composición íntima de los productos, las interacciones entre sus distintos componentes, la distribución de agua libre o ligada en su interior y deducirse los cambios que estas características pueden experimentar como consecuencia de la maduración, secado, impacto de daños etc.

Dado que las propiedades eléctricas determinan la capacidad de los productos para absorber energía del campo electromagnético al que puedan estar sometidos, es de importancia en el proceso de conservación por pulsos eléctricos, ya que en este proceso se aplican campos electromagnéticos de frecuencias diferentes y durante los mismos se producen variaciones de la temperatura y grado de humedad de los productos, razones por las que es importante el conocimiento de la evolución de las propiedades eléctricas cuando se modifican los parámetros indicados (frecuencia, temperatura, contenido en agua) el establecimiento de modelos predictivos de comportamiento eléctrico de los productos bajo diferentes condiciones (Torres *et al.*, 1998).

3.4. Tecnologías y Equipo de tratamiento con campos eléctricos

El sistema para procesado de alimentos utilizando campos eléctricos pulsantes de alta intensidad consta de una serie de componentes que incluyen: una fuente de potencia, un banco de captación, un interruptor, la cámara de tratamiento, sondas de corriente y de temperatura y un equipo de envasado aséptico (Barbosa-Canovas, 1998).

La fuente de potencia se utiliza para cargar el banco de captación y el interruptor para descargar la energía de este banco de captación al alimento colocado en la cámara de tratamiento. El alimento puede permanecer en una cámara estática o puede ser bombeado a una cámara continua, para plantas piloto o para escala industrial es



preferible la cámara continua, para plantas piloto o para escala industrial es preferible la cámara continua. El voltaje, corriente y fuerza del campo eléctrico se puede medir usando un osciloscopio. El alimento tratado se envasa después den envases de consumo individuales o se almacena en contenedores a granel pero envasado asépticamente. Se recomienda que los alimentos tratados se conserven a temperaturas de refrigeración para prolongar su vida útil. El proceso de campos eléctricos al que se somete el alimento puede ir acompañado de generación de calor, por esta razón el sistema incluye generalmente medios que producen el enfriamiento de la cámara de tratamiento (Casp, 2003).

El sistema de procesado utilizando campos eléctricos pulsados de alta tensión consiste en cierto número de componentes, incluyendo la fuente de potencia, banco de condensadores, interruptor, cámara de tratamiento, medición de voltaje, temperatura, corriente, y por último equipo de envasado aséptico (Figura 24).

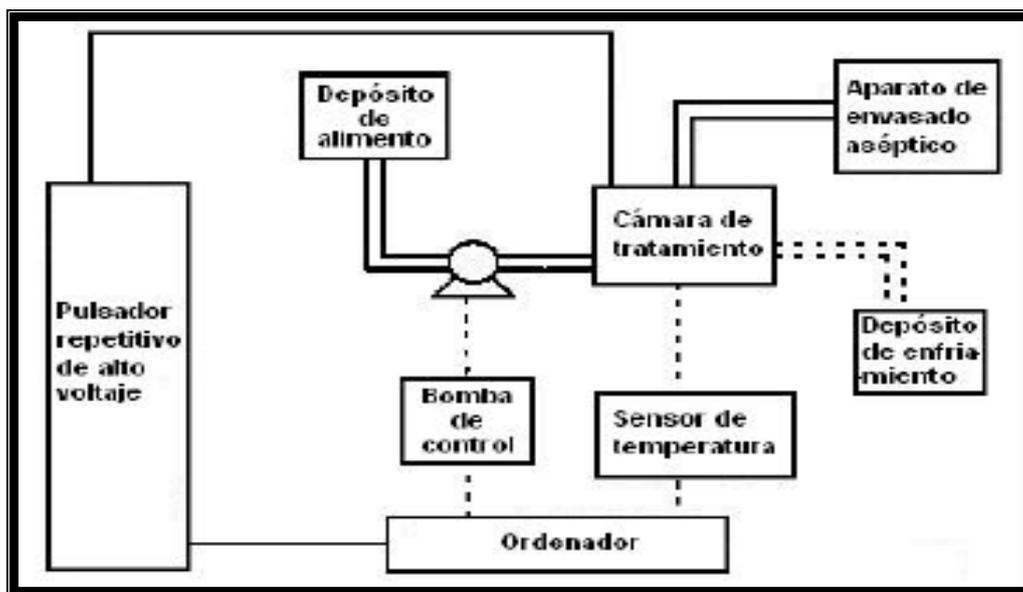


Figura 24. Sistema de procesado de campos eléctricos pulsados de alta intensidad para conservación no térmica de alimentos

Fuente: Barbosa – Canovas *et al.*, (1998).

La fuente de potencia se utiliza para cargar el banco de condensadores y un interruptor se emplea para la descarga de la energía almacenada en el banco a través del alimento en la cámara de tratamiento. El alimento puede estar en una cámara estática o se puede bombear a través de una cámara continua.



La cámara de tratamiento estática puede ser adecuada para laboratorio, mientras que a escala industrial se emplea la cámara continua. El alimento una vez tratado es envasado empleando envasado aséptico, luego se almacena a temperatura de refrigeración. Uno de los componentes importantes y complicado en el sistema de procesado es la cámara de tratamiento, existiendo diversos diseños de las mismas tanto estáticas como continuas (Sosa, 2006).

El tipo de disposición de electrodos influye en la inactivación microbiana, se observa que es importante prevenir la rotura dieléctrica de los alimentos, aquellos que sean susceptibles de presentar rotura dieléctrica no son adecuados para este tratamiento, por esto primordialmente los alimentos líquidos se adecuan a estos tipos de tratamiento, o aquellos con pequeñas partículas, cuyo tamaño sea menor que la región de tratamiento.

Por lo que los alimentos sólidos que contiene burbujas de aire no son adecuados para un procesado con campos eléctricos debido a las potenciales rupturas dieléctricas en las burbujas.

Los equipos para el procesado industrial de alimentos por pulsos eléctricos están todavía emergiendo en el mercado y tienen actualmente un alto coste.

Estos zumos tratados por pulsos eléctricos existentes en el mercado estadounidense, se venden en envases de vidrio y refrigerados, y su precio supera al de otros productos similares²⁰.

3.5. Efectos sobre los componentes químicos de los alimentos.

3.5.2. Carbohidratos

Debido a la poca información que existe en relación a los componentes químicos de los alimentos al ser tratados con pulsos eléctricos, se presentan algunos ejemplos de productos tratados con esta tecnología y los resultados obtenidos por los diferentes autores.

Se procesaron jugo fresco de manzana y jugo reconstituido a partir de concentrado. La vida comercial del zumo tratado con pulsos eléctricos almacenado a 4°C fue de 3 a 4 semanas. El producto almacenado fue analizado para determinar si los campos eléctricos pulsados habían modificado la composición del jugo. Bajo las condiciones experimentales (máximo de 40Kv/cm) utilizadas en el estudio, la concentración total de sólidos de 11%, consistente en 10% de carbohidratos, .2% de cenizas y trazas de

²⁰ La mayoría de los equipos que se han fabricado relacionados con esta tecnología han sido utilizados en investigación. Algunos equipos comerciales ya han recibido la aprobación de la FDA estadounidense y están actualmente en el mercado para procesar zumos frescos.



grasa y proteína, fue equivalente antes y después del tratamiento con campos eléctricos.

El pH vario entre 4.1 a 4.4 y no fue afectado significativamente por el tratamiento con campos eléctricos. La concentración de vitamina C no quedo afectada por el tratamiento con campos eléctricos. Por lo tanto se puede decir que aplicar pulsos eléctricos a alimentos no afecta significativamente sus componentes, en este caso específicamente los carbohidratos. Los mantiene equivalentes a antes de ser tratados (Barbosa- Canovas *et al.*, 1998).

Se trato leche con campos eléctricos exigió una vida comercial de 2 semanas. El tratamiento con esta tecnología no afecto las propiedades físicas y químicas de la leche.

3.5.3. Vitaminas

Los alimentos retienen más aromas y vitaminas al ser procesados mediante campos eléctricos pulsantes que por calor, en estudios realizados tanto en el sabor como en la vitamina C de jugo de naranja sufrían menor destrucción al ser procesados mediante pulsaciones eléctricas mantenían los componentes de sabor original en un 87%. Tanto la destrucción del limonero, como la del butirato de etilo, fue mucho menor al pasteurizar el zumo eléctricamente que térmicamente (Bendicho *et al.*, 2001).

Desde el punto de vista nutricional, vitaminas como la riboflavina, tiamina, ácido ascórbico o tocoferol parecen no verse afectados por el tratamiento.

3.5.4. Enzimas

Aunque parece que afecta a determinadas enzimas, el tratamiento por pulsos eléctricos parece que no afecta de forma significativa a la desnaturalización de las proteínas, al contrario que los procesos térmicos.

Un estudio aplicando campos eléctricos pulsados a diferentes enzimas en soluciones tampón, obtuvo resultados muy variados. En el caso de la lipasa, glucosa-oxidasa y amilasa consiguieron inactivaciones del 70 al 85%, otros como la peroxidasa y la polifeonol-oxidasa mostraron reducciones moderadas del 30-40% (Ho, 1997).

En la universidad de Lleida, también se han estudiado el efecto de los campos eléctricos pulsantes sobre las enzimas vegetales, trataron pectinmetilesterasa de tomate llegando a conseguir una destrucción de hasta un 9.8% de la actividad inicial.



No se observaron diferencias significativas en la inactivación entre la utilización de pulsos mono o bipolares (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

En cuanto a la destrucción de enzimas, no existen tantos estudios como en el caso de los microorganismos. Ya que se han obtenido resultados dispares y aun no se ha podido concluir que parámetros son los que más influyen en la variación de la actividad enzimática y en que sentido afectan. Y los pocos estudios que se tienen, son diferentes según la intensidad de campo aplicada y el número de pulsos, la temperatura de tratamiento y el medio que contiene la enzima (Vega, 1995).

Se procesó sopa de guisante verde consistente en polvo de guisantes secos, almidón, azúcar granulado, glutamato monosódico y agua destilada, mediante mezclado y calentamiento. La sopa fue tratada con campos eléctricos pulsados. La vida comercial de la sopa de guisante es de alrededor 4 semanas a 4°C. Las propiedades químicas y físicas de la sopa de guisante no cambiaron después del tratamiento con campos eléctricos pulsados y durante el almacenamiento. El tratamiento con campos eléctricos no alteró las propiedades sensoriales de la sopa de guisante (Barbosa-Canovas, 1998).

3.6. Efectos de los campos eléctricos sobre las propiedades organolépticas

En lo referente a aspectos relacionados con la calidad de los alimentos a los que se aplica este tratamiento, desde el punto de vista sensorial, los aromas, sabores y colores naturales, permanecen intactos o presentan cambios mínimos²¹. En caso de aparición de algún pequeño cambio de color con el tiempo, los efectos siempre son menores que en los productos pasterizados térmicamente. Por otra parte, debido a que las membranas celulares se ven afectadas por el tratamiento, éste puede repercutir en la textura del producto.

Por este motivo, para productos como la carne y el pescado este tratamiento puede no ser conveniente. Sin embargo, el daño celular causado en vegetales puede ser deseable para mejorar su digestibilidad, constituyendo un proceso alternativo al tradicional del hervido en el que además, se producen pérdida de nutrientes (García, 2004).

²¹ La disponibilidad de nutrientes intracelulares como licopenos y flavonoides debido a que puede mejorar la permeabilización de las membranas que se produce como consecuencia del tratamiento.



También se estudió el efecto de los campos eléctricos en el sabor, analizaron sensorialmente zumo de manzana concentrado después de aplicarle 10 pulsos de 50kV/cm y zumo de manzana fresco sometido a 16 pulsos de 50 kV/cm, en ninguno de ellos se detectaron diferencias significativas respecto al mismo producto sin tratar (Qin y Pothakamury, 1995).

3.7. Efectos de los pulsos eléctricos sobre los microorganismos

Cuando un producto se expone a un campo de pulsos eléctricos de alta intensidad, las membranas celulares desarrollan poros permanentes o temporales, según las condiciones del tratamiento. Estos poros aumentan la permeabilidad de la membrana, permitiendo la pérdida de contenido celular o la entrada del medio que rodea a la célula; ambos efectos pueden causar la muerte celular (Bendicho *et al.*, 2001).

Los campos pulsados pueden inactivar microorganismos y enzimas, esto se da lugar cuando se excede cierto umbral de intensidad del campo eléctrico externo que induce una diferencia de potencial eléctrico a través de la membrana celular conocido como potencial transmembrana. Basándose en la teoría de ruptura dieléctrica, los campos eléctricos externos inducen una diferencia de potencial entre las membranas de las células; cuando este potencial alcanza un valor crítico o un valor umbral, tiene un lugar una formación de poros en la membrana de las células, produciéndose como consecuencia de esto un incremento de la permeabilidad de las membranas celulares. Este incremento de permeabilidad es reversible si la fuerza del campo eléctrico externo da igual o excede ligeramente al valor crítico (Casp, 2003).

Cuando el mismo alcanza un valor crítico, tiene lugar la eletroporación o formación de poros en la membrana celular. La permeabilidad de la membrana celular aumenta, esto es reversible si la fuerza del campo eléctrico externo es igual o excede ligeramente a un valor crítico²². El potencial transmembrana depende de cada microorganismo y enzima así como del medio en el que los microorganismos o enzimas están presentes (Sosa, 2006).

En lo que a aspectos de seguridad se refiere, este tratamiento es capaz de inactivar microorganismos en forma vegetativa, produciendo una reducción de cinco logaritmos de la mayoría de patógenos. Existen resultados concluyentes de efectividad del

²² Las propiedades de membrana de las células vegetativas, así como la fase de crecimiento en la que se encuentra el microorganismo, son factores importantes en la eficiencia del tratamiento. Las células en la fase de crecimiento logarítmica, por ejemplo, presentan niveles de inactivación superiores a las que se encuentran en fase estacionaria (Sosa, 2006).



tratamiento para especies de *Listeria*, *Salmonella*, *Escherichia* (incluyendo *E.coli* O157:H7), *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus* (Bendicho *et al.*, 2001).

En general, las bacterias han demostrado ser más resistentes a los pulsos eléctricos que las levaduras, mientras que las esporas bacterianas y las ascosporas de mohos y levaduras son muy resistentes a este tratamiento²³. Esta incapacidad de inactivación de la mayoría de las esporas bacterianas, hace que no sea un proceso apto para la esterilización de alimentos (García, 2004). En cuanto a las levaduras son microorganismos más sensibles a los pulsos eléctricos de alta intensidad de campo, seguidas por las bacterias gram-negativas y finalmente por las bacterias gram-positivas (Bendicho *et al.*, 2001).

En cuanto a las esporas bacterianas, debido a su pequeño tamaño, son más difíciles de destruir que otras células y solo pueden ser inactivadas durante el periodo de germinación y crecimiento. Estos datos no son especialmente buenos, sobre todo si tenemos en cuenta que son tratamientos que han salido al mercado con el interés de sustituir el calor, sin provocar modificaciones en los alimentos. Las esporas de levaduras son más sensibles al tratamiento mediante pulsos eléctricos que las esporas bacterianas.

Otro estudio para evaluar la resistencia de levaduras del género *dekkera/brettanomyces* en vino, con tratamientos de pulsos eléctricos. En base a estos resultados, los Pulsos eléctricos permitirían eliminar levaduras del género *Dekkera/Brettanomyces*, e incluso otras presentes en el vino, previamente a su embotellado o almacenamiento en barricas reduciendo el riesgo de posibles alteraciones organolépticas y las consecuentes pérdidas económicas (Puertolas y López, 2006).

3.8. Factores que afectan la inactivación de los microorganismos

La eficiencia del proceso y por lo tanto, la eficacia en la inactivación microbiana de esta tecnología, que es uno de los principales objetivos en su aplicación, dependen, entre otros factores, del tipo de energía aplicada al alimento, la frecuencia y número de los pulsos aplicados, la temperatura y tiempo total de tratamiento. Otros factores como las características físico-químicas y las propiedades de los ingredientes del producto

²³ Es posible aplicar campos eléctricos a alimentos que no requieran tratamientos especialmente intensos y en los que la microbiota Gram positiva sea la dominante, como por ejemplo la mayoría de los alimentos fermentados, como quesos, yogures, embutidos y productos cárnicos (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).



tratado, así como el tipo del microorganismo objetivo, influyen también en la efectividad del proceso. (Bendicho *et al.*, 2001).

3.9. Ventajas y limitaciones de esta tecnología

Entre las ventajas de esta tecnología cabe destacar la obtención de un alimento más seguro microbiológicamente hablando, sin un aumento importante de la temperatura del producto. Esto último aporta además la ventaja de que la pérdida de nutrientes o los cambios sensoriales (aromas, sabores) son mínimos en el producto. Otras ventajas son la alta eficiencia del proceso con bajos requerimientos de energía (para algunos productos), el bajo costo de mantenimiento (posibilidad de instalar la metodología en líneas de procesado existentes), etc.

