CNTA®

Centro Nacional de Tecnología y Seguridad Alimentaria
LABORATORIO DEL EBRO

Tecnologías emergentes de conservación de alimentos: Estado actual y perspectivas



Silvia García
CNTA. Área I+D+i
Resp. Dto. Tecnología de Alimentos
sgdelatorre@cnta.es



¿Por qué a principios del siglo XXI hablamos de nuevos sistemas de procesado y conservación de los alimentos?

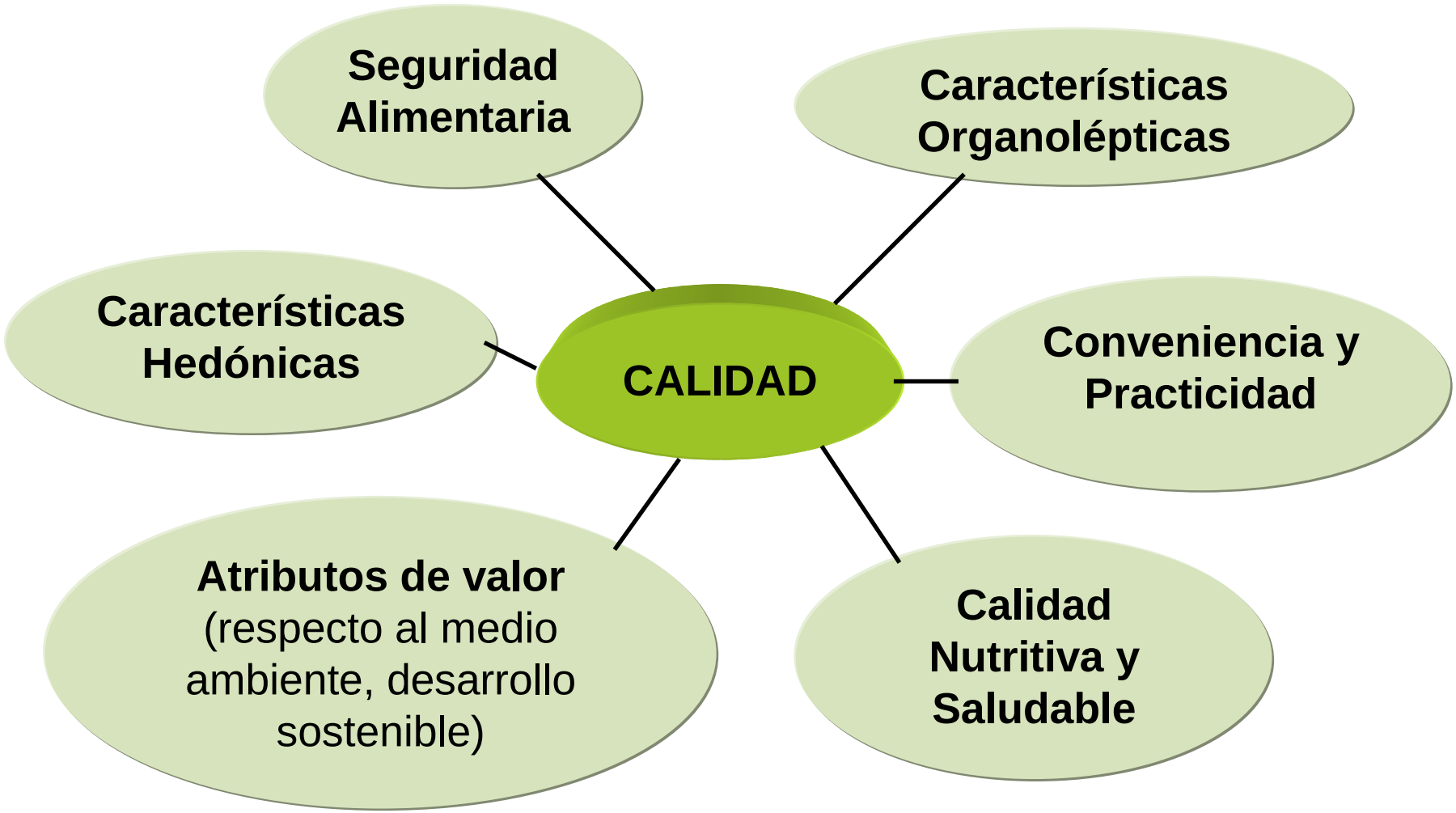
La innovación en alimentación







según recursos, capacidades, actitudes y entorno


Seguridad Alimentaria
Características Organolépticas
Características Hedónicas
CALIDAD
Conveniencia y Practicidad
Atributos de valor (respecto al medio ambiente, desarrollo sostenible)
Calidad Nutritiva y Saludable

Estrategias de conservación de alimentos

CALOR: Pasteurización, Esterilización en el envase, UHT, Escaldado



Ventajas:

- ✓ Alta eficacia en inactivación de microorganismos
- ✓ Elevada capacidad de inactivación enzimática

Inconvenientes:

- ✓ INESPECIFIDAD: cambios químicos en los componentes de los alimentos
- ✓ Desnaturalización proteica
- ✓ Pardeamiento no enzimático
- ✓ Pérdida de calidad nutritiva: vitaminas
- ✓ Pérdida de calidad sensorial: compuestos aromáticos volátiles
- ✓ Pérdida de funcionalidad

Nuevas tecnologías de procesado y conservación

Renovarse o morir…

Mayor calidad

- Elevada calidad sensorial y nutritiva
- Adecuados a nuevos hábitos
- Frescos
- Naturales
- Saludables
- Seguros
- Baratos

Industria alimentaria

Nuevos productos

Reducción costes energéticos

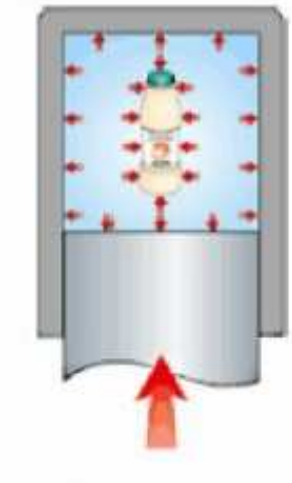
Mayor competitividad

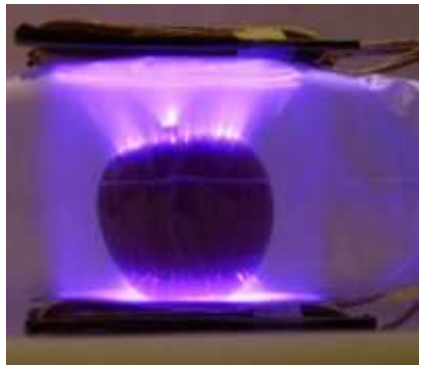
TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

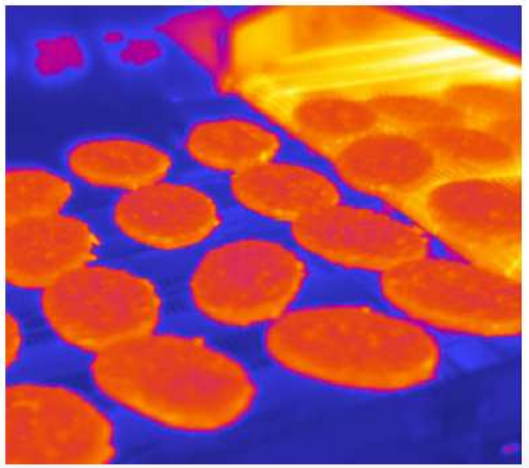
Tecnologías no térmicas: HPP, PEAV, UV, ultrasonidos, luz pulsada, plasma frío, radiación ionizante

Tecnologías de procesado térmicas: Microondas, radiofrecuencia, calentamiento óhmico