Limitaciones

Entre las desventajas se encuentra principalmente la restricción en su aplicación (limitado a fluidos y/o productos constituidos por partículas pequeñas), y su coste, actualmente bastante elevado.

Este sistema no se encuentra con facilidad en la industria, debido quizás a lo relativamente reciente de su aplicabilidad. Por el momento aún está en fase experimental.

En general, esta tecnología no es recomendable para el tratamiento de alimentos sólidos que retengan burbujas de aire al ser colocados en la cámara de tratamiento. Otra limitación es el tamaño de partícula de los alimentos líquidos. Para mantener una operación de proceso adecuada, el tamaño máximo de partícula en el fluido alimentario debe ser menor que la apertura de la región de tratamiento dentro de la cámara.

3.10. Aplicaciones de los campos eléctricos en alimentos.

Los productos a los que se aplica campos eléctricos para su conservación, son principalmente fluidos y homogéneos, (Tabla 8) o están constituidos por partículas muy pequeñas. La conservación de los alimentos es el principal objetivo de esta tecnología emergente, aumentando la vida útil de los mismos. Debido a que es considerado un proceso de pasteurización, los productos deben posteriormente mantenerse en refrigeración. Mientras que su aplicación en carnes o pescados es más complicada (por el proceso en sí y por los posibles efectos en la textura de los productos), en vegetales tiene gran potencial, permitiendo mejorar su digestibilidad y aumentando la biodisponibilidad de nutrientes (Bendicho, 2001)

**Tabla 8. Condiciones de aplicación de altas presiones**

Alimento	Condiciones	Viabilidad	Referencias
Zumo de naranja fresco	35kV.cm ⁻¹ pulsos	Se consigue una reducción logarítmica de cinco en el número de microorganismos. El color y el sabor del zumo fueron aceptables durante diez días, mientras que el zumo no tratado era inaceptable a los cuatro días	Casp (2003)
Puré y rebanadas con puré de fresa	15,000 Volts por 40s, en muestra congelada 30 días en congelación a -18°C; y, posteriormente, en almacenamiento en refrigeración a 4°C por 10 días	Permitió, conservar la fresa con sus características equivalentes a las de un alimento "fresco", se aumentó su vida de anaquel hasta un año, sin cambios significativos en sus características sensoriales, fisicoquímicas y microbiológicas y principalmente en sus propiedades nutrimentales, evaluadas como vitamina C	Juárez y Villagómez (2004)
Vino	a tres diferentes intensidades de campo eléctrico (14 - 22 kV/cm) número de pulsos (0 - 100) a temperatura ambiente	los Pulsos eléctricos permitirían eliminar levaduras del género <i>Dekkera/Brettanomyces</i> , e incluso otras presentes en el vino, previamente a su embotellado o almacenamiento en barricas reduciendo el riesgo de posibles alteraciones organolépticas y las consecuentes pérdidas económicas	Puertolas y López (2006)
Jugos de fruta, manzana, piña y naranja	aplicando 2 pulsos de 32-36.5kVcm ⁻¹	Se mostraron reducciones de células vegetativas y ascosporas de 3.5 a 5 ciclos logarítmicos	Raso <i>et al.</i> (1998)
Zumo de manzana fresco	(máximo de 40kV.cm ⁻¹) y almacenado a 4°C fue de 3 a 4 semanas	Un panel de catadores no observó diferencias significativas entre el zumo tratado y el no tratado almacenado a 4°C fue de 3 a 4 semanas	Casp (2003)

Hasta ahora se han aplicado en plan experimental a zumos de frutas, (Figura 25) leche, yogurt, crema de legumbres, etc. En todos los casos, se ha incrementado la vida útil sobre el producto fresco, sin que se modificaran sus propiedades sensoriales.



Figura 25. Alimentos tratados con pulsos eléctricos. Jugos

Fuente: (Revista mundo alimentario, 2000)

El procesado de alimentos por pulsos eléctricos es considerado un método de tratamiento no térmico, ya que la temperatura que se alcanza en el tratamiento (aumento producido por la liberación de energía eléctrica) es baja, desarrollándose el proceso normalmente en torno a los 35-50 °C. Los resultados obtenidos en diferentes proyectos de investigación sobre esta tecnología, han permitido considerar su utilización como alternativa a los tratamientos térmicos de pasteurización en productos como lácteos y zumos de frutas (Sosa, 2006).

3.11. Legislación

En Europa, los alimentos tratados por esta tecnología estarían considerados desde el punto de vista legal como “**novel food**” (**Reglamento CE n° 258/97, de 27 de Enero de 1997, sobre nuevos alimentos y nuevos ingredientes alimentarios**) (Portal de Tecnologías y Mercados del Sector Alimentario, 2007).

Al igual que la tecnología de altas presiones, los campos eléctricos son una tecnología mucho más reciente y en su mayoría en fase experimental para muchos países, específicamente en México, ya que en nuestro país y muchos otros no se comercializan alimentos tratados con pulsos eléctricos, la mayoría de los estudios que se tiene son investigaciones a nivel planta piloto. Por lo tanto, tener una legislación en particular para el tratamiento de alimentos a base de pulsos eléctricos es muy difícil. Pero en un tiempo no muy largo esta tecnología será muy importante tanto en nuestro país como en muchos otros y se tendrá que regular de una manera más particular. En la Unión Europea, esta tecnología es mas común, que en muchos otros países, ya que las investigaciones están tanto a nivel planta piloto como en algunos casos ya están a nivel industrial, tanto que se comercializan algunos tipos de alimentos particularmente jugos a base de esta tecnología, pero aun así no en



aquellos países no se tiene una norma en específico para regular esta tecnología, pero al igual que las altas presiones entra dentro de los productos “novel food”, y va a ser tratada como un nuevo ingrediente alimentario y particularmente se tiene que llevar la leyenda de “tratado con pulsos eléctricos.

3.12. Propuesta tecnológica para la conservación de jugo de naranja por campos eléctricos.

3.12.1. Selección del producto de potencial económico

México es el 4º exportador mundial de cítricos. Después de Brasil, Estados Unidos y España, mismo nivel que ocupa en producción, después de Brasil, China y Estados Unidos.

En naranja fruta, las ventas a Estados Unidos fueron de 10 mil toneladas con una captación de divisas del orden de dos millones de dólares.

Los principales países productores (Figura 26) de naranja a nivel mundial son Brasil con el 24% de la superficie cultivada, le siguen México y Estados Unidos con 9% y China con 8%. México por su parte ha tenido un comportamiento más dinámico con una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) del 1.9% siendo la más alta, lo cual se explica con la incorporación de nuevas plantaciones a este cultivo.

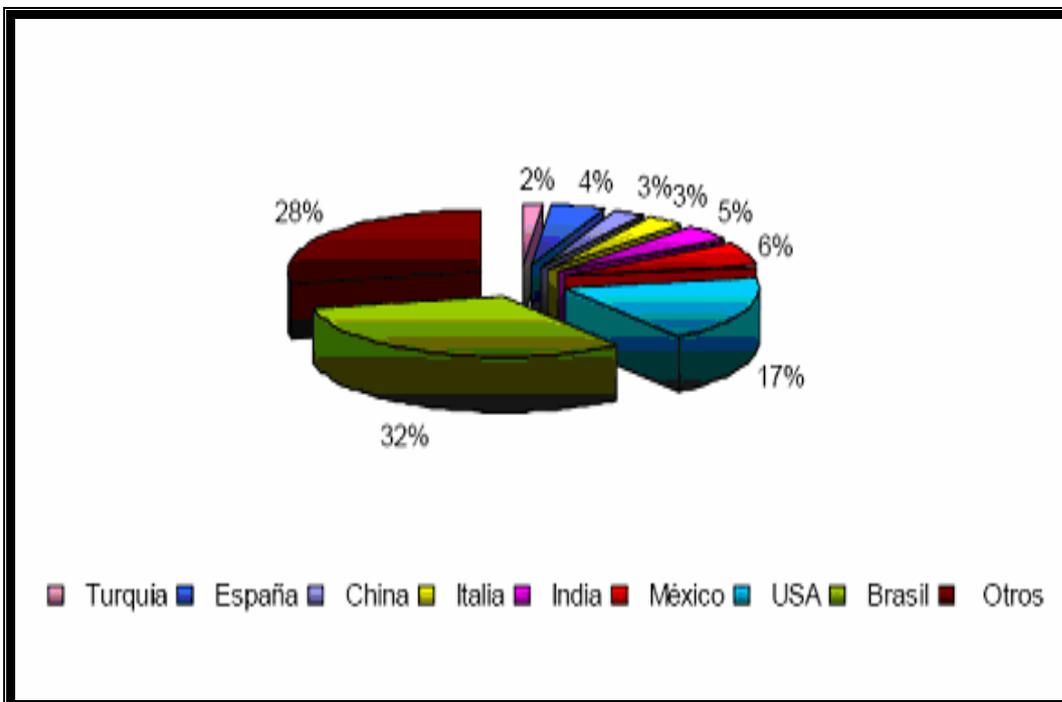


Figura 26. Países productores de naranja 2006

Fuente: Secretaria de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2006).



CAPÍTULO 3. CAMPOS ELÉCTRICOS

Los principales países exportadores de naranja (Figura 27) en fresco es España con un volumen promedio de un millón y medio de toneladas anuales, que representas un 28% de la producción mundial de naranja, le siguen los Estados Unidos con 12% y Grecia con 6%. México ocupa el dieciseisavo lugar con una participación marginal y menor al 1% del volumen total mundial (SAGARPA, 2006).

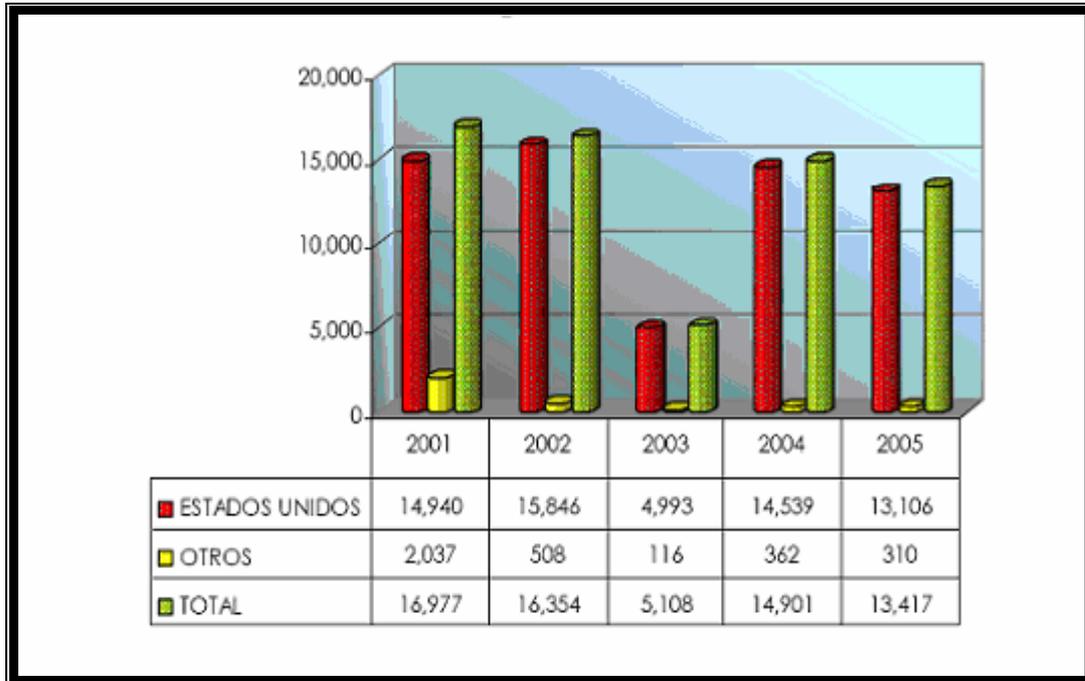


Figura 27. Exportaciones de naranja en México

Fuente: Secretaria de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2006).

Los mayores volúmenes de exportación de la naranja en nuestro país se dan por mucho por el producto procesado, especialmente el jugo de naranja. Durante la última década, las ventas externas de este producto no sólo han aportado los mayores volúmenes comercializados, sino que también se ha significado como uno de los principales productos agropecuarios en lo que respecta a ingresos por divisas a nuestro país.

Brasil es el país que domina el comercio mundial del jugo de naranja concentrado contribuyendo con más de las dos terceras partes del volumen mundial producido. En participaciones más modestas se encuentran Estados Unidos y España con 7 y 3% respectivamente. La participación de México a este mercado es reciente e inicia en el 2002 con un volumen promedio en estos tres años de 4,704 toneladas.



3.12.2. *Implantación de campos eléctricos en la elaboración de jugo de naranja*

Para cítricos como lo que es la naranja, una opción interesante sería su transformación en jugo, para así poder aplicar campos eléctricos en la conservación de este producto y así obtener una nueva opción tecnológica de jugo de naranja natural libre de conservadores y con las características de un jugo recién exprimido. Ya que últimamente las exportaciones de jugo de naranja concentrado a EU han aumentado considerablemente.

3.12.3. *Proceso para la elaboración de jugo de naranja*

Recepción: las naranjas se reciben en camiones que descargan por gravedad, abriendo las puertas traseras e inclinándolos. La fruta se eleva a una tolva donde se muestrea automáticamente para que el inspector oficial utilice en la determinación del rendimiento de jugo, sólidos solubles y contenido de ácido y determina si el lote llena los requisitos de madurez y es adecuada para el propósito que se destina.

Selección: antes que la fruta llegue a las tolvas pasa sobre bandas donde se retira el producto dañado o manchado, debe tenerse cuidado de eliminar los trozos de ramas del árbol unidos a esta, que de otro modo se atoraran en los extractores y detendrán la planta.

Limpieza: las naranjas se lavan con agua, generalmente remojándolas por 5 minutos, posteriormente se pasan sobre cepillos giratorios para eliminar la suciedad, arena y restos de insectos. Se recomienda la aplicación de agentes desinfectantes como cloro, para ayudar a reducir la carga microbiana y mantener condiciones sanitarias adecuadas.

Clasificación: la eficiencia de la extracción y la calidad del producto están íntimamente ligados a la clasificación de la fruta por tamaños, ya que puede reducir la eficiencia del extractor y tener bajo rendimiento, por lo que antes de pasar a los extractores se separa mecánicamente en tres o cinco tamaños con el fin de realizar una extracción adecuada sin que haya presión excesiva sobre la cáscara o se deforme más de lo necesario durante la operación evitando así la salida de compuestos que denoten un sabor desagradable.



Extracción: los extractores pueden ser utilizados cambiando las cabezas y copas permitiendo el acomodo al tamaño de la fruta. Actualmente los hay de tres tipos, los cuales domina el mercado son el FMC in- Line, el Brown y el Rotatorio. Estas maquinas manejan aproximadamente 300 a 700 piezas por minuto.

Filtrado: el jugo mecánicamente extraído contiene semillas y segmentos de membranas que deberán ser removidos, esta operación recibe el nombre de filtrado, usualmente se lleva a cabo por medio de una prensa de tipo tornillo o un terminador donde el tamaño de las perforaciones y la presión aplicada tiene un marcado efecto de rendimiento.

La narangina es abundante en la cáscara y tejido de la fruta y si los procesos de extracción y acabado son rigurosos resultara un jugo amargo

Pasteurización: las funciones primarias de la pasteurización son destruir microorganismos e inactivar enzimas pecticas. La pectina es responsable de la estabilidad de la apariencia lechosa del jugo. La perdida de turbidez es causada por la coagulación de la materia suspendida y la subsecuente obtención de un jugo clarificado. El alto contenido de acido o bajo pH de los jugos hace que puedan ser conservados por una simple pasteurización. Se realiza a 110°C por 3 segundos. Temperaturas inferiores a 74°C destruyen los microorganismos pero no inactiva las enzimas, por lo que se recomienda usar altas.

Envasado: el jugo se mantiene caliente (aprox. 85°C) en la llenadota y pasa directamente a los envases. El jugo permanece 1 o 2 minutos como máximo en el tanque de alienadora. Estos tiempos permiten minimizar los daños en el sabor. Los envases son cerrados en maquinas automáticamente, se invierten por cerca de 20 segundos y se envira rápidamente por aspersion de agua fría.

Se considera recomendable que se inyecte vapor de agua en la cabeza del envase para reducir la cantidad de oxigeno presente, inmediatamente depuse de la pasterización. La temperatura deberá ser mínimo de 73.8°C si es obtenido un buen vacío; 82 a 85°C es deseable; temperaturas mayores provocan un vacío excesivo que puede originar el colapso del envase en el caso de latas.

Almacenamiento: una vez envasado el producto es almacenado a temperatura de refrigeración de 4 a 5 °C.



Los resultados obtenidos en diferentes proyectos de investigación (Figura 28) sobre esta tecnología, han permitido considerar su utilización como alternativa a los tratamientos térmicos de pasteurización en productos como lácteos y zumos de frutas. La aplicación de pulsos eléctricos a jugo de naranja fresco con un alto contenido en pulpa, consigue una reducción logarítmica de cinco en el número de microorganismos.

Y por lo tanto aplicando pulsos eléctricos (Figura 29), se elimina la etapa de pasteurización, ya que debido a las altas temperaturas que se utilizan, pierde sus características en fresco tanto de color y sabor. Mientras que el jugo tratado con pulsos eléctricos es aceptable durante diez días más a un jugo no tratado con esta tecnología, que solo dura 4 días. Además que por ser tratado con esta tecnología, no se requiere la utilización de altas temperaturas, y así conserva las características de un jugo recién exprimir



3.12.4. Proceso tecnológico para la elaboración de cada producto

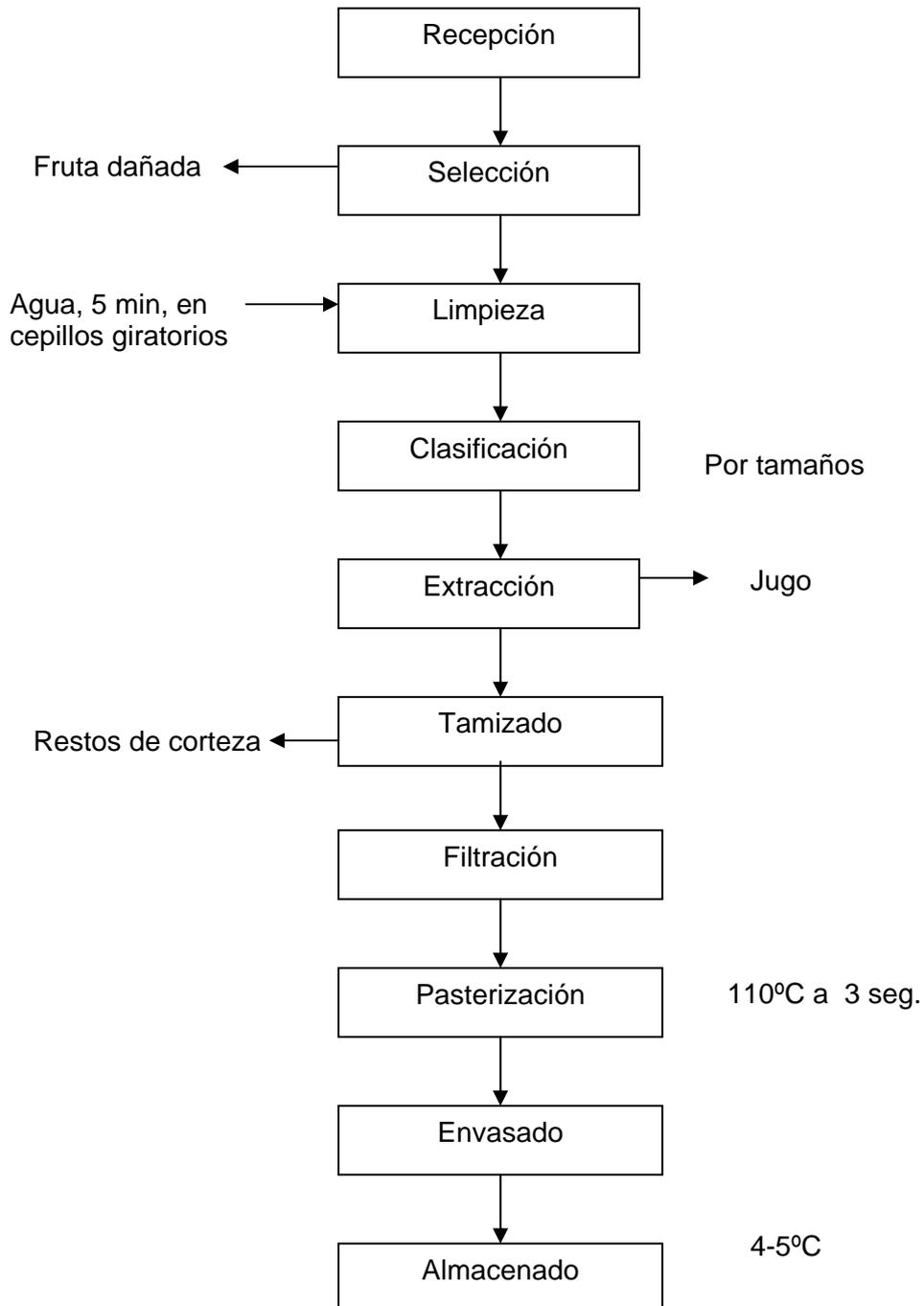


Figura 28. Diagrama de proceso de pasteurización de jugo de naranja conservado por calor.

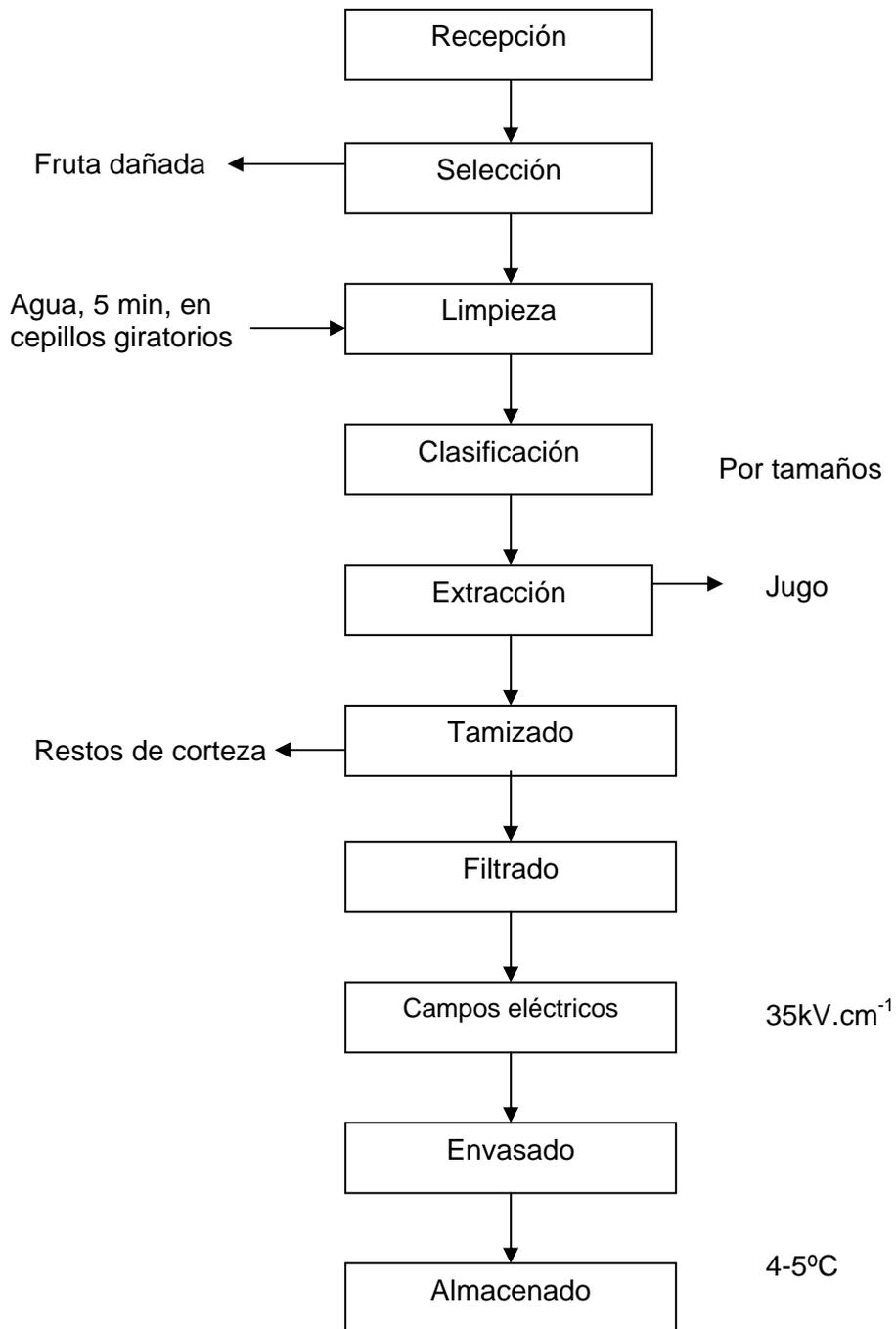
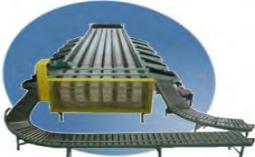


Figura 29. Propuesta tecnológica para la conservación de jugo de naranja por campos eléctricos.

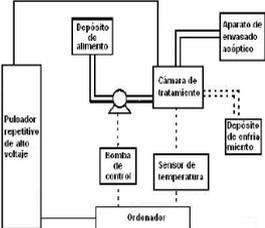
Fuente: (Reyes y Granados, 1997).



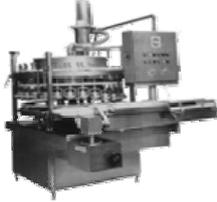
3.12.5. Equipos utilizados

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
<p>Elevador</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Con aletas para la alimentación de procesos de lavado• Cintas y elevadores con velocidad regulada electrónicamente.• Llevan toda clase de productos y envases de un lugar a otro, y de una altura a otra, a través de las diferentes etapas de la línea de proceso
<p>Banda transportadora</p> 	<ul style="list-style-type: none">• El recubrimiento de este tipo de banda posee efectos antideslizantes y amortiguadores. Banda adecuada para el transporte de materiales frágiles o deformables• La estructura de la cara superior tiene efecto amortiguador, aplaca y absorbe las vibraciones e impactos dados por los materiales transportados y simultáneamente evita deslizamientos.• Aunque depende del material transportado es factible el transporte con ángulos de inclinación de 25° a 35°.• 3m de largo por 1.2m de ancho
<p>Lavadora</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Limpian con agua toda clase de frutas y verduras para eliminar elementos como tierra, fertilizantes, insectos y pesticidas.• Llevan cepillos para un lavado más enérgico, rodillos raspadores para eliminar el aceite esencial de cítricos como naranja, limón y toronja, antes de la extracción de su jugo.
<p>Clasificadora</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Programa para el control de la máquina por medio de una PC, así como tarjetas para activar las salidas digitales• Este tipo de máquinas pueden tener de 1 a 8 líneas corriendo cada línea hasta 18 charolas por segundo, y el sistema de salidas digitales puede crecer hasta 40•



EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
<p>Exprimidor</p> 	<ul style="list-style-type: none">• La máquina posee además un depósito refrigerado y un sensor de nivel del jugo. La exprimidora mantiene constante la cantidad de zumo de naranja y llena automáticamente el depósito cuando baja el nivel del jugo.• Producción de 410 a 450l/hr• Está configurado para funcionar como un grupo autónomo de exprimido, ya que está dotado de un alimentador automático de naranjas con tolva de recepción, carro receptor de cortezas y según opción de diferentes cabezales de exprimido intercambiables, lo que le permite operar con un amplio rango de calibres (desde calibre 2 a calibre 11).
<p>Filtro</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Es ideal para los procesos de filtración de líquidos donde se requiere de procesos continuos o ciclos largos, y alto contenido de sólidos en suspensión.• Presentan las siguientes ventajas:<ul style="list-style-type: none">-Gran área de filtración-Resultan más económicos el permitir el uso de filtro-ayudas-Para líquidos con alto porcentaje de sólidos.
<p>Pasteurizador</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Equipo para pasteurizar jugos de fruta y néctares.• Con configuraciones tubular en los intercambiadores.• 100 a 5,000 Litros/hora
<p>Equipo de pulsos eléctricos</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Incluye una fuente de potencia, un banco de captación, un interruptor, la cámara de tratamiento, sondas de corriente y de temperatura y un equipo de envasado aséptico.



EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
<p data-bbox="217 367 384 394">Envasadora</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="826 367 1374 595">• Llenadora automática al vacío diseñada con alta tecnología para llenar toda clase de productos líquidos sin gas, almíbar, vinagre, salmuera, salsas, compota de frutas etc., en envases de vidrio, plástico ó metal. material acero inoxidable.<li data-bbox="826 633 1374 696">• Producción hasta 22,800 envases por hora.

Fuente: Imágenes de diferentes equipos tomados de empresas: JERSA, LOURO, TIU, ZAMA, COLUMBIA, AGINSA, MAPISA-FRINGS.

3.12.6. Costos de la aplicación de la tecnología emergente

Los equipos para el procesado industrial de alimentos por pulsos eléctricos están todavía emergiendo en el mercado y tienen actualmente un alto costo, debido a que esta tecnología se encuentra en fase experimental, los pocos equipos con los cuales se cuenta, la mayoría son a nivel piloto.

Por ahora, la mayoría de los equipos que se han fabricado relacionados con esta tecnología han sido utilizados en investigación. Algunos equipos comerciales ya han recibido la aprobación de la FDA estadounidense y están actualmente en el mercado para procesar zumos frescos. Pero los jugos tratados por pulsos eléctricos que son comercializados en Estados Unidos, y su precio supera al de otros productos similares.

3.12.7. Beneficios y limitaciones de cada tecnología emergente propuesta

Beneficios

- Inactivación de enzimas como pectinesterasa en el jugo de naranja
- Mejora las características sensoriales reteniendo nutrientes y aromas, dando a los alimentos procesados un aroma y textura de aspecto fresco.
- Se obtiene un jugo más seguro microbiológicamente hablando, sin un aumento importante de la temperatura del producto. Esto último aporta además la ventaja de que la pérdida de nutrientes o los cambios sensoriales (aromas, sabores) son mínimos en el producto.
- El bajo costo de mantenimiento del equipo (posibilidad de instalar la metodología en líneas de procesado existentes)



Limitaciones

- Este sistema no se encuentra con facilidad en la industria, debido a lo relativamente reciente de su aplicabilidad. Por el momento aún está en fase experimental.
- El jugo tratados por pulsos eléctricos existentes en el mercado estadounidense, se venden en envases es de vidrio y refrigerados, y su precio supera al de otros productos similares.
- Restricción en su aplicación (limitado a fluidos y/o productos constituidos por partículas pequeñas), y su coste, actualmente bastante elevado.



Capítulo 4. Pulsos luminosos



4. Pulsos luminosos

4.1. Historia y generalidades

El tratamiento de Luz pulsada implica el uso de un flash de la luz de alta intensidad con el fin de eliminar microorganismos en la superficie del alimento o de los materiales de empaquetado. Este procedimiento, desarrollado bajo nombre comercial PureBright (PurePulse Technologies, Inc., San Diego, California, los EE.UU.), utiliza un espectro ligero que contiene las longitudes de onda que se extienden de ultravioleta a cercano-infrarrojo (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

El espectro ligero generado con el uso de este equipo es similar al de la luz del sol que alcanza la superficie de la tierra. El pico de la intensidad está en la región azul-violeta y el espectro de PureBright contiene las longitudes de onda en la región de 200 a 300 nanómetros, que no están presentes en la luz del sol que alcanza la superficie de la tierra. La luz del sol, por otra parte, tiene más radiación en la región infrarroja que PureBright. La intensidad de PureBright es 20 000 veces de luz del sol midieron en la superficie de la tierra. Los flashes intensos de la luz producidos por el sistema de PureBright se utilizan en la destrucción de microorganismos (Ahmed y Singh, 2001).

Este método no térmico de conservación de alimentos supone la utilización de pulsos intensos y de corta duración del amplio espectro de luz blanca. La tecnología de pulsos lumínicos es aplicable mayoritariamente en la esterilización o reducción de la población microbiana en las superficies de los materiales de envasado, en el equipo de envasado y procesado, en alimentos. Así como en muchas otras superficies. Tradicionalmente el material de envasado utilizado en el procesado aséptico es esterilizado con peróxido de hidrógeno. Los residuos de peróxido de hidrógeno en el material de envasado o en el producto alimentario pueden ser altamente indeseable. Los pulsos lumínicos se pueden utilizar para reducir o eliminar la necesidad de desinfectantes y conservantes químicos (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

4.2. Fundamentos y definiciones

Fundamento

Es un tratamiento no térmico basado en destellos intensos de luz blanca, radiación no ionizante, que tiene efecto letal sobre los microorganismos. Bajo tiempo de exposición (menor alteración química y sensorial del producto.)

Y que puede ser aplicada sobre el producto envasado (Bald- Garmedia, 2000).



Definición

Pulsos de luz blanca, con fines propios de una esterilización a base de haces de luz con un espectro de longitudes de onda que incluye desde el ultravioleta hasta el infrarrojo próximo. Los pulsos a emplear han de ser de corta duración (entre una décima y una micra de segundo) y bastante intensos (de 1 a 20 flashes por segundo). De este modo se pueden inactivar un amplio rango de microorganismos que incluye esporas bacterianas y hongos (Bello, 2000).