Tecnologías de envasado: Envasado activo, recubrimientos comestibles

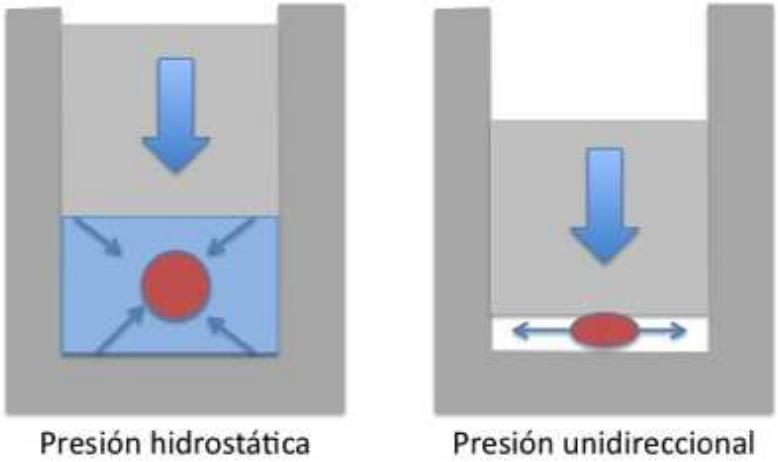


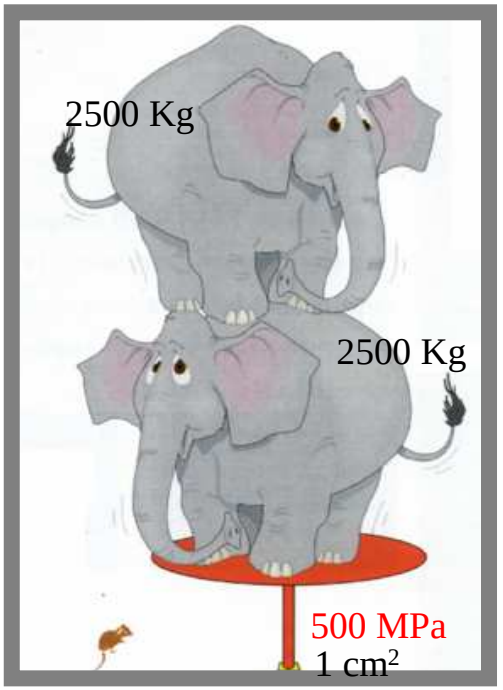




Procesado por Alta Presión

Someter al alimento a la acción de presiones hidrostáticas (agua) comprendidas en el rango de 100 a 1000 MPa durante un periodo de tiempo de 1-30 min





TEOREMA DE PASCAL

La presión ejercida sobre un líquido se transmite instantáneamente y con la misma intensidad en todas las direcciones y sentidos



La presión hidrostática es exactamente la misma en todos los puntos del medio.
No depende del tamaño ni de la forma del producto

PRINCIPIO DE Le Chatelier

Un aumento de presión favorece los procesos asociados con una disminución de volumen e inhibe los procesos asociados con un aumento de volumen



- No afectan a los enlaces covalentes, tampoco a los enlaces por puentes de hidrógeno
- Ruptura - modificación de enlaces iónicos y algunos hidrofóbicos
- Estabilización de enlaces por puentes de hidrógeno
- Cambios en las fases lipídicas, afectando a la estructura de membranas celulares

-**Moléculas de bajo peso molecular** responsables del color, olor y sabor de los alimentos no se ven afectadas
-**Moléculas de alto peso** moleculas sufren cambios: desnaturalización de proteínas, gelificación del almidón

EFECTO DEL TRATAMIENTO

Parámetros tratamiento	Características del medio de tratamiento
▪Presión hidrostática ▪Temperatura ▪Tiempo tratamiento ▪Fases compresión y descompresión ▪Líquido transmisor	▪pH ▪Actividad agua ▪Composición química

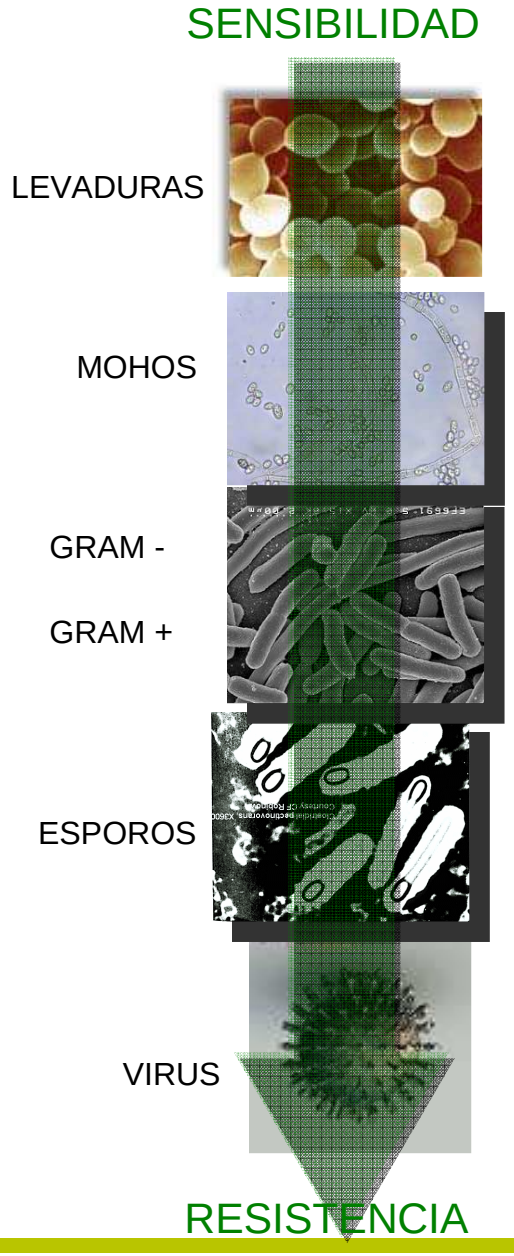
EFICACIA ANTIMICROBIANA

La alta presión puede inactivar microorganismos mediante la interrupción de sus funciones celulares

Sensibilidad

levaduras Gram - virus complejos mohos Gram +	Se inactivan a 200 - 400 MPa
ascosporas (mohos)	Se inactivan a 400 MPa
Byssochlamys	Resisten hasta 700 MPa / 15 min
esporos bacterianos	Resisten hasta 1200 MPa

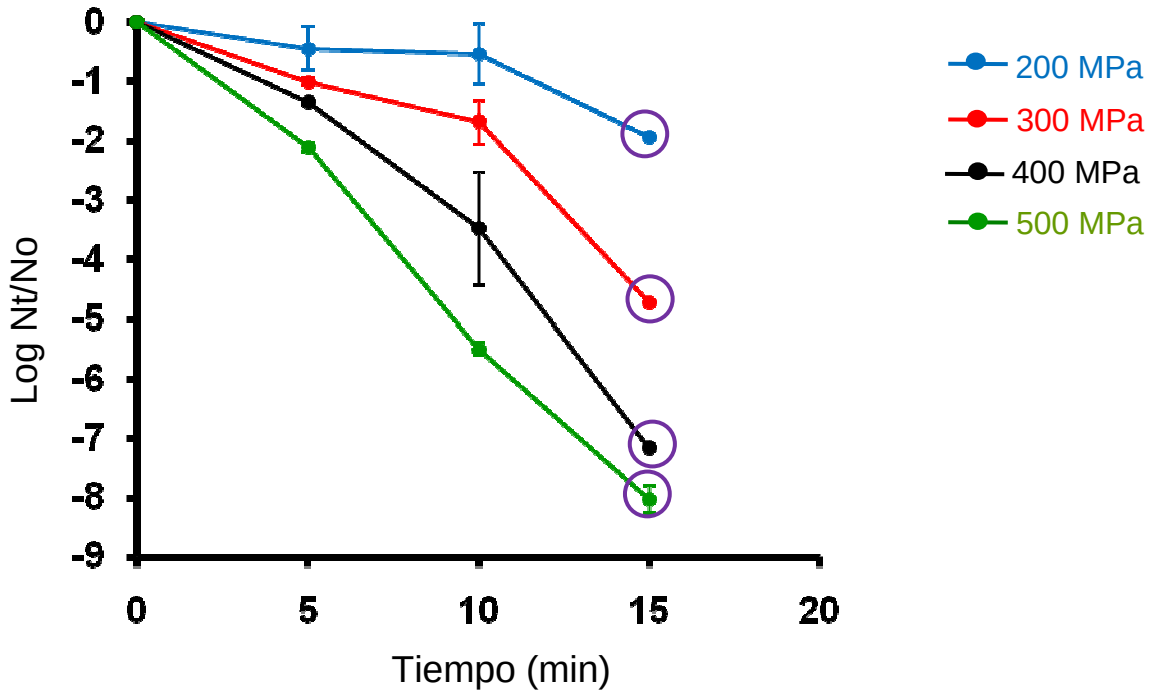
Resistencia



EFICACIA ANTIMICROBIANA

Intensidad de presión y tiempo

Salmonella senftenberg 775 W, huevo líquido

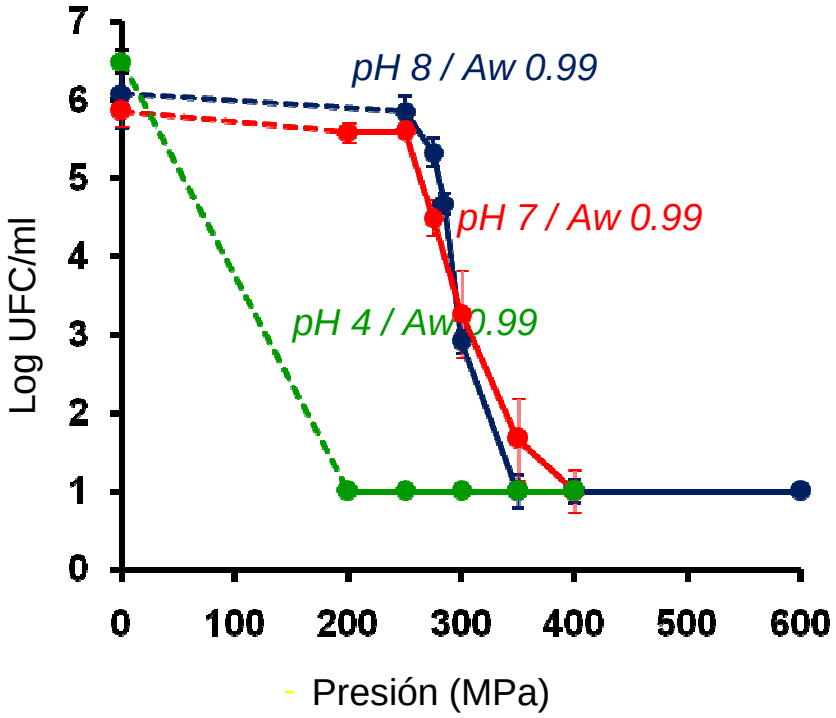


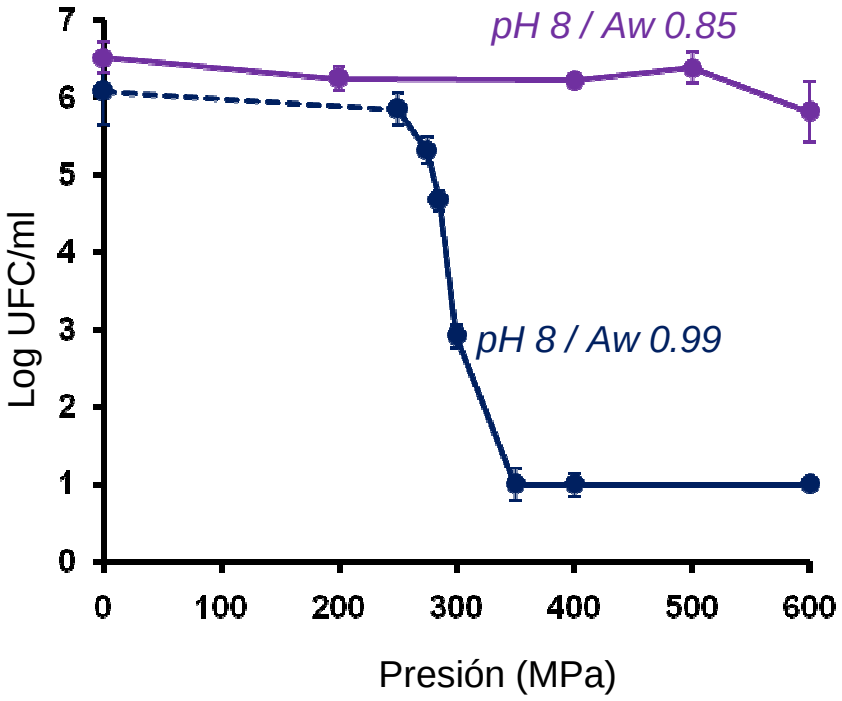
(CNTA, 2008)

EFICACIA ANTIMICROBIANA

pH y Actividad de agua

Listeria monocytogenes, 10 min, 20 ºC





(CNTA, 2009)

EFICACIA A NIVEL ENZIMÁTICO



MUY VARIABLE

- Condiciones de tratamiento
- Características del medio de tratamiento
- Tipo de enzima
  - -ATPasas y Deshidrogenasas, bastante sensibles
  - -Enzimas de origen vegetal, bastante resistentes: Peroxidasas, Polifenol-oxidasas, etc.

EFICACIA A NIVEL ENZIMÁTICO

Efecto de la presión en Polifenoloxidasa (PPO)

Fuente	Medio	Presión/Tiempo/ Temperatura	(In)activación
Manzana	Tampón (pH 4.5, 0,5M)	200 MPa/25ºC/1min	120% activación
		900 MPa/25ºC/1min	99% inactivación
	Tampón (pH 5.4, 0,5M)	200 MPa/25ºC/1min	70% activación
		900 MPa/25ºC/1min	90% inactivación
	Tampón (pH 7, 0,5M)	(100-500 MPa/25ºC/1min)	(30-95%) inactivación
Albaricoque	Extracto (pH 3.9)	500 MPa/25ºC/15min	90% inactivación
Guayaba	Puré (pH 3.8)	(400-600 MPa/25ºC/15min)	(14-37%) inactivación
Pera	Láminas	400 MPa/25ºC/10min	Activación (factor 5)
	Tampón (pH 7, 0,02M)	600 MPa/20ºC/10min	Activación (factor 14)
Ciruela	Extracto (pH 4,6)	500 MPa/25ºC/15min	No inactivación
Patata	Extracto crudo	(200-800 MPa/25ºC/10min)	(18-60%) inactivación
Fresa	Extracto crudo (pH 3-5)	500 MPa/25ºC/10min	(80%-20%) inactivación
	Extracto crudo (pH 6)	500 MPa/25ºC/10min	45% activación

(Adaptada de Ludikhuyze et al., 2003)

EFECTO SOBRE LOS COMPONENTES Y LA CALIDAD

PROTEINAS

- Estructura primaria: estabilidad de enlaces covalentes
- Estructura secundaria: estabilidad de puentes de hidrógeno
- Estructuras terciarias y cuaternarias afectadas:
  - Ruptura de interacciones iónicas
  - Ruptura de interacciones hidrófobas



Cambios conformacionales
Cambios grado de solvatación

Consecuencias:
Aumento de la digestibilidad
Agregación proteica
Gelificación

EFECTO SOBRE LOS COMPONENTES Y LA CALIDAD

OTROS COMPONENTES

Preservación componentes antimutagénicos y antioxidantes, azúcares, ácido ascórbico y carotenoides en frutas y verduras

Influencia del tratamiento por altas presiones (600 Mpa/6 min/25°C) en la composición de algunos antioxidantes y otros compuestos de interés presentes en frutas y vegetales (Butz et al., 2003)

	Vitamin C (mg/100 g)		Carotenoids (mg/100 g)		Sucrose (g/100 g)		TEAC index (μmol/ml)		Deoxyribose test (absorbance)		Antimutagenicity (potency)	
	Control	HP	Control	HP	Control	HP	Control	HP	Control	HP	Control	HP
	57.6	56.3			3.6	3.6	4.3	4.1				
OLC	24.6	23.5	2.4	2.5	11.4	11.4	2.0	2.1	0.10	0.15	–	–
			3.7	3.6			1.4	1.3	0.14	0.13	++	++
Carrot							1.9	1.7				
							7.2	7.9				
Peach									0.23	0.29	–	–
Strawberry					0.2	0.3			0.19	0.23	+	+
Raspberry					2.6	2.3			0.39	0.27	++	++

(+) weak effect: ID50 300–500 μl; (–) inactive: <25% mutagenicity changed.
(++) medium effect: ID50 150–300 μl.
(+ + +) strong effect: ID50 (dosage for 50% inhibition) up to 150 μl.

- Se logra la inactivación de gran parte de los microorganismos patógenos y alterantes. Los esporos son un factor limitante.
- Inactivación variable de la actividad enzimática
- No afectadas moléculas pequeñas (aminoácidos, vitaminas, pigmentos, etc)
- Modificación de la estructura tridimensional de moléculas grandes y complejas (proteinas, almidón, etc)

APLICACIÓN
Conservación de alimentos
Pasteurización: mantenimiento en refrigeración y/o con pH ácido
-Productos de alta calidad organoléptica
-Productos de mayor vida útil

ALIMENTOS TRATABLES	ALIMENTOS NO TRATABLES

En envase flexible, a vacío

Alimentos sólidos

- productos cárnicos
- quesos
- pescados, mariscos, salazones
- platos preparados, salsas
- frutas, mermeladas
- verduras

Alimentos líquidos

- productos lácteos
- zumos de frutas
- preparados nutraceúticos

Alimentos sólidos con aire incluido

- pan
- mousse

Alimentos en envase rígido

- de cristal
- de lata

PROCESO DE PRESURIZACIÓN EN DISCONTINUO



Características

- **Volumen: 55, 135, 300, 600 l**
- **Presión: 600 MPa**
- **Temperatura: 5 a 30ºC**
- **Disposición horizontal**
- **Capacidad productiva: hasta 2000 kg/h**

(Fuente: NC Hiperbaric)

PRODUCTOS CÁRNICOS

- Incremento de la vida útil, sin alteraciones sabor ni color

- Destrucción de patógenos: *Listeria*, *Salmonella*, coliformes, etc

- Estabilización de productos sin aditivos o de bajo contenido en sal









(Fuente: NC Hiperbaric)

ZUMOS Y BEBIDAS



- Higienización e incremento de la vida útil
- Destrucción de microorganismos patógenos
- Mantenimiento de las propiedades sensoriales y nutricionales (vitaminas) de la fruta fresca