La fluencia es una medida de la energía lumínica incidente por unidad de área (J/cm^2) (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

4.3. Tecnologías y equipo de tratamiento con pulsos luminosos

Pulse Bright utiliza una técnica conocida como procesado con energía pulsada. Funciona almacenando energía eléctrica en un contenedor de almacenamiento de energía eléctrica de alta densidad y liberándola en pulsos cortos de alta intensidad, se pueden generar niveles de potencia con máximos altos. Tales pulsos de potencia con máximos altos de energía eléctrica pueden utilizar para crear pulsos intensos de luz o pulsos de campo eléctrico elevado. La energía almacenada pulsa una lámpara de gas inerte para producir un destello intenso de luz duradero sólo unos pocos cientos de microsegundos (Dunn y Ott, 1995).

Los pulsos de luz intensa cortos o destellos se pueden genera con lámparas de destello llenas de gas pulsadas, son aparatos de descarga de chispa al vacío, u otras fuentes de luz pulsada. Las lámparas de destello llenas de gas pulsadas producen una amplia banda de luz cuando un pulso de corriente eléctrica se descarga a través de la lámpara (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

La corriente ioniza el gas, dando un destello de luz blanca con un amplio espectro conteniendo longitudes de onda desde 200 nm en el UV hasta 1 mm en el infrarrojo cercano (Figura 30) (Dunn y Ott, 1995).

El sistema Puré Bringht de generación de pulsos luminosos consiste en dos partes principales: la unidad de potencia y la unidad de la lámpara. La unidad opera convirtiendo la potencia AC del voltaje de cable en potencia DC de alto voltaje (Figura 31). La DC de alto voltaje se utiliza para cargar un condensador. Una vez cargado el condensador hasta el punto programado, un interruptor de alto voltaje descarga la energía lumínica desde el condensador a las lámparas. Las frecuencia de encendido de la lámpara se puede controlar con un controlador interno o conectado con el controlador de la maquina de envasado (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

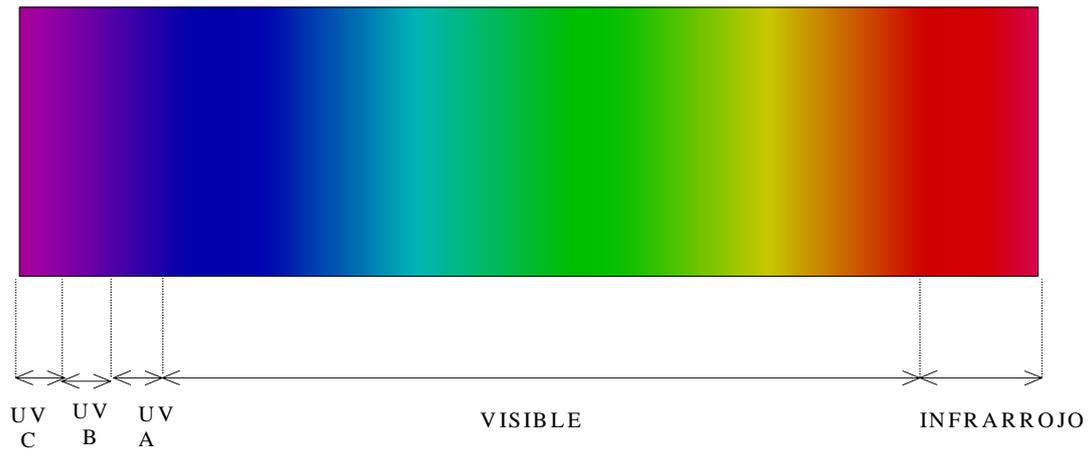


Figura 30. Espectro de luz del sistema Puré Bright (200 - 1000 nm)

Fuente: Bald Garmedia (2000).

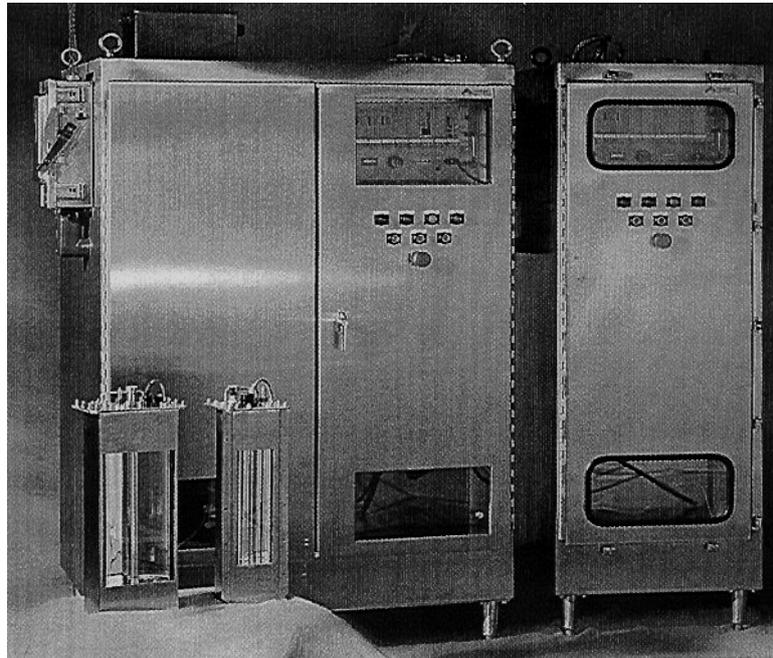


Figura 31. Sistema PBS serie PureBright.

Fuente: Barbosa – Canovas *et al.* (1998).

La unidad de la lámpara consiste en una o más lámparas de gas inerte dispuestas para iluminar un área de tratamiento deseada. La unidad de la lámpara está conectada a la unidad de potencia por un cable de alto voltaje. Para que la lámpara produzca un destello, se aplica un pulso de alta intensidad y alto voltaje. La alta intensidad pasa a través del gas contenido en la lámpara emite un pulso de luz intenso. La frecuencia de destello se selecciona para cada proceso en particular o para cada línea de envasado.



Se puede utilizar más de una lámpara, y las lámparas pueden emitir los destellos simultáneamente o de forma secuencial. El paso del producto a través de una zona de sensor de disparo se puede utilizar para controlar los pulsos de la lámpara de destello. (Figura 32).



Figura 32. Sistema para el tratamiento de alimentos con pulsos luminosos
Fuente: Anónimo (1994).

Durante el procesado con pulsos de luz, la energía eléctrica se almacena en un condensador para posteriormente ser liberada muy rápidamente a una lámpara de Xenón (Figura 33). Esta lámpara emite entonces un flash de luz intenso que es transmitido a la superficie del producto que se encuentra en la cámara de tratamiento.

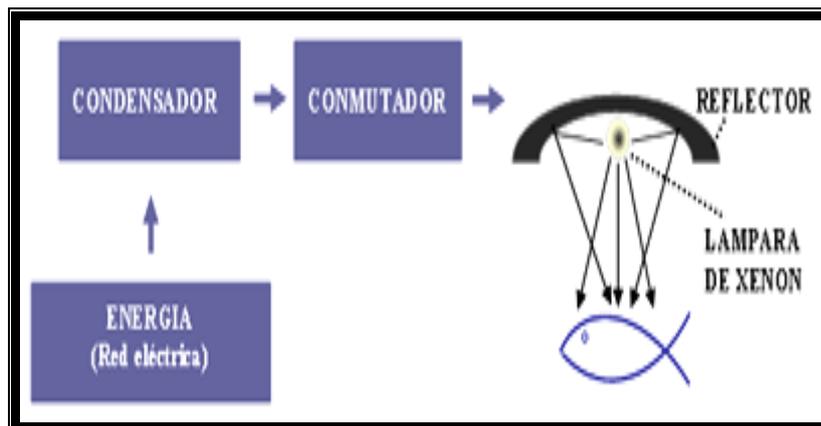


Figura 33. Proceso con pulsos de luz
Fuente: Lasagabaster (2006).

El tratamiento mediante luz pulsada consiste en la aplicación de sucesivos pulsos de luz donde el espectro de luz emitida se extiende de 200 nm (ultravioleta) a 1000 nm (infrarrojo próximo). Cada pulso de luz tiene una duración de 325 μ s



aproximadamente. El pico de energía de cada pulso es alto debido a su corta duración, pero el requerimiento energético total de este proceso es moderado, por lo que el tratamiento mediante pulsos de luz podría considerarse económico (Lasagabaster, 2006).

6.4. Efectos sobre los componentes químicos de los alimentos.

Actualmente no se han realizado estudios sobre los efectos que pueden llegar a tener los componentes químicos en los alimentos, como son las proteínas, vitaminas, carbohidratos, así como en sus propiedades organolépticas. Debido a que esta tecnología es relativamente nueva, en la industria alimentaria. Por lo mismo sigue en fase experimental, y tal vez en algunos años se vuelva una tecnología lista para su aplicación a nivel industrial, ya conociendo a fondo sus beneficios y limitaciones específicamente sobre sus componentes químicos y si se vuelve viable o no (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

Los pulsos lumínicos aparentemente no afectan la retención de nutrientes en alimentos aunque no se halla disponible un estudio detallado. Por lo tanto es necesario realizar estudios de los efectos de los pulsos lumínicos en las propiedades de los alimentos además del deterioro y seguridad de los mismos.

6.4.1. Enzimas

En hortalizas y frutas como papas, plátanos y manzanas pueden sufrir pardeamientos enzimáticos. El pardeamiento es causado por la polifenoloxidasas y los sustratos flavonoides presentes en muchas frutas y hortalizas. La polifenoloxidasa se puede inactivar utilizando pulsos lumínicos. Rodajas de papas cortadas y expuestas en un lado a pulsos lumínicos retienen su apariencia fresca. Sin embargo la superficie no expuesta experimenta pardeamiento (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

La actividad de fosfatasa alcalina, que cataliza la hidrólisis de ester de fosfatasa, se reduce en un 60-70% con un simple destello de luz con el espectro completo a una fluencia de 1 J/cm^2 . Sin embargo un destello de luz con espectro filtrado es mucho menos efectivo en la reducción de la fosfatasa alcalina (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

Asimismo, han demostrado inactivar también algunos sistemas enzimáticos mediante mecanismos relacionados con efectos fotoquímicos. En este sentido, se inactiva la enzima polifenoloxidasa de verduras y frutas, evitando así su actividad sobre los polifenoles y en consecuencia el pardeamiento enzimático (Lagunas– Solar, 2006).



6.5. Efectos de los pulsos luminosos sobre los microorganismos

Los efectos antimicrobianos obtenidos utilizando luz pulsada con los que se obtienen utilizando fuentes no pulsada u ondas convencionales UV continuas muestran una inactivación significativamente más alta para la luz pulsada²⁴.

Al tratar esporas de *Aspergillus Níger* con unos pocos destellos de pulsos lumínicos se obtiene una inactivación de más de 7 ciclos logarítmicos. En el caso de ondas de luz UV continua, después de una inactivación de 3 a 5 ciclos logarítmicos se observa una cola, el proceso se vuelve muy poco eficaz, y grandes aumentos en los tiempos de exposición de energía producen poco o no producen una mejora en la inactivación (Dunn y Ott, 1995).

El número de células bacterianas vegetativas se puede reducir unos nueve ciclos logarítmicos, mientras que la reducción de la población de esporas sólo alcanza siete ciclos logarítmicos. Con esta tecnología se ha conseguido reducción varias especies de bacterias e importantes: *Escherichia coli*, *Streptococcus aureus*, (Figura 34) *Bacillus subtilis*, *Salmonella spp*, *Listeria monocytogenes*, etc. (Bello, 2000).

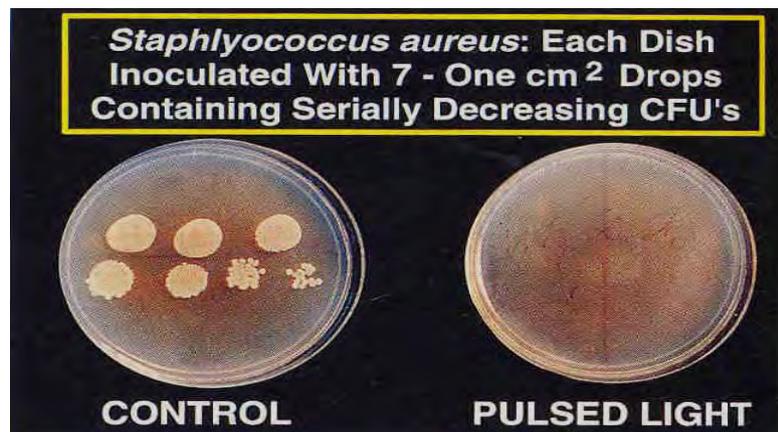


Figura 34. Aplicación de pulsos de luz en la reducción de *Staphylococcus aureus* tratamiento con 2 pulsos de luz de $0.72/\text{cm}^2$

Fuente: Rice (1994).

Una gran variedad de microorganismos incluyendo *E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis* y *S. cerevisiae* han sido inactivados utilizando 1 a 35 pulsos de luz con una intensidad

²⁴ En naranjas valencia tratadas el medio utilizado fue pulsos luminosos UV los resultados obtenidos son eliminación de los microorganismos, pero ocurrió daño en la piel como cambio de color (Lagunas– Solar, 2006).



CAPÍTULO 4. PULSOS LUMINOSOS

entre 1 y 2 J/cm². Con el proceso “Pure Bright” de PL la *salmonella* pudo ser reducida a dos ciclos logarítmicos en muestras de alas de pollos inoculadas con 5 ó 2 log/cm². La *listeria* también fue reducida a dos ciclos logarítmicos en salchichas (inoculadas con 3 ó 5 log/wiener) después del tratamiento con PL (Barbosa – Canova *et al.*, 1998). La exposición a los pulsos luminosos reduce las poblaciones de *listeria* y *salmonella* inoculadas en carne, con mínimos cambios en el contenido de nutrientes (Rice, 1994).

Otra investigación se realizó para conocer los efectos de luz UV 254 nm en poblaciones e *Salmonella enterica Typhimurium*, microorganismos aerobios y mohos en cáscaras de huevo. Se analizaron células de *S. Typhimurium* unidas en las cáscaras de los huevos, en un tiempo de 0 a 7 min., aplicando pulsos de luz UV de 620 JW/cm² en ambos extremos del huevo (Fueng- Lin y Carey, 1997).

La *S. Typhimurium* estaba perceptiblemente. Para estudios de bacterias y mohos diversos tiempos 0, 15, 30 minutos expuestos a UV en la intensidad de 620JW/cm². El moho en el huevo para todo el tratamiento UV tuvo una reducción del 99%, en cuanto a bacterias aerobias los resultados del tratamiento con UV pueden reducir perceptiblemente las poblaciones de estos microorganismos como de *Salmonella*, en los huevos con cáscara (Fueng- Lin y Carey, 1997).

La desinfección con pulsos luminosos (248-nm) de naranjas Valencia inoculadas con esporas secas de *Penicillium digitatum* 4 X 10⁴ CFU en una profundidad de 3 mm. La inoculación y tratamiento durante el mismo día, y se observaron después de 6 días en temperatura ambiente (22 a 23°C) (Figura 35).



Figura 35. Desinfección de naranjas Valencia aplicando pulsos de luz. Inoculadas con esporas *Penicillium digitatum*

Fuente: Lagunas – Solar (2006).



7.6. Ventajas y limitaciones de esta tecnología.

La tecnología que utiliza los pulsos luminosos cortos es una alternativa atractiva para la desinfección de materiales de envasado y en productos alimentarios envasados en envolturas transparentes. El calor generado en el proceso de pulsos luminosos es mínimo y los microorganismos se inactivan por una combinación de mecanismos fotoquímicos y fototérmicos (Barbosa – Canova *et al.*, 1998).

Los pulsos lumínicos aparentemente no afectan la retención de nutrientes en alimentos aunque no se halla disponible un estudio detallado.

Es necesario realizar estudios de los efectos de los pulsos lumínicos en las propiedades de los alimentos además del deterioro y seguridad de los mismos. Al comparar la eficacia energética de los pulsos lumínicos con la térmica y otros procesos no térmicos también resulta beneficiosa.

Puré pulse Technologies se asoció con Tetra Laval para comercializar el proceso puré bright. Los costes de tratamiento para pulsos lumínicos a 4 J/cm^2 , incluyendo la armonización del equipo, sustitución de la lámpara, electricidad y mantenimiento se estiman en 0.1centavo de dólar por pie cuadrado de área tratada (Anónimo, 1994).

Por ello los trabajos que se están realizando en cuanto a la optimización de esta tecnología y a la descripción detallada de los efectos de este proceso sobre los alimentos, podrían permitir en un futuro que este proceso fuese aplicado como alternativa a los tratamientos térmicos y químicos clásicos para mejorar la calidad y seguridad de estos productos así como aumentar la vida útil (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

Los productos alimentarios se pueden desinfectar con pulsos luminosos después de que se hayan colocado en materiales de envasado que sean lo suficientemente transparentes al espectro de tratamiento. El material de envasado debe transmitir al menos el 10 – 15% de la energía lumínica en un intervalo de longitud de onda de tratamiento predeterminado de menos de 320 nm (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

7.7. Aplicaciones de los pulsos luminosos en alimentos

Los pulsos luminosos pueden inactivar microorganismos en el material utilizado en el envasado del procesado aséptico, en alimentos líquidos, en alimentos sólidos como productos líquidos y pescados y en alimentos hechos al horno.