(Fuente: NC Hiperbaric)

PRODUCTOS VEGETALES

- Higienización e incremento de vida útil
- Mantenimiento de color, aroma, sabor y vitaminas
- Reducción de la actividad PPO en aguacate
- Desnaturalización proteinas hipoalergénicas en arroz









(Fuente: NC Hiperbaric)

PESCADOS Y MARISCOS

- Incremento de vida útil
- Apertura conchas a 200-350 MPa
- Fácil extracción de la carne de bivalvos y mariscos
- Higienización (inactivación de Vibrio, Anisakis) sin alteración de sabor ni color











(Fuente: NC Hiperbaric)

PLATOS PREPARADOS LISTOS PARA CONSUMO

- Incremento de vida útil
- Mantenimiento de características organolépticas (recién cocinado)







LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS

- Incremento de vida útil
- Mantenimiento de características organolépticas





BENEFICIOS Y MOTIVACIONES INDUSTRIALES PARA USAR ESTA TECNOLOGÍA

- ❑ Permite higienizar productos (alta seguridad sanitaria), eliminando los daños del calor, el uso de conservantes y otros aditivos químicos, mejorando la calidad global del alimento
- ❑ Permite alargar la vida útil productos
- ❑ Puede usarse para crear ingredientes con nuevas propiedades funcionales y modificar texturas, creando nuevos alimentos
- ❑ Imagen de empresa innovadora
- ❑ Tecnología aceptada por los consumidores
- ❑ Aplicación: Bajo coste energético, no genera residuos (agua), segura para los trabajadores

OBSTÁCULOS PARA IMPLANTACIÓN

- Bajo nivel de conocimiento de sus posibilidades reales

- Estado legislativo
  - Hace falta un apoyo explícito visible: los productos pasteurizados por HP son accesibles y han sido permitidos por la UE desde 2001, aunque es necesaria más información
  - Necesario disponer de protocolos y servicios ágiles de validación de aplicaciones industriales sobre diferentes matrices alimentarias.

- Relativamente altos costes:
  - 0,05 a 0,2 €/kg.
  - Elevado coste de inversión inicial
  - Reducido número alternativas proveedores equipos

- Proceso en discontinuo, no para todos los productos

TENDENCIAS - NECESIDADES

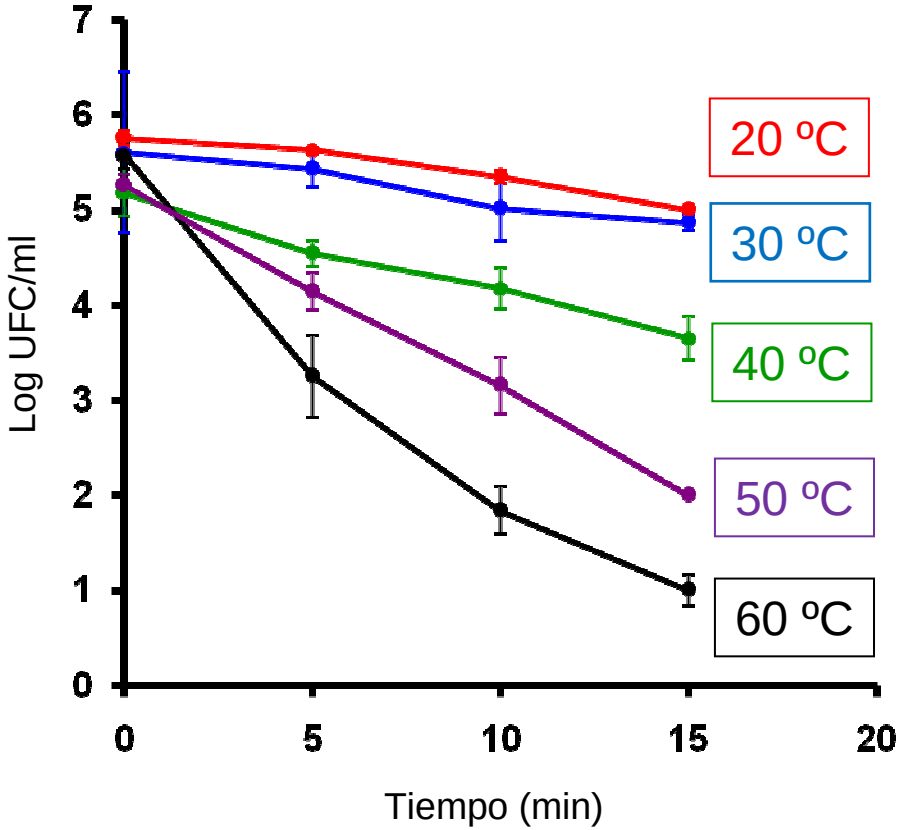
- Generar más datos científicos sobre el efecto de la tecnología sobre microorganismos, enzimas, componentes, composición química, interacción con el envase, etc. que permita a la industria agroalimentaria basarse en evidencias científicas

- **¿ESTERILIZACIÓN?** → **Métodos combinados**

- Altas Presiones y Temperatura
- Altas Presiones y Antimicrobianos (nisina, lisozima, quitosán, etc.)
- Ciclos de Presión
- Altas Presiones y CO2
- Altas Presiones y Pulsos eléctricos
- Altas Presiones y ultrasonidos

Altas Presiones y Temperatura

Bacillus cereus, 700 MPA, pH 8



(CNTA, 2010)

PATS (Pressure Assisted Thermal Sterilization)

NCFST RECEIVES REGULATORY ACCEPTANCE OF NOVEL FOOD STERILIZATION PROCESS

The PATS process paves the way for advanced processing of next-generation shelf-stable foods, says national research consortium

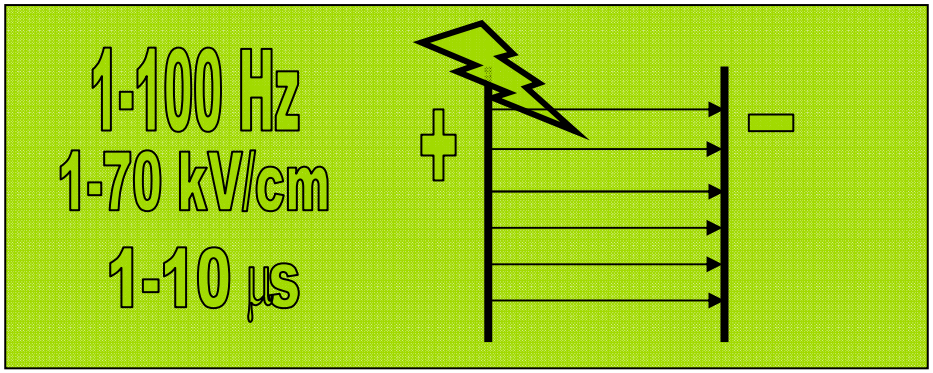
(SUMMIT-ARGO, IL) February 27, 2009 – The National Center for Food Safety and Technology (NCFST), Illinois Institute of Technology (IIT) and Avure Technologies, Inc., announced today that the U.S. Food and Drug Administration (FDA) has accepted the research institute's filing of a new food sterilization process. The NCFST filing is the first-ever petition to FDA for the commercial use of pressure-assisted thermal sterilization (PATS) processes for application in the production of low acid foods.

(Balasubramanian et al., 2010)

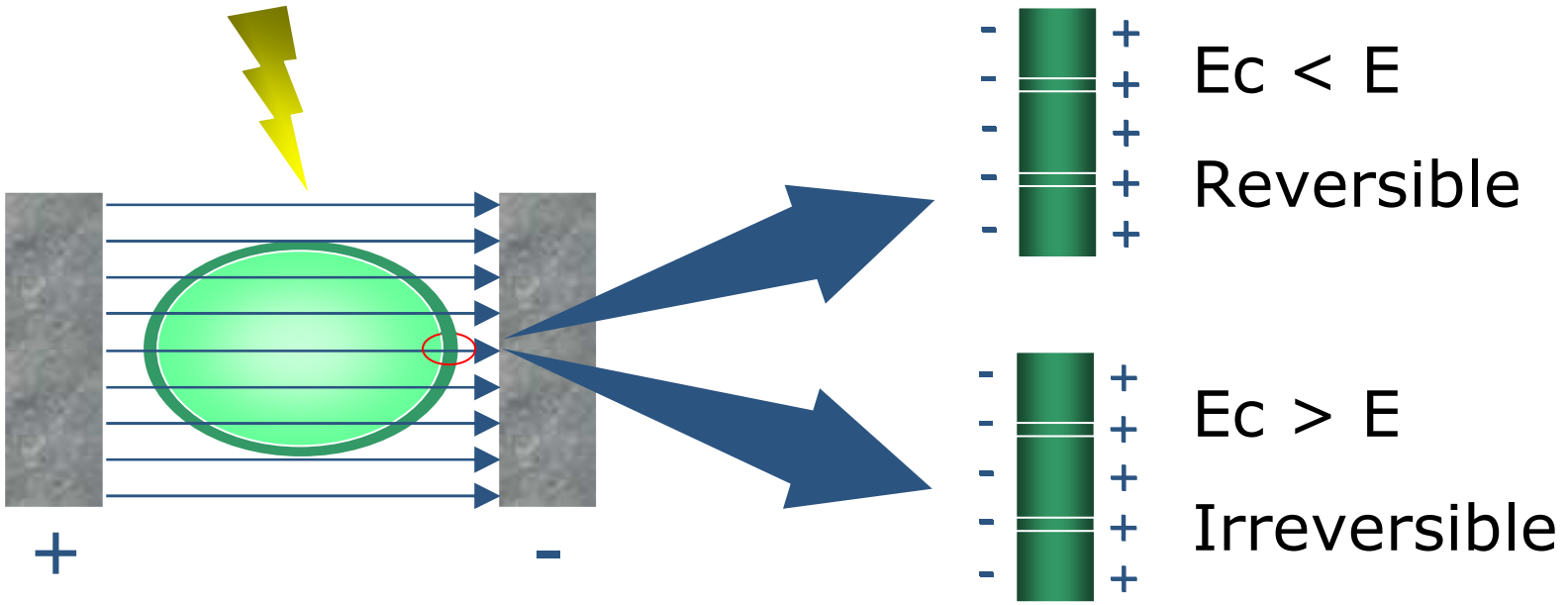
Pulsos eléctricos de alto voltaje (PEAV)

Definición:

Aplicación intermitente de campos eléctricos de alta intensidad (1-70 kV/cm) a un material colocado entre dos electrodos de una duración de µs.

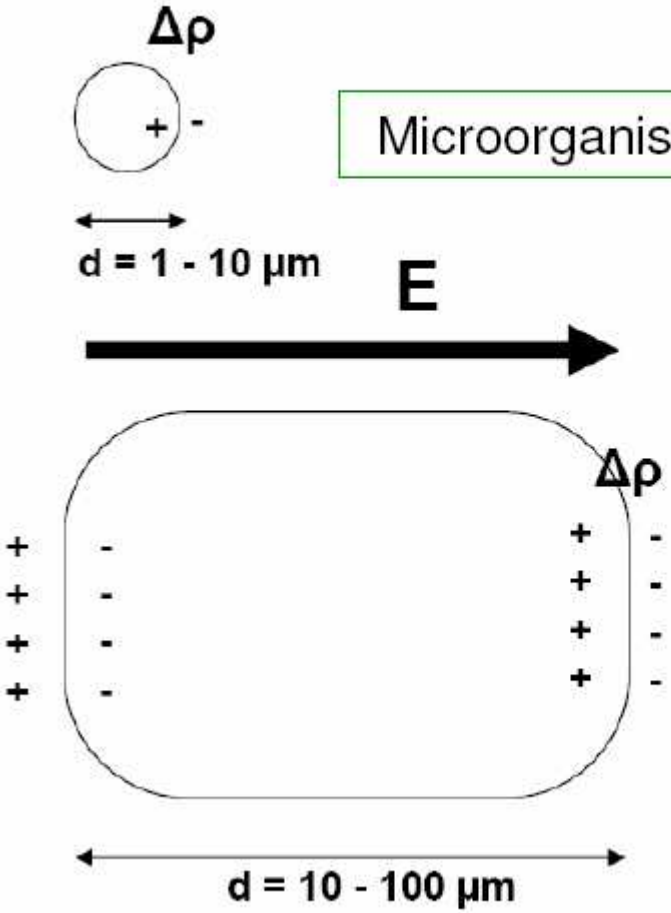


Electroporación de membranas



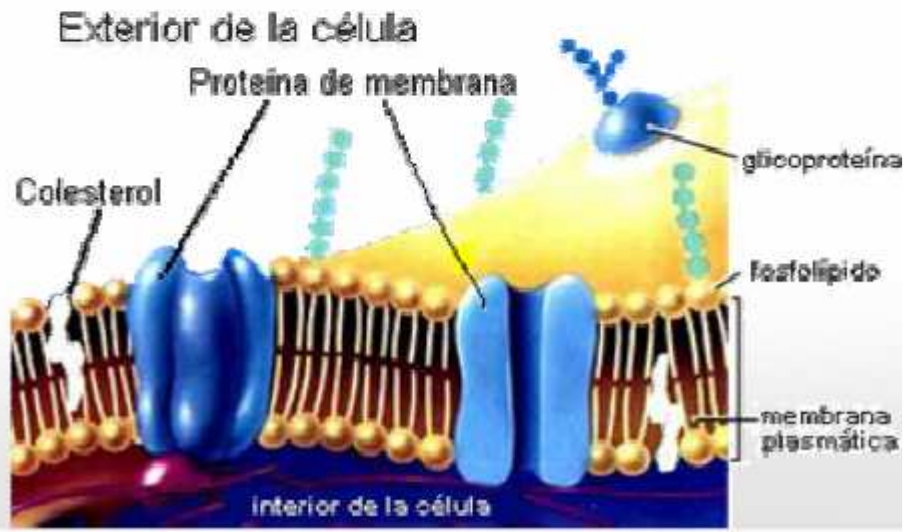
Objetivo: Superar el potencial transmembrana crítico

$\rho = E \cdot d \approx 1V$



Microorganismos E ≈ 10 kV/cm

Células animales/vegetales E ≈ 1 kV/cm



Electroporación de membranas

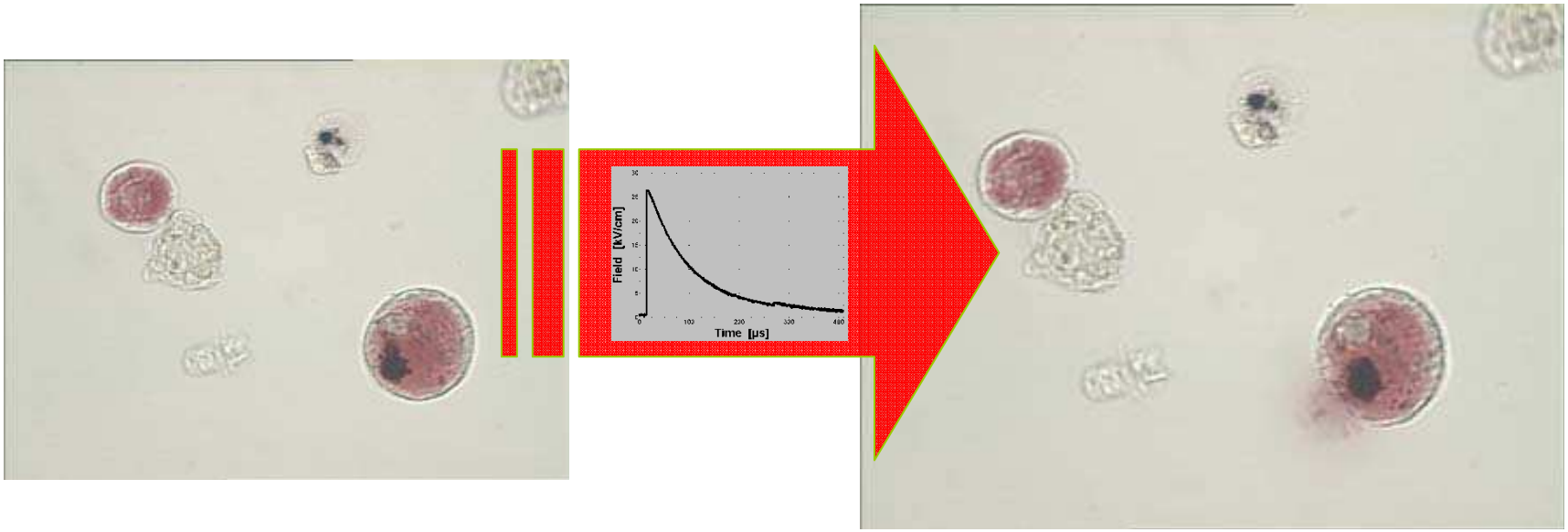
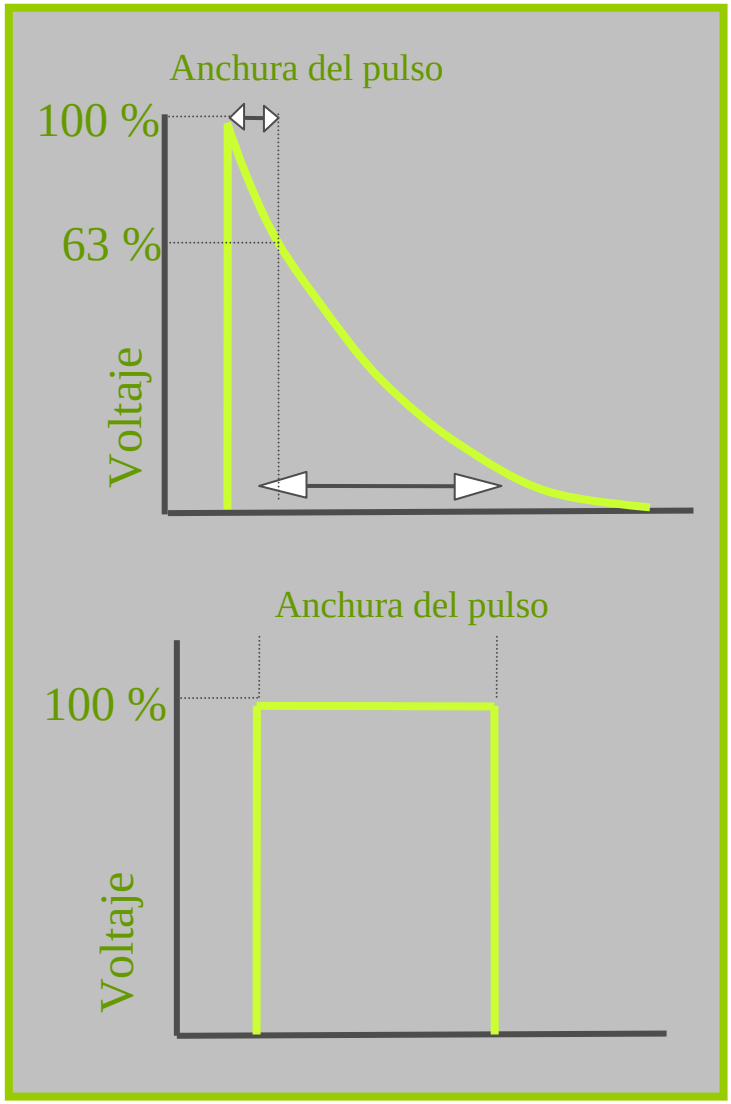