CAPÍTULO 4. PULSOS LUMINOSOS

El sistema Puré Bright puede reducir la población de microorganismos vegetativos en cerca de nueve ciclos logarítmicos, y la población de esporas se puede reducir en siete ciclos logarítmicos en una superficie lisa no porosa²⁵. En superficies porosas y complejas tales como carne, se obtienen una reducción aproximada de dos a tres ciclos logarítmicos. Las esporas de mohos antes que las esporas bacterianas son más resistentes a la luz UV (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998).

En cuanto a hortalizas tales como papas y tomates, frutas como manzanas y plátanos, y productos alimentarios preparados tales como pastas y platos de arroz se pueden tratar para aumentar su vida comercial.

En la tabla 9 se muestra las condiciones de aplicación de pulsos luminosos a diversos productos.

Tabla 9. Condiciones de aplicación de altas presiones

Alimento	Condiciones	Viabilidad	Referencias
Tomates frescos	8 destellos de luz de fluencia 1-2 Jcm ²	Los tomates frescos tratados con pulsos luminosos de Puré Pulse Technologies y almacenados bajo refrigeración permanecen aceptables durante 30 días	Caps (2003).
Leche de bovino	UV (248 nm) emitido de un láser pulsado excimer. Las muestras fueron expuestas a 25 J/cm ² . de 0.3 a 6.6 J/cm ²	No había ningún crecimiento observado los resultados indican que en principio, el contenido bacteriano de la leche puede ser controlado por la exposición a la luz UV de láser	Smith y Lagunas (2002)
Frutas frescas manzanas, Kiwi, limón, nectarinas, naranjas, melocotones, peras, frambuesas y uvas	Entre 1 y 20 pulsos luminosos de alta intensidad y corta duración	Puede proporcionar a escala comercial, alternativas eficaces, confiables, y viables sin residuo químicos de pesticidas	Lagunas – Solar (2006).

²⁵ La fundación del Instituto Americano de la Carne actualmente esta evaluando el proceso Puré Bringht como parte de un sistema de barreras en combinación con otros métodos tales como pulverización con ácido acético y lavados con agua caliente para reducir los patógenos de canales evisceradas (Anónimo, 1995).



CAPÍTULO 4. PULSOS LUMINOSOS

Alimento	Condiciones	Viabilidad	Referencias
Rodajas de pan blanco	1 y 20 pulsos luminosos	A través del material de envasado mantuvieron un aspecto fresco durante más de 2 semanas, mientras que rodajas de pan blanco no tratadas se vuelven mohosas	Rice (1994).
Productos granulares (hasta 5 mm de diámetro). <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Con rayos UV y en este caso se requirió de 58 J/cm ²	Se disminuyó la población microbiana en 7 ciclos logarítmicos	Fine y Gervais (2004).
Camarones	Cuatro a ocho destellos de luz policromática de fluencia 1-2 Jcm	Camarones tratados con luz pulsada y almacenada bajo refrigeración durante 7 días continúan siendo comestibles mientras que los no tratados muestran una degradación microbiana importante y están decolorados y huelen mal. Se obtiene una semana más de vida comercial.	Dunn y Ott (1995).

La exposición a los pulsos luminosos reduce las poblaciones de *Listeria* y *Salmonella* inoculadas en carne, con mínimos cambios en el contenido de nutrientes²⁶.

Entre tecnologías de descontaminación suaves para productos de alimentación, la aplicación de pulsos de luz UV, actualmente está siendo estudiado extensivamente ya que es un proceso patentado que somete microorganismos a pulsos ligeros de luz. Los resultados obtenidos de la destrucción de microorganismos con pulsos de luz UV, subrayan que la eficiencia depende de la dosis que reciban los microorganismos. En este caso la lámpara usada fue en 58 J/cm². De umbral, en estas condiciones se obtuvo alteraciones indeseables en el color de los productos mucho antes de que se llevara a cabo la inactivación microbiana. Ya que los rayos UV fueron demasiados extensos (Fine y Gervais, 2004). (Figura 36).

²⁶ Se realizó un estudio para evaluar la eficiencia de los pulsos luminosos sobre la destrucción de microorganismos y determinar parámetros de tratamiento como nivel de energía, actividad de agua y la calidad final del producto, para la optimización del proceso (Fine y Gervais, 2004).

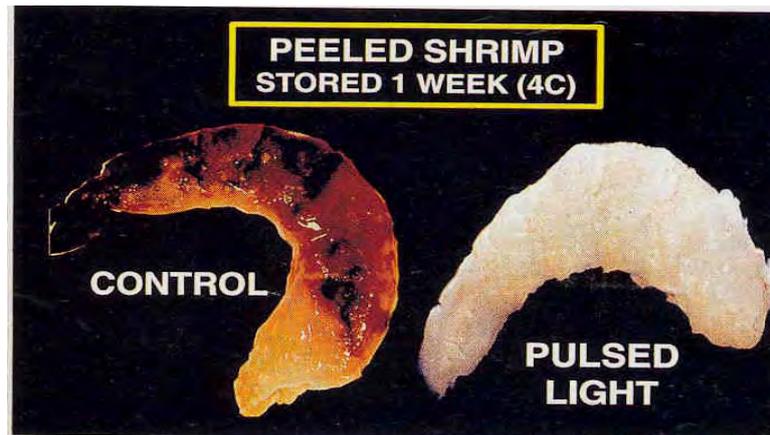


Figura 36. Aplicación de pulsos luminosos en la extensión de la vida de anaquel de camarón después de una semana de almacenamiento a temperatura de 4°C

Figura: Rice (1994).

Pueden ser utilizados los pulsos luminosos para eliminar o al menos reducen la población microbiana de diversas superficies de alimentos, de envases, de equipos etc., también para evitar o minimizar el empleo de los desinfectantes químicos (Bello – Gutiérrez, 2000).

A causa de preocupaciones que unos microorganismos potencialmente peligrosos que pueden sobrevivir a la pasteurización por calor convencional de la leche y porque las altas temperaturas que se requieren para pasteurizar la leche afecta la comerciabilidad la capacidad, la eficiencia y si se llega a pasteurizar en frío la leche puede hacerse más deseable.

Las técnicas de pulsos luminosos pueden proporcionar alternativas para la eliminación de microorganismos en frutos, sin que exista el riesgo de residuos químicos, siendo un método eficaz, confiable y viable a los pesticidas químicos. Ya que estos pueden penetrar en la epidermis o localizarse en el tejido fino por medio de grietas o en las irregularidades superficiales (Lagunas - Solar, 2006).

Para la eficacia de desinfección máxima, fuentes coherentes Pulsos UV deben ser combinadas con reflectores que se dispersan, y las frutas deben ser manejadas para asegurar la exposición uniforme a rayos de incidente multidireccionales. Por lo tanto, PUV técnicas puede proporcionar a escala comercial, alternativas eficaces, confiables, y viables sin residuo químicos de pesticidas (Lagunas - Solar, 2006).



Las superficies de alimentos y de materiales de envasado son normalmente expuestas entre 1 y 20 pulsos luminosos de alta intensidad y corta duración²⁷. La corta duración de cada pulso permita la localización espacial de los efectos letales de los pulsos lumínicos en una capa fina, tal como la superficie del producto.

Los productos alimentarios se pueden desinfectar con pulsos luminosos después de que se hayan colocado en materiales de envasado que sean lo suficientemente transparentes al espectro de tratamiento (Caps, 2003).

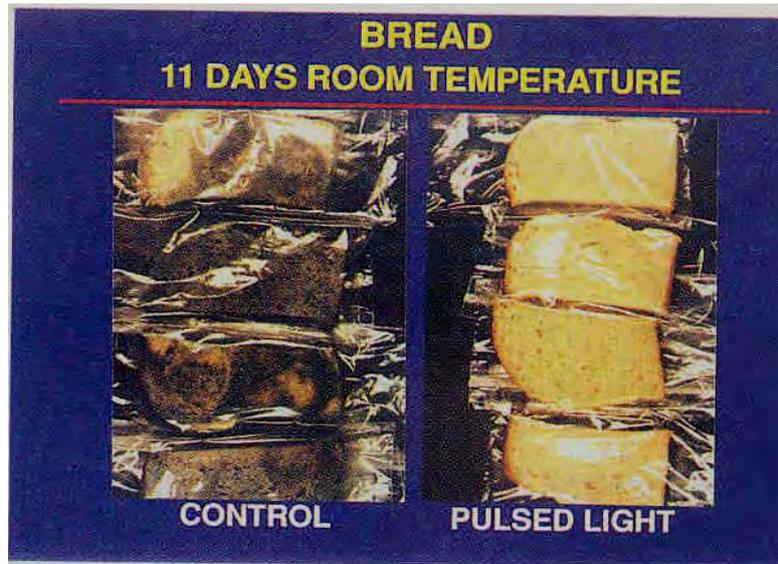


Figura 37. Preservación de pan con pulsos luminosos, en 11 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

Fuente: Rice (1994).

De modo análogo, rodajas de pan blanco tratadas través del material de envasado mantuvieron un aspecto fresco durante más de 2 semanas, mientras que rodajas de pan blanco no tratadas se vuelven mohosas (Rice, 1994) (Figura 37).

7.8. Legislación

Los pulsos luminosos, al igual que los pulsos eléctricos y las altas presiones son tecnologías relativamente nuevas, en particular los pulsos luminosos que es una tecnología que no cuenta con una legislación alguna, ya que al ser una tecnología muy

²⁷ El material de envasado debe transmitir al menos el 10-15% de la energía lumínica en un intervalo de longitud de onda de tratamiento predeterminado de menos de 320 nm (Caps, 2003).



reciente que se encuentra en fase experimental particularmente, no es adoptada por muchos países con el fin de comercializar productos tratados con esta tecnología.

La mayoría se encuentra realizando investigaciones como una nueva propuesta en un futuro no muy largo. Ya que todavía no se cuenta con las investigaciones necesarias para poder realizarla a nivel industrial.

En la unión europea entra dentro de los productos “novel food”, pero al igual son en los países donde más información se tiene sobre la implementación de esta tecnología, pero no han comercializado productos aplicando pulsos luminoso.

4.9. Propuesta tecnológica para la conservación de jitomate en fresco por pulsos luminosos.

4.9.1. Selección del producto de potencial económico

México ocupa el tercer lugar a nivel mundial como país exportador de jitomate, con volúmenes cercanos a las 600 mil toneladas anuales, la mayoría con destino a nuestro mercado natural: los Estados Unidos de América y actualmente a Japón.

A pesar de los altos estándares exigidos al jitomate mexicano por nuestros socios comerciales del norte, los precios altos en ese país resultan muy atractivos para nuestros exportadores. Además, con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), se establecieron normas de comercio, aranceles y plazos de desgravación especificados a nivel de fracciones arancelarias para las tres categorías en que está clasificado el producto mexicano.

México ocupa el décimo lugar a nivel mundial como productor de jitomate, pero es el tercer comercializador del producto en el mundo.

A un año del Tratado de Libre Comercio con Japón, el jitomate mexicano podrá llegar a la mesa de los nipones, ya que las Secretarías de Agricultura de ambos países resolvieron que la hortaliza nacional está libre de enfermedades que puedan afectar la producción asiática.

La producción de jitomate que se cultivan consta de una superficie anual aproximada de 78 mil hectáreas. (BANCOMEX, 2006). Japón importó en el 2006 5 mil 894 toneladas de jitomate de otros países por un valor de 16.4 millones de dólares.

México exportó en el mismo año más de 902 mil 515 toneladas de esta hortaliza, lo que representó divisas por el orden de mil 131 millones de dólares.

Por otra parte, gracias a los avances tecnológicos y a la ventaja que representa su



cercanía con la frontera estadounidense Sinaloa ocupa el primer lugar como productor de jitomate en México, pues el 40% de la producción nacional se cultiva en ese estado, seguido de Baja California, San Luís Potosí y Michoacán, estados que conjuntamente participan con el 30% del total nacional.

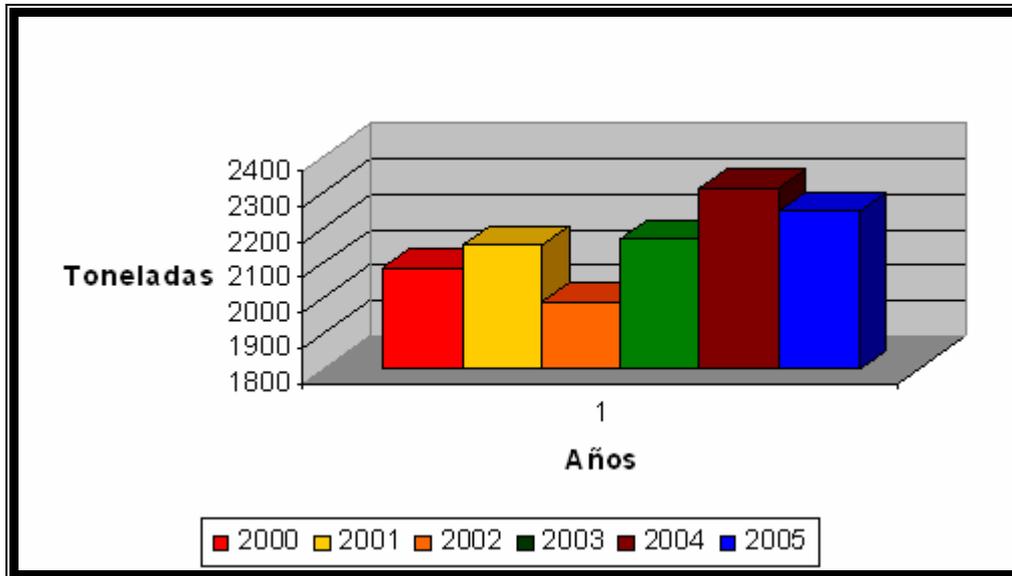


Figura 38. Volumen de producción de jitomate. (Miles de toneladas)

Fuente: SAGARPA (2006)

4.9.2. Implantación de pulsos luminosos en la conservación de jitomate en fresco

Pulsos luminosos

Otra opción para la conservación y alargamiento de la vida de anaquel de jitomate es aplicarle pulsos luminosos, ya que va a alargar su vida comercial así como conservara sus propiedades frescas, al igual que como al ser un producto de exportación, se evita muchas barreras, y aplicándole esta tecnología no sufre ningún tipo de daños por tratamientos térmicos de cuarentena, ya que al ser una tecnología no térmica, conserva sus características originales.



4.9.3. Descripción del proceso

Recepción: Cuando el jitomate llega a la empacadora puede descargarse manual o mecánicamente a los tanques de lavado o maquinas lavadoras. El jitomate puede llegar en cajas de campo o en cajones a granel. Cuando su destino es exportación, las operaciones de manejo son supervisadas por técnicos estadounidenses. Es descargado de forma mecánica a una banda donde se efectuará una primera selección.

Preenfriamiento: El preenfriamiento es un medio para remover el calor del campo, el propósito en si es hacer mas lenta la respiración del jitomate, disminuir la perdida de peso por transpiración, minimizar la susceptibilidad al ataque de organismos y disminuir la carga de refrigeración del transporte utilizado. El jitomate pasa por agua fría entre 2 y 10°C, para eliminar el calor de campo. O por medio de un equipo de hidroenfriamiento esta formado por un tanque grande con agua a baja temperatura 2 – 4°C, una bomba de alta capacidad para circular el agua a un sistema de aspersion y una banda transportadora para llevar el jitomate a la aspersora. Los preenfriadores que emplean aire son cuartos largos y angosto en los cuales el aire circula a velocidades de 200 a 400m/min y H.R. de 85-90%. La temperatura final del aire es de hasta 2°C y puede durar de 1 a 1.5 horas.

Limpieza: El lavado de los jitomates se hace con el fin de eliminar suciedad, polvo, insectos y residuos de aspersiones diversas como insecticidas, plaguicidas y antibióticos. Se adiciona un compuesto desinfectante para evitar la contaminación del producto. Soluciones cloradas a partir de hipoclorito de sodio o potasio a concentraciones de aproximadamente 2 ppm de cloro activo, reducen la cantidad de bacterias y hongos q trae consigo el jitomate.

Selección: los jitomates salen da la maquina lavadora y pasan a una mesa o plataforma con bandas transportadoras que, según los modelos están al mismo o varios niveles. En estas bandas se realiza la selección de la fruta. Los operarios colocan en una banda la fruta rompiente y en otra los jitomates deteriorados, mientras que por una tercera, situada generalmente al centro, circula el resto de la fruta. Los jitomates que no reúnen las condiciones necesarias para la comercialización como producto en fresco pasa directamente a unos depósitos en los que se retira del acondicionamiento.