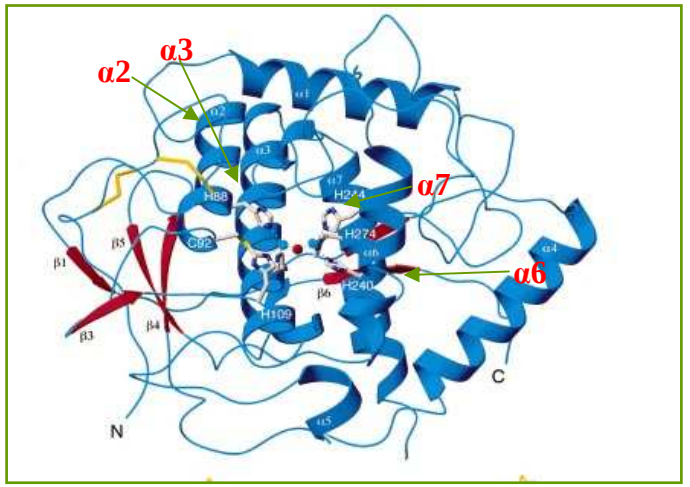
Imagen cedida por: Grupo de Nuevas Tecnologías de Conservación de los Alimentos, Universidad de Zara

EFECTO DEL TRATAMIENTO

- **Intensidad del campo eléctrico**
- **Forma del pulso:**
  - Pulsos de caída exponencial
  - Pulsos de onda cuadrada
- **Anchura del pulso**
- **Frecuencia del pulso**
- **Tiempo de tratamiento**
- **Energía específica**



➢ Enzimas



Inactivación enzimática

Tratamientos de 30 kV/cm no inactiva:

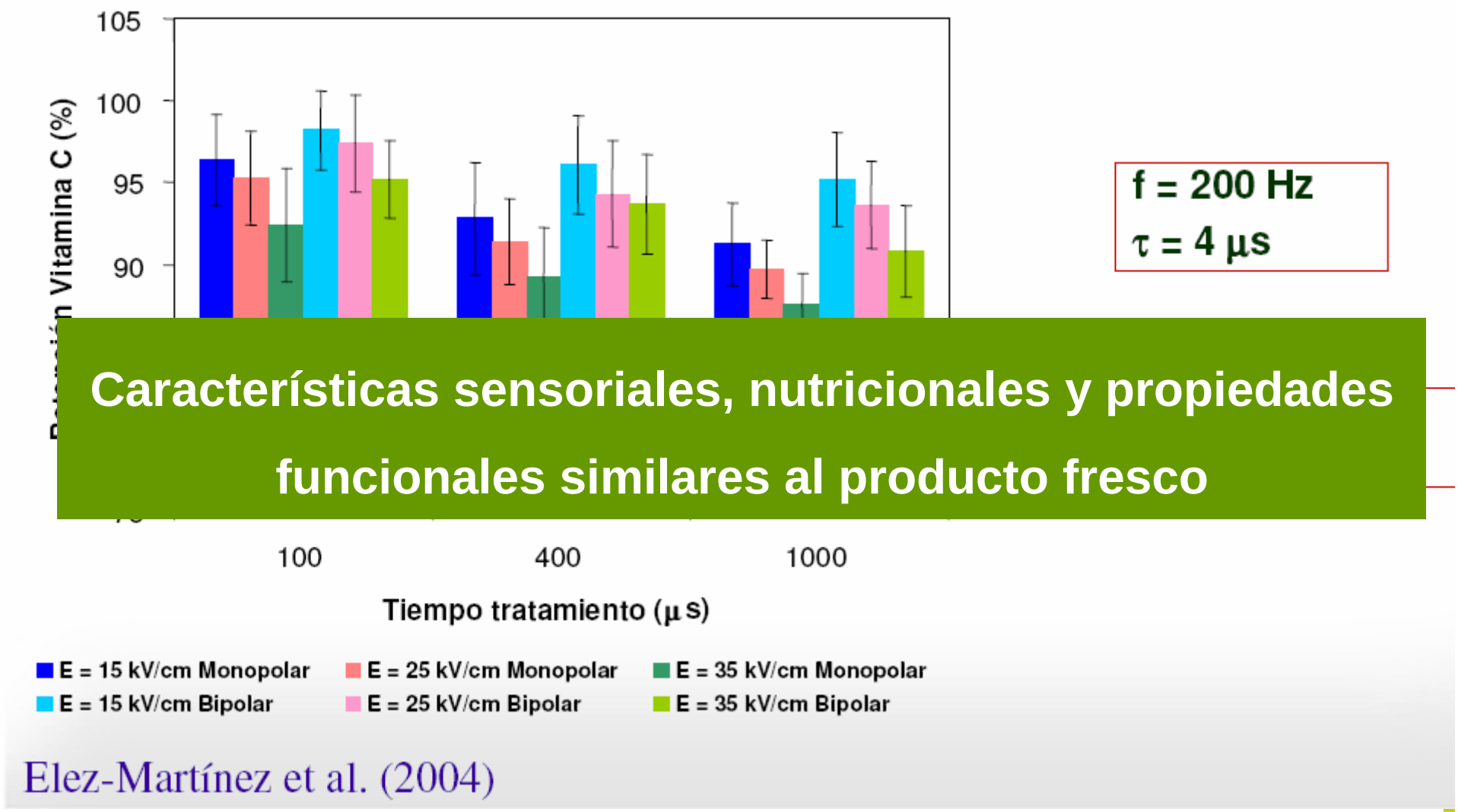
Lipoxigenasa, Peroxidasa
Polifenoloxidasa, Pectinmetilesterasa,
Alfa-amilasa, Fosfatasa alcalina

➢ Otros componentes

No cambios en el color, olor y sabor de huevo líquido, zumos de frutas y verduras. Si durante al almacenamiento se da un cambio, es menor que el que sufre el producto tratado térmicamente (Lelieveld., 2005)

Proteinas: no afecta a la estructura (Ovoalbumina, β-lactoglobulina)

Emulsiones: no afecta a la estructura, ni al tamaño y distribución de las gotas que forman la fase dispersa (mahonesa)



Características sensoriales, nutricionales y propiedades funcionales similares al producto fresco

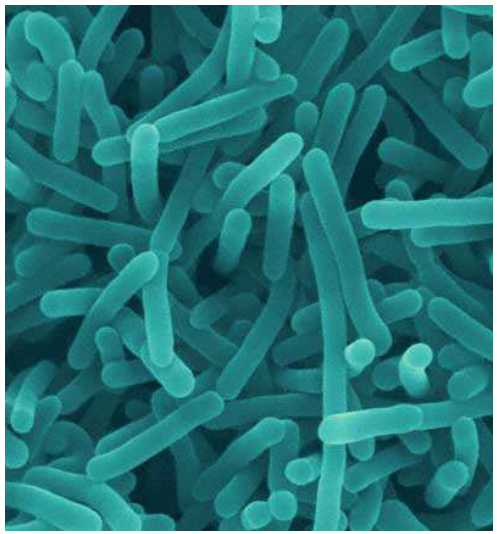
Elez-Martínez et al. (2004)