Clasificación: Las frutas una vez en bandas transportadoras pasan hacia un equipo clasificador donde se acomodan de acuerdo al tamaño de los jitomates el equipo puede ser manual o automatizado. El calibrado se realiza mediante el contacto con tres puntos de la circunferencia del jitomate. Para ello penetra en la máquina por un alimentador de rodillos y pasa a la sección de clasificación propiamente dicha, formada por pares de rodillos recubiertos por goma.

Encerado: El encerado tiene una especial importancia si el jitomate presenta en su superficie pequeñas lesiones y rasguños que puedan ser sellados con cera. Las principales ceras que han dado mejores resultados en jitomates son Candelilla, flavorseal. Se pueden combinar con fungicidas o reguladores del crecimiento

Empacado: El envasado del jitomate se efectúa manualmente en cajas automáticas de cartón, cajas que vienen en forma de charoral con suaves y pestañas que indican los dobleces y cierres que deben efectuarse. En cada caja se acomodan 25kg de jitomate. Se efectúa a lo largo de unas bandas transportadoras con bandejas laterales en que se acumula el producto que es manejado por operarios.

Almacenamiento: El jitomate fresco no se almacena por largos periodos prolongados, usualmente se recomienda a 20 – 25°C en estado de madurez verde- madura para que obtengan un color rojo.

El almacenamiento refrigerado más adecuado depende de la susceptibilidad que se presenta al daño por frío, en el caso de l jitomate, es más resistente a las bajas temperaturas a medida que se encuentran en estados más avanzados de madurez. Por lo tanto los jitomates que se cosechan verdes, no maduran a bajas temperaturas inferiores a 12°C, si se les conserva a temperaturas inferiores a las indicadas, habrá que someterlos después a otras más altas por un periodo de 5 a 10 días o madurarlos con etileno. En una cámara de maduración con etileno a una concentración de 100ppm durante 48hrs a .25ft³ de etileno por hora.

La temperatura óptima, para el almacenamiento de jitomate en estado verde- maduro es de 14 a 16°C en la cual se retrasa la maduración, sin el aumento de problemas de descomposición y en donde en un periodo de 7 a 14 días se obtendrá la maduración aceptable.



Por lo tanto las medidas preventivas de cuarentena son muy importantes, al igual que el mantener la calidad física y química del fruto, para generar una mayor aceptación por otros países. Al aplicar el proceso convencional para la conservación y cuarentena de este fruto, se le aplica un fungicida, y una cera para evitar la antracnosis y formación de mohos. Con esto si no se tiene un control estricto en la utilización de este método, puede llegar a contaminarse químicamente el fruto, y así una pérdida total para la exportación.

Por lo tanto una buena opción para evitar la antracnosis y a la vez mantener una buena aceptación de los países por parte de los países a exportar, evitando la cuarentena y tener la seguridad que se va a enviar un fruto inocuo es implicándole pulsos de luz, de 8 destellos de luz de fluencia $1-2 \text{ Jcm}^2$ ya que así se eliminan etapas que son la aplicación de fungicidas y la aplicación de ceras, que no son muy seguras para el fruto.

Ya que los tomates después de pocos días son muy propensos a la formación de mohos en su superficie, incluso cuando son almacenados bajo refrigeración. Los tomates frescos tratados con pulsos luminosos de Puré Pulse Technologies y almacenados bajo refrigeración permanecen aceptables durante 30 días.

Con los pulsos de luz se tiene la certeza de que el fruto va a mantener sus características físicas y químicas intactas, y libres de microorganismos.

Al aplicar pulsos luminosos para inactivar microorganismos y alargar la vida útil del tomate, alarga su vida por más días y conserva mejor sus características fisicoquímicas y sensoriales. A comparación de la utilización de tratamientos térmicos donde se aplican altas temperaturas para tratar el producto y que pueden cambiar sus características originales, y puede originar daños por calor específicamente a la piel del fruto. Al aplicar los pulsos de luz se eliminan dos etapas en el proceso convencional, y de alguna manera el proceso se vuelve más rápido. Y conservando sus características naturales al igual garantizando la calidad y seguridad del producto.



4.9.4. Proceso tecnológico para la elaboración de cada producto

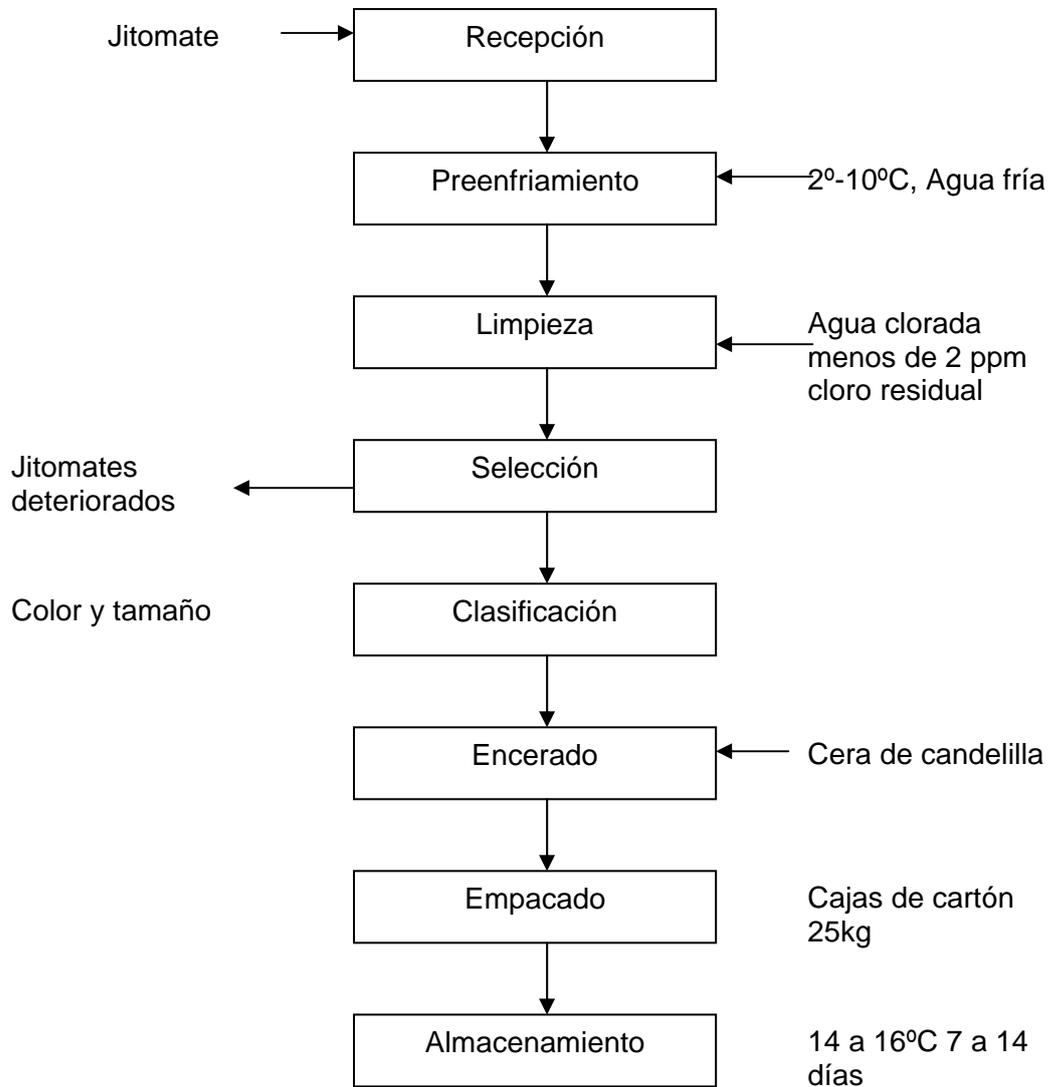


Figura 39. Diagrama de proceso de jitomate para exportación en fresco

Fuente: Ponce (1992)

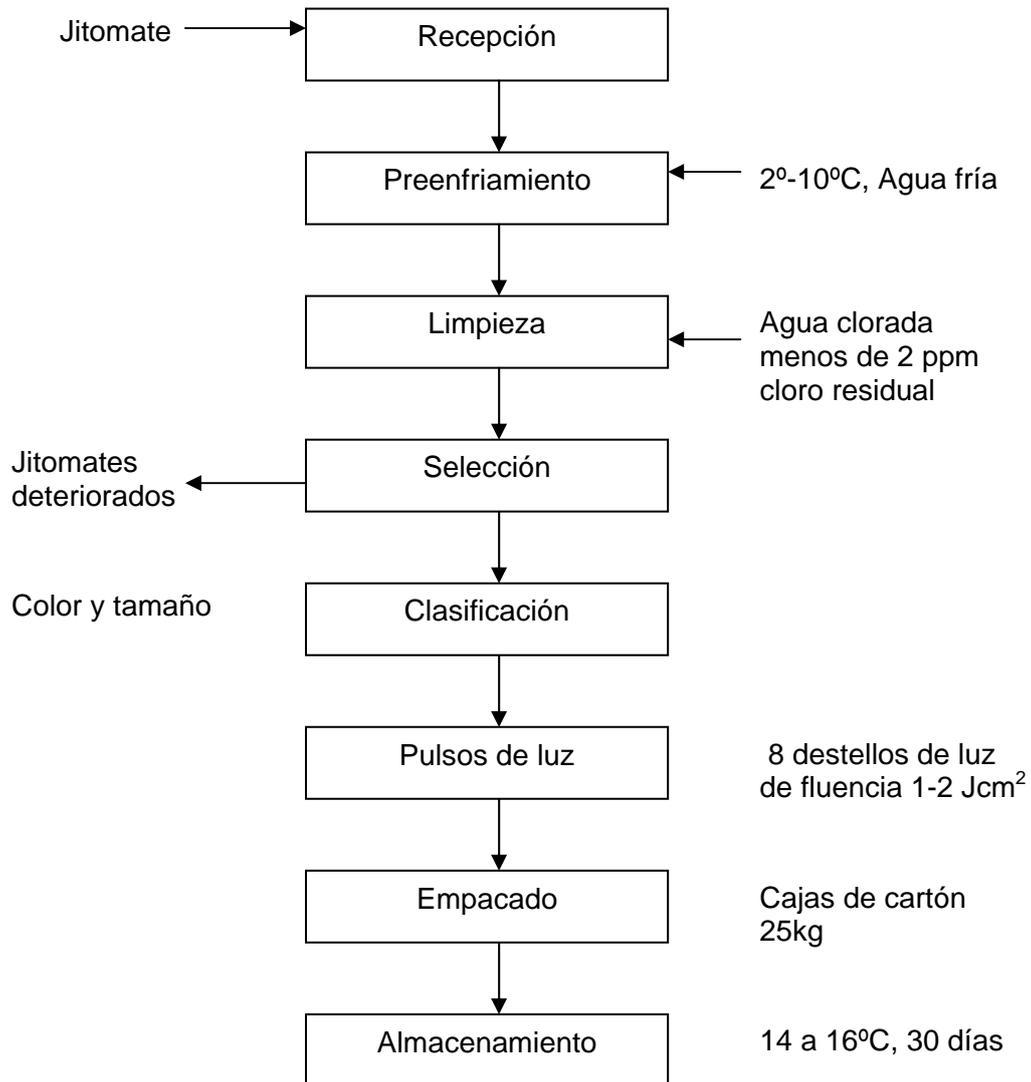
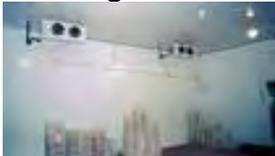


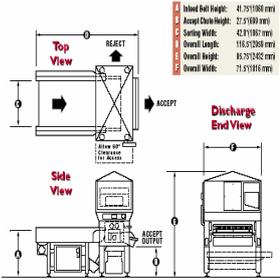
Figura 40. Propuesta tecnológica de jitomate para exportación tratado con pulsos luminosos



4.9.5. Equipos utilizados

EQUIPO	CARACTERISTICAS
<p>Volcadores de bins</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Utilizados para alimentar la línea de limpieza y selección.• Voltea el bins en 135°, por medio de cilindro Oleohidráulico• Motor de 2 HP
<p>Lavadora</p> 	<ul style="list-style-type: none">• La máquina está constituida por un cilindro de acero inoxidable con una cinta sin fin en el interior para transportar el tomate.• En el interior se encuentra una red de tubería que aspersa agua sobre el producto a limpiar. Abajo está montado un plano inclinado en acero inoxidable para recuperar el agua.• La periferia del cilindro tiene una serie de barras inoxidables especiales para detener las hojas y hierbas de la materia prima.
<p>Banda transportadora</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Con capacidad de producción de longitudes hasta de 72 pulg., y con coberturas RMA I y RMA II y de diversas clasificaciones, entre las cuales: Resiste el calor (más de 60° C)• Resistente a bajas temperaturas (menos de -50° C), Resistente a grasa,• Resistente al desgaste por roce, Destinadas a alimento y Encarrujadas.
<p>Cámara de refrigeración</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Cuarto aislado con placas de espuma rígida de poliuretano recubiertos de cartón asfáltico• El poliuretano es el mejor aislante térmico• Las vistas pueden ser de aluminio saturado o acero inoxidable que permite la minimización de transferencia de calor• Control de temperatura



EQUIPO	CARACTERÍSTICAS																		
<p>Mesa de selección</p> 	<ul style="list-style-type: none">• La estructura en acero inoxidable tiene los pies regulables en altura y tiene dos barandillas laterales para el personal de servicio.• La sección de regreso de la cinta es utilizada para el transporte del tomate descartado.• La máquina tiene un motoreductor independiente con cadenas laterales y cárter de protección.																		
<p>Clasificadora</p>  <table border="1" data-bbox="491 936 603 1014"><tr><td>1</td><td>Infeed Belt Length:</td><td>41.251100 mm</td></tr><tr><td>2</td><td>Accept Chain Height:</td><td>21.51930 mm</td></tr><tr><td>3</td><td>Sorting Width:</td><td>42.81987 mm</td></tr><tr><td>4</td><td>Overall Length:</td><td>116.51208 mm</td></tr><tr><td>5</td><td>Overall Height:</td><td>80.251342 mm</td></tr><tr><td>6</td><td>Overall Width:</td><td>71.51916 mm</td></tr></table>	1	Infeed Belt Length:	41.251100 mm	2	Accept Chain Height:	21.51930 mm	3	Sorting Width:	42.81987 mm	4	Overall Length:	116.51208 mm	5	Overall Height:	80.251342 mm	6	Overall Width:	71.51916 mm	<ul style="list-style-type: none">• Selecciona, mediante un sistema electrónico de elevada precisión, los tomates con tonalidades del color deseado y permite, descartar el producto del color indeseado o los eventuales cuerpos extraños del flujo de producto. El exclusivo sistema de expulsión electro neumática a paletas, ha demostrado ser el más eficaz para productos de medianas dimensiones, tales como los tomates industriales. Para productos de dimensiones inferiores como tomates pequeños o guindillas la expulsión se realiza mediante un potente y preciso chorro de aire.
1	Infeed Belt Length:	41.251100 mm																	
2	Accept Chain Height:	21.51930 mm																	
3	Sorting Width:	42.81987 mm																	
4	Overall Length:	116.51208 mm																	
5	Overall Height:	80.251342 mm																	
6	Overall Width:	71.51916 mm																	
<p>Enceradora</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Consta de cepillos para el reparto uniforme de ceras o fungicidas.• Construido en acero inoxidable.• La velocidad de rotación de cepillos regulable, cepillos de pelo mezcla 50% natural y sintético, preinstalación de barrendera y motorizada.• Bandejas de desagüe inclinadas de fácil limpieza.																		



Pure Bringht



- Generación de pulsos lumínicos consiste en dos partes principales: la unidad de potencia y la unidad de la lámpara. La unidad opera convirtiendo la potencia AC del voltaje de cable en potencia DC de alto voltaje.
- Funciona almacenando energía eléctrica en un contenedor de almacenamiento de energía eléctrica de alta densidad.

Fuente: Imágenes de diferentes equipos tomados de empresas: FRUTIMAQ, DANESSI, FMTECHNOLOGIES, BTYS, BUSCETTO.

4.9.6. Costos de la aplicación de la tecnología emergente

Como toda nueva tecnología, su aplicación requiere de un costo importante, en el caso de aplicar pulsos luminosos para conservar alimentos, no se estima la inversión que se requiera a nivel industrial, ya que esta tecnología se encuentra en investigación, y los datos que se llegan a tener están basados a nivel laboratorio. Y por el momento se encuentra lejos de poder aplicarla en la industria alimentaria. La inversión que se requiere actualmente en la tecnología de pulsos luminosos es importante para permitir más investigación para conocer más a fondo los efectos de la aplicación de esta tecnología sobre los alimentos esto a nivel sensorial y fisicoquímicamente.



4.9.7. Beneficios y limitaciones de la tecnología emergente propuesta

Pulsos luminosos

Ventajas

- Es un proceso muy innovador , eficaz en cuanto a inactivar microorganismos
- El calor generado en el proceso de pulsos lumínicos es mínimo
- Inactiva enzimas como la polifenoloxidasasa
- Tiene efectos antimicrobianos y es eficaz contra unas bacterias patógenas como *E.coli*, *salmonella*, *listeria*.
- Controla enfermedades causadas por hongos
- Aumenta su vida útil de productos frescos

Limitaciones

- Esta tecnología de pulsos luminosos como proceso de conservación de alimentos está lejos de aplicarse como tal en la industria alimentaría, ya que faltan por conocer muchos aspectos sobre su mecanismo de acción y sobre los efectos que produce en las características fisicoquímicas y sensoriales de los productos sobre los que se aplica
- Por ello los trabajos que se están realizando en cuanto a la optimización de esta tecnología y ala descripción detallada de los efectos de este proceso sobre los alimentos, podrían permitir en un futuro que este proceso fuese aplicado como alternativa a los tratamientos térmicos y químicos clásicos para mejorar la calidad y seguridad de estos productos así como aumentar la vida útil.

5. Discusión



5. Discusión

En la actualidad, el único método de conservación que simultáneamente garantiza la seguridad sanitaria de los alimentos es el calor. Sin embargo, recientemente se ha demostrado que diversas especies microbianas patógenas para el hombre son capaces de sobrevivir a los actuales tratamientos térmicos.

La aplicación de tecnologías alternas para pasteurizar y esterilizar alimentos sin calor como la irradiación, las altas presiones, los campos eléctricos, los pulsos de luz constituyen un potencial a ser explotado por la industria alimentaria. Su forma única de aplicación a bajas temperaturas hace de estas tecnologías una alternativa de sustitución de los procesos térmicos tradicionales utilizados en la pasteurización y esterilización de alimentos líquidos.

Los resultados de estudios experimentales han demostrado la eficacia y validación de estos métodos en la preservación y extensión de la vida de anaquel de productos alimenticios como: frutas, verduras, leche, huevos líquidos, jugos de frutos y yogurt carnes, entre otros (Barbosa –Canovas *et al.*,1998).

Es importante resaltar que adoptar una nueva tecnología innovadora depende de los beneficios al consumidor, las ventajas que represente para el productor y también de la situación general de la economía.

Al realizar un análisis de los aspectos técnicos lo primero que se debe mencionar es que la irradiación en los últimos años se ha utilizado cada vez más ya que reduce las pérdidas de productos agrícolas después de la cosecha causadas por la infestación, el deterioro por microorganismos. La irradiación es también importante para la seguridad alimentaria porque destruye los agentes patógenos transmitidos por vía alimentaria tales como *salmonella* y *E coli*. Además, puede prolongar la vida de anaquel de productos perecederos como las frutas, hortalizas, específicamente.

Irradiación

La irradiación es una tecnología segura que ha sido aprobada en más de 40 países en todo el mundo, además de ser avalada por organismos internacionales tales como la OMS. Esta tecnología no reemplaza a los procedimientos correctos de producción y manipulación de los alimentos. Por esto, la manipulación de los alimentos tratados con



irradiación, debe llevarse a cabo bajo las mismas normas de seguridad utilizadas para cualquier otro tipo de alimento.

Este procedimiento, no es ideal para todos los alimentos, como sucede con la leche u otros productos con un alto contenido de agua y grasas. En este sentido, esta tecnología tampoco puede mejorar la calidad de alimentos que no son frescos, ni tampoco prevenir contaminaciones que ocurran luego de la irradiación. Por todo esto, se entiende que la irradiación de los alimentos no es un proceso milagroso, pero es muy útil para mejorar la seguridad de algunos alimentos, siempre y cuando se utilice adecuadamente. En el caso particular de las exportaciones de frutas y hortalizas, ya que como requisito fitosanitario indispensable es que el producto se encuentre libre de plagas y para lograrlos se requiere de tener el producto en cuarentena o aplicarles tratamientos térmicos y esto retrasa los envíos de producto, así como en condiciones de frescura del fruto.

Aplicar irradiación particularmente se recomienda para productos frescos específicamente y de exportación, ya que como se discutió anteriormente es una tecnología de costos altos. Por lo tanto un producto de exportación tratado con irradiación remunera la inversión ya que va a garantizar la inocuidad y por lo mismo una mayor aceptación en cuanto a su entrada a otros países el producto. En cuanto a la población es una tecnología no muy aceptada ya que se tiene como mito que deja residuos radioactivos en el alimento, y esto genera cierta incertidumbre en la población ya que no tienen la información adecuada. A pesar de que existen muchos estudios indicando buena aceptación de alimentos irradiados por parte de los consumidores, los procesadores de alimentos, por lo general, han tomado una posición conservadora en la adopción de esta tecnología. Llegaron a la conclusión de que los productos irradiados, con el etiquetado obligatorio, serían evitados por los consumidores y podrían resultar en pérdida de ventas, publicidad negativa y pérdida de inversiones.

Hoy en día, hay varios ejemplos en donde los consumidores prefieren un producto irradiado al tradicional no irradiado. Un ejemplo son las fresas, en las cuales la irradiación prolonga la vida de anaquel de la fruta cruda. Las preocupaciones recientes sobre la inocuidad de los alimentos, ha atraído la atención pública hacia los beneficios potenciales del proceso de irradiación. Como resultado, algunos procesadores de alimentos están considerando otra vez la utilización de esta tecnología. Sin embargo sería necesario implementar campañas informativas sobre su beneficio y efectos en el alimento y la salud del consumidor.



Otra tecnología de importancia que se analizó fue el procesamiento por alta presión es la única tecnología alternativa de procesado que ha llegado al consumidor con una variedad de nuevos productos, y en el presente trabajo se presentaron numerosas oportunidades que se han comercializado y muchas otras que representan nuevas oportunidades para la industria de alimentos. La alta presión es una tecnología prometedora por tener una gran potencialidad. El futuro de esta tecnología depende también del éxito de los fabricantes de equipos para solucionar una serie de retos tecnológicos y obtener equipos con bajos costos de operación, de alta confiabilidad y con nuevas capacidades tecnológicas.

En este sentido, este futuro es prometedor pues la nueva generación de equipos permitirá procesos de presión a temperaturas elevadas, pero inferiores a las de esterilización convencional, con lo que se espera lograr la inactivación de esporas bacterianas.

Se recomienda utilizarse en diferentes tipos de alimentos ya que se adapta fácilmente a sus características, y conserva sus propiedades iniciales del producto. Ya que la conservación de la calidad y frescura de los alimentos tratados por presión se debe a que las condiciones presión-temperatura-tiempo que se usan ocasionan solo ligeros cambios químicos, por lo que no afectan sus propiedades sensoriales y nutricionales. Y garantiza la obtención de un producto inocuo y conservando sus características de frescura, al igual que se tiene la seguridad de que no se consumirán productos con aditivos químicos (Torres, 2004).

Diversos trabajos de investigación han confirmado las excelentes características de los productos por AP por lo que en muchos casos es prácticamente imposible distinguirlos de los controles sin tratamiento. Por lo que es una muy buena opción para consumir productos naturales libres de aditivos químicos y con la seguridad de obtener un producto inocuo libre de microorganismos (Torres, 2004).

En México esta tecnología es nueva y puede llegar a ser una muy buena opción al aplicar a productos para exportación, de esta manera se tendría una mejor aceptación ya que además de conservar libre de microorganismos y alargar su vida de anaquel, al no aplicarle altas temperaturas conserva una mejor apariencia el producto sin daños por calor. Y así tener una mejor aceptación del producto en otros países.

En cuanto a costos, los productos tratados con altas presiones aumentan su costo de productos, y por lo tanto podrían llegar a ser poco aceptados dentro del país. Para productos destinados al mercado de exportación sería una muy buena opción ya que otros países si podrían pagar por un alimento con estas características.



La tecnología de campos eléctricos pulsantes de alta intensidad es otra tecnología poco estudiada, pero al parecer esta lista para su aplicación a nivel industrial como se ha demostrado en pruebas a nivel de laboratorio y de planta piloto (García *et al.*, 2004)

Esta tecnología puede ser empleada como técnica de desinfección en el sentido de la definición dada en este trabajo, y no como de esterilización, pues la degradación de la actividad microbiana al esterilizar debe ser total y el caso de la conservación de alimentos podría mantener algún microorganismos que no fuera patógeno o que su acción favoreciera a la conservación del alimento.

Una desventaja frente a las anteriores tecnologías es que la mayoría de la información sobre la aplicación de campos eléctricos sólo esta aplicada a líquidos con pequeñas partículas, de forma tal que la homogeneidad del medio no permita la aparición de rupturas dieléctricas que degradarían la calidad del alimento (Bendicho *et al.*, 2001). Por lo que los alimentos sólidos que contiene burbujas de aire no son adecuados para un procesado con campos eléctricos debido a las potenciales rupturas dieléctricas en las burbujas. Por lo tanto es recomendable solo la aplicación de pulsos eléctricos en alimentos en fase líquida principalmente. Aunque en los últimos dos años la investigación ha avanzando ya se encuentran artículos de investigación aplicando esta tecnología en rebanadas de fruta y purés, específicamente en fresas (Juárez *et al.*, 2004). Esto quiere decir que en un tiempo no muy lejano se podría aplicar a todo tipo de alimentos, sin importar su estado físico.

En cuanto a costos la implementación de esta tecnología se considera un poco alto debido a que apenas esta emergiendo a nivel industrial. Por lo mismo, no lo encontramos con facilidad a nivel industrial debido a su reciente aplicabilidad. Sin embargo, se ha comprobado que la aplicación de esta tecnología conlleva un uso más eficiente de la energía que un tratamiento térmico convencional, por lo que en un tiempo corto podrá ser recuperado el capital invertido inicialmente en la planta industrial. Pero aun así las aplicaciones industriales de los pulsos eléctricos requieren un mayor número de estudios para garantizar la efectividad y seguridad del proceso, especialmente en alimentos tales como leche, por su elevada concentración de microorganismos y de enzimas que pueden deteriorar su calidad. De alguna manera se requiere determinar exactamente los parámetros críticos a la hora de aplicar el tratamiento y para así poder desarrollar nuevos equipos en los que se puedan llegar a tratar con éxito cantidades de producto suficientemente altas como para que puedan instalarse a nivel industrial.



A pesar de las limitaciones ya mencionadas, aplicar pulsos eléctricos a alimentos, ofrece un gran potencial en el tratamiento de diferentes alimentos, ya que se obtiene un alimento con características sensoriales y nutricionales muy semejante al producto de partida y en un futuro podría constituir una alternativa a la utilización de métodos con calor.

La aplicación de pulsos de luz es una prometedora tecnología para el tratamiento de alimentos, aunque aún se debe seguir investigando hasta poder llegar a su implantación en la industria alimentaria. Ya que se han realizado muchos estudios para determinar los efectos que producen los pulsos luminosos en los microorganismos y en menor proporción, se ha evaluado los efectos que puedan causar en otros componentes de los alimentos, como lo son en proteínas, vitaminas, carbohidratos etc.; así como si se llegan a tener cambios de importancia tanto en el color, como el sabor y la textura del alimento (Barbosa – Canovas *et al.*, 1998). Esta tecnología no puede ser llevada a nivel industrial, debido a que se encuentra a nivel experimental, y se requieren de mayores investigaciones para establecer sus beneficios y limitaciones, así como el diseño de equipo a nivel industrial.

Por tanto, además de continuar los estudios para llegar a determinar con mayor exactitud los factores que influyen específicamente en la inactivación de los microorganismos debe tenerse en cuenta la importancia de determinar el efecto sobre enzimas u otros componentes de alimentos y así observar la diferencia con otro tipo de tratamientos. Por otro lado, aplicar pulsos de luz para conservar alimentos, al igual que otras tecnologías es una muy buena opción, ya que inactiva microorganismos alargando la vida de anaquel de los productos, y manteniéndolos por más tiempo conservando sus características físicas y sobre todo no aplicando conservadores químicos que a la larga podrían ser dañinos para el organismo.

Esta tecnología de acuerdo a los estudios que se han realizado se puede decir que es recomendable aplicarse a todo tipo de alimentos, hasta el momento no se tiene información de alguna restricción hacia algún tipo de alimento. Por lo mismo que sigue en fase experimental. En cuanto a costos de implementar la tecnología, no se sabe bien a ciencia cierta ya que sólo se ha trabajado con esta tecnología a nivel de laboratorio, pero como toda tecnología al ser nueva se requiere de una fuerte inversión para poder instalar todo el equipo y hacerlo a nivel industrial, pero como toda tecnología su inversión se recupera en un lapso muy corto, ya que los productos que se tratan a base de estos productos tienen una mayor calidad que los convencionales.



Al aplicar nuevas tecnologías como las mencionadas en el presente trabajo, requiere de una importante inversión para su aplicación sin embargo los productos tratados bajo estas tecnologías aumentarían su valor a diferencia de los productos tratados por calor y además se consumiría un producto inocuo, fresco conservando sus características originales. Por lo tanto, se recomienda principalmente la aplicación de estas tecnologías a productos que sean para exportación, ya que no les pondrán tantas barreras sanitarias para su ingreso a otros países, ya que garantizan la inocuidad, y presentarían menores pérdidas para los productores, como es el caso de frutos frescos. Para los productos procesados también son una alternativa para alargar la vida de anaquel y evitar la pérdida de nutrientes.

En cuanto a las investigaciones que se han realizado de estas nuevas tecnologías, existen resultados contradictorios entre los resultados obtenidos, en soluciones modelo y en alimentos reales. En general, es necesario un mayor conocimiento de los mecanismos implicados en la respuesta fisiológica de los microorganismos a la acción de tecnologías de conservación naturales tanto aisladas, como combinadas, así como profundizar en el estudio del efecto del entorno del alimento en el que se aplican para conseguir diseñar combinaciones de factores de conservación más eficaces.

6. Conclusión



9. Conclusiones

Con base a la información científica y tecnológica presentada en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

1. La irradiación es una tecnología aprobada por el *Codex Alimentarius*.
2. En México esta técnica es de mucha utilidad en la exportación del mango.
3. La aplicación de irradiaciones ionizantes evita la pérdida de calidad al igual que la presencia de la mosca de la fruta y controla microorganismos alterantes.
4. Las altas presiones se utilizan principalmente en productos ya procesados en diversos países.
5. La aplicación de HHP en guacamole permite conservar sus características, sin cambios significativos en cuanto a sus propiedades organolépticas, y nutrimentos, aspecto fresco. E inactiva microorganismos y enzimas.
6. La aplicación de Campos eléctricos pulsantes es una opción para la comercialización de jugo, debido a que inactiva enzimas como: pectinesterasa, mejora las características sensoriales reteniendo nutrimentos y aromas, proporciona un aroma y textura de aspecto fresco y se obtiene un producto inocuo.
7. El uso de Pulsos luminosos permite alargar la vida útil y la conservación sin aplicar calor, en productos frescos.
8. Los pulsos luminosos aplicados en jitomate controlan la presencia de bacterias patógenas como: *Escherichia coli*, *Streptococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella spp*, *Listeria monocytogenes* y permite el control de enfermedades fúngicas.
9. El control del pardeamiento enzimático es otro de los beneficios que aporta el uso de esta tecnología, por lo que la implantación de los pulsos luminosos resulta una alternativa viable y de bajo costo.

7. Referencias



10. Referencias

1. Agroganado industrias y servicios. (2002). Disponible en: <www.aginsa.com>
2. Ahmed, E. y Singh, R. P. (2001). *Elementos técnicos. Tecnologías alimenticias no-térmicas*. Departamento de la ciencia y de la tecnología de alimento. La universidad de estado de Ohio Columbus. Disponible en: <www.fao.org/ag/aqs/aqsi/Nonthermal/nonthermal_1.htm>
3. Anónimo. (1994). Pure pulse teams up with tetra laval to commercialise pure bright. *Food Engineering*. 2(6), pp. 24-25
4. *Apoyos y servicios a la comercialización agropecuaria*. (2000). Disponible en: <www.infoaserca.gob.mx>
5. Bald Garmedia, C. (2000). *Nuevas tecnologías en la conservación de alimentos*. Departamento de tecnología de alimentos, fundación AZTI. Vizcaya España. Disponible en: <<http://www.iies.es/iie/comites/alimentacion/seguridad310501/ponencia4.htm>>
6. Bandas de Louro. (2006). Disponible en: <bandaslouro.com>
7. Bandas transportadoras y servicios. (2003). Disponible en: <www.btys.com>
8. Barbosa-Canovas, G., Pothakamury, UR, Palou E, Swanson BG. (1998). *Conservación no térmica de alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza España. pp. 273.
9. Barbosa-Canovas, G.V y Pothakamury, UR. (1999). *Preservation of foods with pulsed electric fields*. Editorial Academic Press. E.U A. pp. 191.
10. Barbosa-Canovas, G. Pothakamury UR, Palou E (2001). *Pulsed electric fields in food processing fundamental aspects and applications*. Editorial Technomic Publishing Company, Inc. pp 264.
11. Barbosa-Canovas, G., y Pothakamury UR. (2000). Conservación no térmica de alimentos. *Food Science and Technology International*. 6; pp 174.



12. Basak y Ramaswamy (2006). H.S. Pulsed high pressure inactivation of pectin methyl esterase in single strength and concentrated orange juices. *Journal of Food Engineering*. Vol.74. pp. 308–31
13. Bello Gutiérrez, J. (2000). *Ciencia bromatológica principios generales de los alimentos*. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid España. pp. 449-460.
14. Bendicho, S., Arantegui J. y Martín, O. (2001). Procesado de alimentos mediante pulsos eléctricos de alta intensidad de campo (efectos sobre microorganismos y componentes de los alimentos). *Revista Alimentaría*. **38**(323-324). pp 37-44.
15. Cano, M. P. y Hernández A. (1997). High pressure and temperature effects on enzyme inactivation in strawberry and orange products. *Journal Food Science*., **62** (1), 85-88
16. Casp Vanaclocha, A. (2003). *Procesos de conservación de alimentos*. Ediciones Mundi- Prensa. 2da. Edición, ciudad, pp. 471-486
17. Ceci, L.N. (1991). Effects of irradiation and storage on the flavor of garlic bulbs c.v. red. *Journal Food Science*. **56**(1), 44-46.
18. Centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (2004). El Instituto del Frío investiga sobre el tratamiento de altas presiones para diferentes alimentos. Disponible en: <www.csic.es/ott/rdcsic/rdcsicesp/rdal22esp.htm>
19. Centro Nacional de Energía Atómica. (2004). *Seminario de irradiación y calidad alimentaría de alimentos*. Disponible en: <www.caebis.cnea.gov>
20. Columbia filter Co. De México, S.A. de C.V. (2005). Disponible en: <www.ultrafiltracion.com.mx>
21. Comisión Europea. (1999). Alimentos e ingredientes alimentarios autorizados para el tratamiento con radiación ionizante en la comunidad.
22. Comisión FAO - OMS del Codex Alimentarius. (2003). Norma general CODEX para los alimentos irradiados.



23. Corporación industrial Uruapan. (2000). Disponible en: <www.tiu.com.mx>
24. Danessi. Tecnología de vanguardia en sistemas de refrigeración S.A. de C.V. (2005). Disponible en: <www.danessi.com>
25. Daoudi, L. (2004). *Efecto de las altas presiones hidrostáticas sobre el gazpacho y zumo de uva*. Tesis de doctorado en ciencia y tecnología de alimentos. Bellaterra España. pp.161.
26. De Ancos, B., González E. y Cano P. (2000). Effects of high pressure treatment on the carotenoid composition and the radical scavenging activity of persimmon fruit purees. *Journal Agric. Food Chem.*, **48**, 3542-3548.
27. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (2001). Comercialización de preparados pasteurizados a base de frutas obtenidos por medio de un tratamiento de pasterización a alta presión con arreglo al reglamento no. 258/97.
28. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (1997). Nuevos alimentos y nuevos ingredientes alimentarios
29. Diario Oficial de la Federación. (2006). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-022-FITO-1995. Servicios de tratamientos fitosanitarios a vegetales.
30. Dunn, J. y Ott, T. (1995). Pulsed light treatment of food and packaging. *Food Technology*. **49** (9). pp 95-98.
31. Equipo pos-cosecha. (2000). Disponible en: <www.rodeva.com>
32. Eshtiaghi, M., Knorr, D. y Estute, R. (1994). High pressure and freezing pretreatment effects on drying rehydration, texture and color of green beans, carrots and potatoes. *Journal Food Science*. **59** (6): 1168-1170.
33. Fabricantes de maquinaria frutícola. (2005). Disponible en: <www.frutimaq.profesionales.org>



34. Fine, F. y Gervais, P. (2004). Efficiency of pulsed uv light for microbial decontamination of food powders. *Journal of Food Protection*, **67**(4). 787–792.
35. Flachner C. D.. (1991). *Preservacion de frutas y hortalizas por irradiacion*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. UNAM.
36. Fmc Technologies. (2004). Disponible en: <www.fmctechnologies.com>:
37. Food machinery española, S. A. (2007). Disponible en: <www.fomesa.com>
38. Food service equipment y supplies. (2000). Disponible en: <www.zona-entreprise.com>
39. Fueng- Lin, K. y Carey, J. (1997). UV irradiation of shell eggs: effect on populations of aerobes, molds, and inoculated salmonella typhimurium. *Journal of Food Protection*. **60**(6) 639-643
40. García, Y., González E. y Acosta V. (2004). Uso de pulsos eléctricos en la conservación de alimentos. *Revista alimentaria*. (4). pp 39 – 43.
41. Gervilla Fernández, R. (2001). *Estudios de los tratamientos por alta presión hidrostática en la leche de oveja*. Tesis de doctorado en ciencia y tecnología de los alimentos. Bellaterra, España. pp.51
42. González-Aguilar, G.A. y Villegas-Ochoa, M.R. (2005). *Irradiación (uv-c) de mango fresco cortado y su efecto en la capacidad antioxidante*. Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Sonora. México. Disponible en: <<http://www.ciad.mx>>
43. Goonder, J., Braddock R. y Parish M. (1998). Inactivation of pectinesterase in orange and grapefruit juices by high pressure. *Journal Agric. Food Chem.*, **46**, 1997-2000.
44. Hendrickx, M. E. (2001). Ultra high pressure treatments of foods. *Food Engineering Series*. New York. E.U.A. 145-149.



45. Hernández, A., y Cano, P. (1998). High pressure and temperature effects on enzyme inactivation in tomato puree. *Journal Agric. Food Chem.*, **40** (1), 206-211.
46. Ho, S.Y. (1997). Effects of high electric pulses on the activity of selected enzymes. *Journal of Food Engineering*. 31. 69-84.
47. *Home of innovative solutions for functional foods and bioactive ingredients*. (2004). Disponible en: <www.OzScientific.com>
48. Hoover Dallas., Metrick C. y Papineau A. (1989). Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms. *Food Technology*., **43**(3), 99-107.
49. Houska, M., Strohalm J., Kokuroba K. y Totusek J. (2005). High pressure and foods—fruit/vegetable juices. *Journal of Food Engineering*., **77**, 386-398.
50. Howard, L.R., y Miller J.R. (1995). Microbiological, chemical, and sensory changes in irradiated pico de gallo. *Journal Food Science*. **60**(3). 461-464.
51. Industrial construcciones mecánicas S.R.L. Buscetto. (2005). Disponible en: <www.buscetto.it>
52. *Internacional Comisión on Non-ionizing radiation Protection*. (2006). Nombre del documento. Disponible en: <<http://www.icnirp.de>>
53. Iglesias, I., y Fraga, R. (2000). Conservación de ajos por irradiación. Principales resultados en los últimos 10 años. *Revista alimentaría*. (5). 55-59.
54. Juárez Goiz, J. y Villagomez, M. (2004). Conservación de puré y rebanadas de fresa por pulsos eléctricos de alta intensidad. *Revista Salud Pública y Nutrición*. No. 6. 20- 23.
55. Lagunas Solar, M.C. y Piña, C. (2006) Development of pulsed uv light processes for surface fungal disinfection of fresh fruits. *Journal of Food Protection*. **69** (2). 376–384.
56. Lasagabaster A. (2006). *Pulsed Lighted Technology*. AZTI-Tecnalia Portal de Tecnologías y Mercados del Sector Alimentario. Disponible en: <www.alimentatec.com>



57. Loaharanu, P. (1994). Status and prospects of food irradiation. *Food Technology* **48**(5): 124-131.
58. Lomeli, M. y Tamayo, R. (2000). UNAM – CCH. *Radiación no ionizante*. Disponible en: www.sagan-gea.org/hojared_radiacion/paginas/Radiacion_no%20ionizante.html
59. Maquinaria Jersa. (2005). Disponible en: www.jersa.com.mx
60. Maquinaria para la industria alimentaria. (2005). Disponible en: www.danmix.net
61. Maquinaria para procesos de alimentos. (2000). Disponible en: www.javar.com
62. Mezcladora Micron S.A. de C.V. (2005). Disponible en: www.micron.com.mx
63. Mitchel, E. G. ,y Mclauchlan, L.R. (1990) Effect of gamma irradiation on the carotene content of mangos and capsicums. *Journal Food Science*. **55**(4). 1185-1190.
64. Molins, R. (2001). *Irradiación de alimentos. principios y aplicaciones*. Editorial Acribia. Zaragoza España. pp. 185.
65. Muñoz, M, De Ancos, C. y Sánchez, C. (2006). Evaluation of chemical and physical (highpressure/temperature) treatments on the safety of minimally processed mung bean sprouts during refrigerated storage. *J. Food Prot.* (En prensa)
66. Narvaiz, P. (2000). *Irradiación de los alimentos sector alimentos-* Unidad de Actividad Aplicaciones Tecnológicas y Agropecuarias. Centro Atómico Ezeiza-Pcia. Buenos Aires- Argentina. Disponible en: www.nutrinfo.com.ar
67. Nienaber, U. y Shellhamme, T. (2001). High pressure processing of orange juice: kinetics of pectinmethylesterase inactivation. *Journal Food Science.*, **66** (2), 328-331.



68. Nienaber, U. y Shellhammer T. (2001). High pressure processing of orange juice: combination treatments and a shelf life study. *Journal Food Science.*, **66**(2) 332-337.
69. Oliveira C. (2007). Enciclopedia libre wikipedia. Disponible en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Fot%C3%B3n>>
70. Olvera R. (2007). Comunicación personal. Gerente de Aseguramiento de Calidad, Planta de irradiación Sterigenics.
71. Pluma, Luna, I. y Hernández, J. (1987). *Conservación de aguacate variedad hass en fresco para exportación*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. UNAM. pp 105
72. Ponce Bautista, L. (1992). *Algunos aspectos en el manejo postcosecha de jitomate (lycopersicum esculentum) de las variedades bola*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. UNAM. pp 115
73. Portal de Tecnologías y Mercados del Sector Alimentario. (2007). Nuevas tecnologías de conservación de alimentos. Disponible en: <www.Alimentatec.com>
74. Puertotas, E. y López, N. (2006). *Inactivación de levaduras implicadas en la alteración del vino mediante PEAV*. CTA magazine Disponible en: <www.cresca.upc.es/eba2005/docs/olga-martin.pdf>
75. Qin, B.L. y Pothakamury, U.R. (1995). Food pasteurization using high intensity pulsed electric fields. *Food Technology*. **49**(12). pp 55-60.
76. Raj Bajgai, T. (2006). Application of high electric field (hef) on the shelf-life extension of emblic fruit (phyllanthus emblica l.). *Journal of Food Engineering*. **74**: 308–313.
77. Ramos Novelo, J. (2003). *Perspectivas de la red de naranja 2003*. FIRA Banco de México. Dirección de Análisis de Cadenas Productivas y Servicios Técnicos Especializados. Disponible en: <www.cofemermir.gob.mx/uploadtests/11322.66.59.3.FIRA-NARANJA.pdf>



78. Raso, J., Calderón, M. y Góngora, M. (1998). Inactivation of *zygosaccharomyces bailii* in fruit juices by heat, high hydrostatic pressure and pulsed electric fields. *Journal Food Science*. **63**(6): 1042-1044.
79. Raventós Santamaría, M. (2005). *Industria alimentaria tecnologías emergentes*. Ediciones de la Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona España. pp. 246.
80. Revista mundo alimentario. (2000). Alimentos tratados con pulsos eléctricos. Disponible en: <www.alimentariaonline.com>
81. Revista de extensión tecnovet (1996). *Uso de radiaciones ionizantes en la preservación de alimentos*. Disponible en: (http://www.tecnovet.uchile.cl/CDA/tecnovet_articulo/0,1409,SCID%253D9399%2526ISID%253D446,00.html).
82. Reyes Saena, G. y Granados, Y. (1997). Sustentación del peritaje a jugos del valle S. A de C.V. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. UNAM. pp 182.
83. Richardson, P. (2001) *Tecnologías térmicas para el procesado de los alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza España. pp 258.
84. Rice, J. (1994). *Sterilizing with light and electrical impulses*. *Food Processing*. pp 66.
85. Rodríguez Perdomo, Y. (2003). *Dosimetría para los procesos por irradiación*. Investigador agregado, Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria. Disponible en: <www.censa.edu.cu>
86. Satin, Morton.(1992). *La irradiación de los alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza, 2da Edición. pp.175.
87. Secretaria de Salud. (1993). Norma Oficial Mexicana NOM- 033-SSA1-1993.



88. Sendra, F. (2005). *Tecnología de pulsos de luz*. Red de salud de cuba. INFOMED. Disponible en: <<http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/ultravioleta-morrillo.pdf>>
89. *Servicio de información Estadística Agroalimentaria y Pesquera* de SAGARPA. (2000). Disponible en: <<http://www.siea.sagarpa.gob.mx>>
90. Servicios y productos para la post-cosecha. (2005). Disponible en: <www.Decco-web.com>
91. SAGARPA. (2006) *El sector agroalimentaria mexicano: evolución, retos y perspectivas*. *Revista Claridades Agropecuarias*. Septiembre. 157. 18 – 23.
92. Silveira, A.C., Aguayo, E. y Artes, F. (2005). *Radiación UV-C y envasado en sala blanca, alternativas a la desinfección con cloro de melón “galia” mínimamente procesado en fresco*. Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería de Alimentos. Grupo de Posrecolección y Refrigeración. Cartagena España. 2005. Disponible en: <www.ipct.es>
93. Sing, H.R. y Oliveira, F.(1994). *Processing of food and process optimization*. USA, Disponible en: <www.cetmar.org/documentacion/wif/abstracts_es/Ohlsson_es.pdf>
94. Smith, W.L. y Lagunas Solar ,M. (2002). Use of pulsed ultraviolet laser light for the cold pasteurization of bovine milk. *Journal of Food Protection*. **65**(9): 1480–1482.
95. Sosa, D. (2006). *Pulsos eléctricos de alta tensión para conservación de alimentos y esterilización médica*. *Facultades de Medicina e Ingeniería – Univ. De la CEP*. Oriental del Uruguay. Seminario de ingeniería biomédica. Disponible en: <www.fing.edu.uy >
96. Tangwongchai, R., Ledward, D. y Ame,s J. (2000). Effect of high pressure treatment on the texture of cherry tomato. *Journal Agric. Food Chem*. **48**, 1434-1441.



97. Tapia, M., Alzadora, S. y Welti, S. (2000). *Minimally processed high moisture fruit products by combined methods: results of a multinational project. Food Engineering*. Ed. Chapman y Hall. Disponible en: <www.geocities.com/ohcop/radioniz.html>
98. Téllez, L., Ramírez, J. y Pérez, C. (2001). Aplicación de la alta presión hidrostática en la conservación de los alimentos. *Revista Ciencia y tecnología alimentaria*. **3**(2): 66-80.
99. Torres, J. A. (2004). *High pressure in the food industry: current challenge of research in the food high-pressure processing*. Department of Food Science & Technology, Oregon State University, USA. Memorias del congreso internacional de seguridad alimentaria. Disponible en: <<http://mcta.uat.mx>>
100. Torres, J.L., Blas, M. y García, A. (1998). Propiedades eléctricas de frutas y verduras: una revisión. *Revista Alimentaria*. **35**(295-296): 25-29.
101. Truong, T., Boff, J. y Min, D. (2002). Effects of carbon dioxide in high pressure processing on pectinmethylesterase in single strength orange juice. *Journal Food Science*. **67**. (8) pp. 3058.
102. Universidad VIGO de España. (2000). *Limites de exposición*, Disponible en: <<http://www.com.uvigo.es/asignaturas/ant/transparencias/4-1.pdf>>
103. Vega, Mercado, H. (1995). Plasmin inactivation with pulsed electric fields. *Journal Food Science*. **60**. pp 1143-1146.
104. Velásquez, G. Vázquez, P., y Torres, J. (2005). Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods. *Journal of Food Engineering* **67**., 95–112.
105. Welti, J., Vergara F. y López A. (1996). Minimally processed foods: state of the art and future. *Food Engineering*. Ed. Chapman & Hall, (EU). Disponible en: <www.geocities.com/ohcop/radioniz.html>



106. Willard, T. (2000). *Las tecnologías de elaboración protegen los alimentos*. Asociación Nacional de Elaboradores de Alimentos. Disponible en: < <http://usinfo.state.gov/journals/ites/0502/ijes/willard.htm> >
107. Zarazúa, A. y Ponce, P. (2002). *Situación y perspectivas del mango en México: el caso de los productos convenientes*. Innovación tecnológica. Chapingo, México. Disponible en: < www.chapingo.mx/.../ponencia/ponencias/Mesa%20I/Cartel/Situaci%F3n%20y%20perspectivas%20del%20mango....pdf >