➢ Células

Inactivación

>10 kV/cm

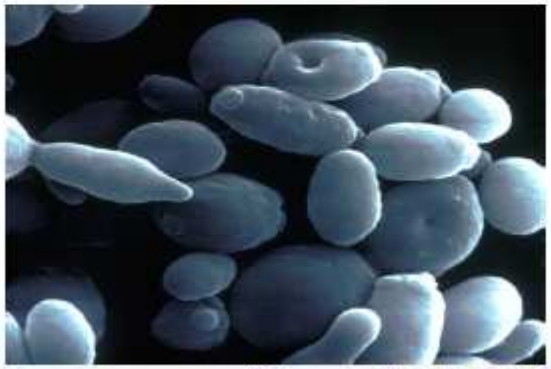
•Inactiva microorganismos incluyendo mohos, alterantes y patógenos.
•No efectivo contra esporulados



SEM, S. cerevisiae

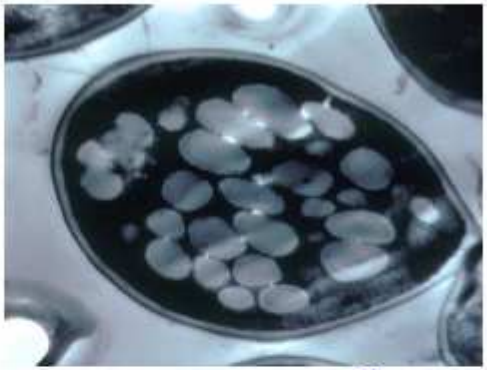


Control

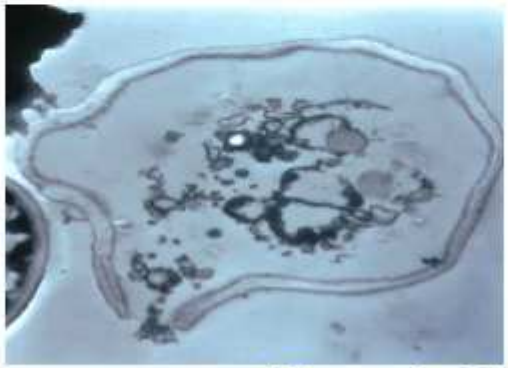


Tratado PEAIC

TEM, S. cerevisiae



Control



Tratado PEAIC

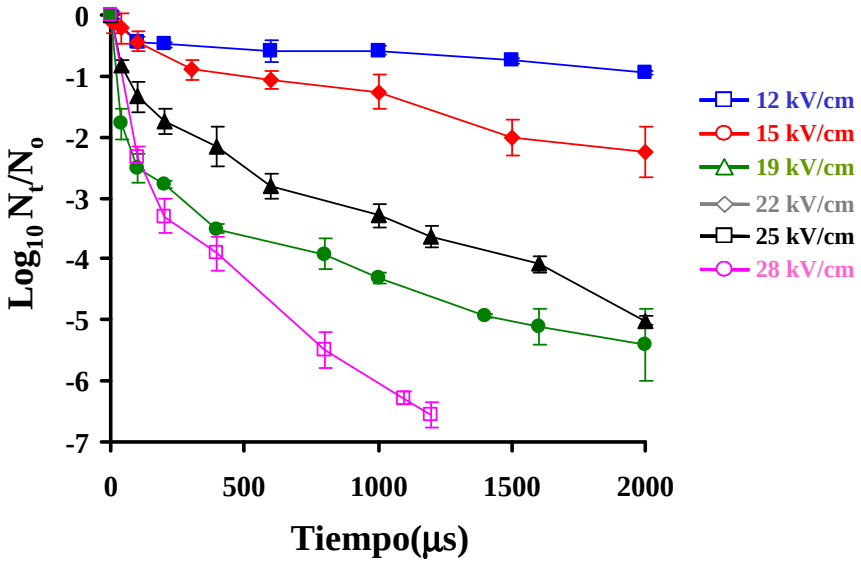
Elez-Martínez et al. (2004)

Inactivación microbiana

Parámetros tratamiento	Características del medio de tratamiento	Características microorganismo
• Intensidad del campo eléctrico	• pH	• Tipo de microorganismo
•Tiempo de tratamiento	• a_w	• Fase de crecimiento
• Forma del pulso	• Conductividad eléctrica	• Temperatura de crecimiento
• Anchura del pulso		• Concentración inicial
• Frecuencia		• Características membrana
• Energía específica		• Condiciones de recuperación Composición Tiempo Temperatura
• Temperatura		

Intensidad del campo eléctrico

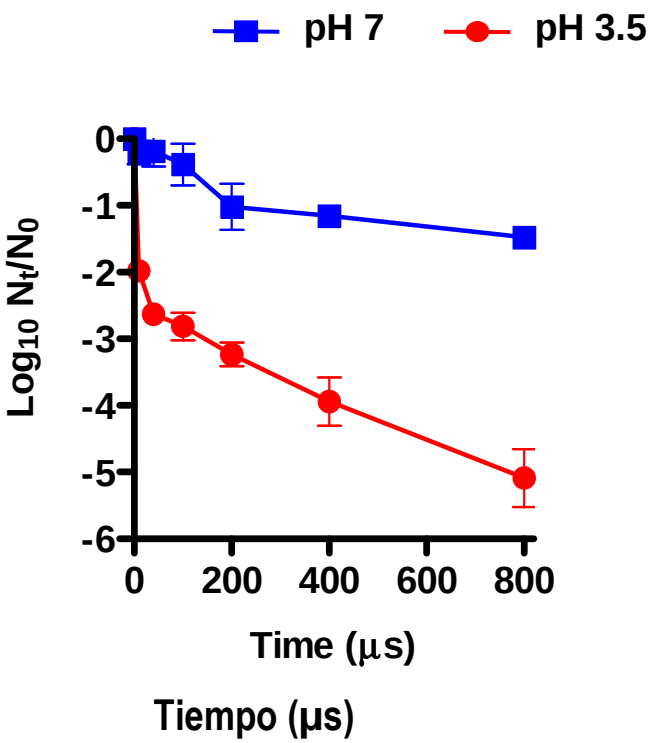
S. senftenberg 775W



Anchura de pulso: 2 µs
Frecuencia: 2 Hz
Medio de tratam¡iento: McIlvaine buffer
(pH=7.0; 2 mS/cm)

Características del medio

L. monocytogenes (G+)



- **P**

Pasteurización de líquidos y semilíquidos

Zumo de fruta, Leche, Huevo líquido



+ Refrigeración

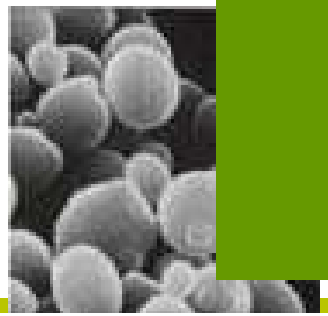
- **C**

Ventajas:

- **C**

Características organolépticas

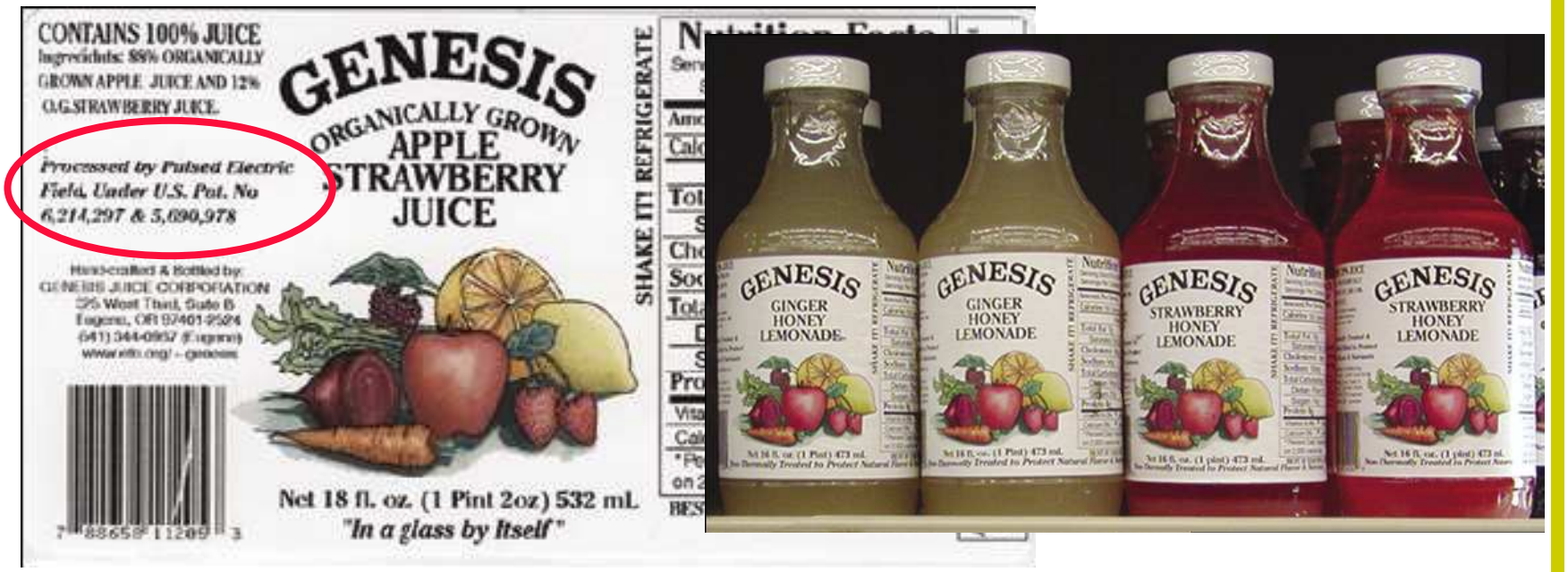
Valor nutritivo de producto fresco







03 Pulsos eléctricos de Alto Voltaje (PEAV)



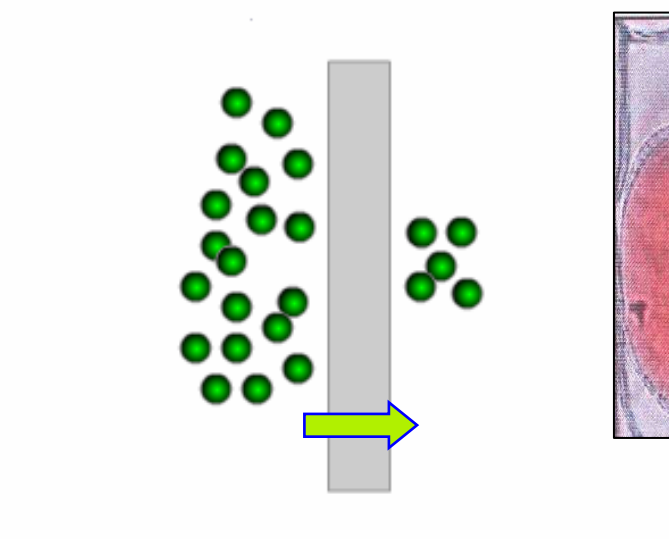
- FDA aprobó el zumo de naranja
- La pasteurizacion por PEAV no ha sido utilizada en Europa a escala industrial

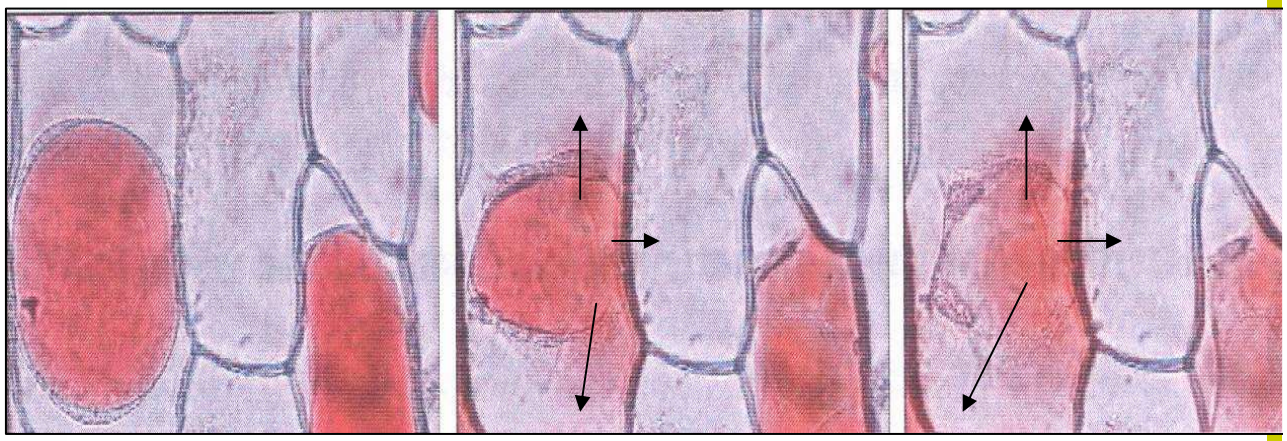
➢ Células

Paso de un componente de una fase a otra hasta alcanzar el equilibrio

Transferencia de masa

<10 kV/cm





Procesos de conservación

- Secado (patata, coco, pimiento)
- Deshidratación osmótica (manzana, pimiento)
-Curado y marinado de carnes y pescados



Procesos de extracción

- Zumo de frutas (manzana, zanahoria)
- Azúcar de remolacha azucarera
- Pigmentos de plantas (antocianos, betaninas)

Extracción de betanina de remolacha roja (E-162)





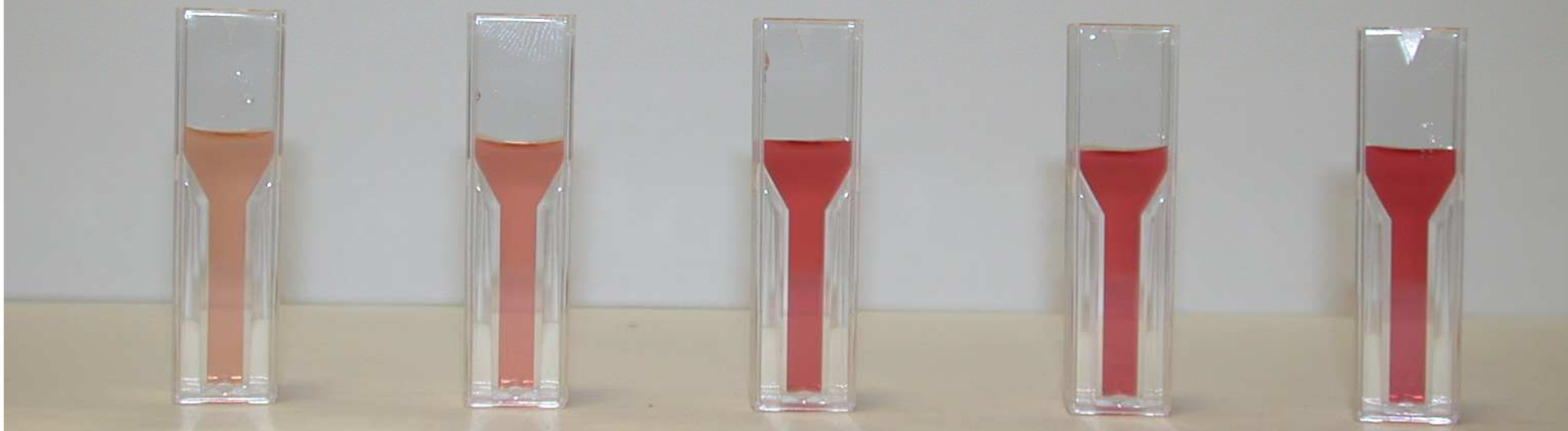
Control Remolacha no PEF.wmv

Tratado por PEAV remolacha PEF.wmv

Mejora del proceso de elaboración de vino tinto

Garnacha

1 hora de maceración



No tratado

1 kV/cm
50 pulsos

3 kV/cm
50 pulsos

5 kV/cm
50 pulsos

8 kV/cm
50 pulsos

03 Pulsos eléctricos de Alto Voltaje (PEAV)



ScandiNova (Dinamarca)
1-50 kV/cm
1 – 10 µs
1 – 10.000 l/h
≈ 70.000 Euros (sólo generador de pulsos)

PULSOS DE ONDA CUADRADA MONOPOLARES

Diversified Technologies, Inc. – Universidad Estatal de Ohio (EE.UU.)
1-60 kV
1 – 10 µs
1000 – 6000 l/h
> 150.000 Euros

PULSOS DE CAÍDA EXPONENCIAL MONOPOLARES



OBSTÁCULOS PARA IMPLANTACIÓN

- Falta de conocimientos en el efectos de los PEAV sobre patógenos alimentarios, en distintas matrices alimentarias, efectos sobre la calidad, etc.

- Mejorar la ingeniería de los equipos: sistemas eficientes en coste de generación de los pulsos, diseño de las cámaras de tratamiento, etc.

- Legislación

- Percepción del consumidor

- Inversión en el equipo elevada, requerimientos energéticos bajos

TENDENCIAS - NECESIDADES

GENERACIÓN DE CONOCIMIENTOS

- ❑Confirmar mecanismos de inactivación
- ❑Identificar microorganismos de referencia
- ❑Desarrollar métodos de validación
- ❑Estudios de vida útil
- ❑Definir condiciones de preproceso y de envasado
- ❑Definición de costes y beneficios del proceso

TENDENCIAS - NECESIDADES

DESARROLLO DE EQUIPOS

- ❑ Diseño de cámaras de mayor capacidad que las actuales
- ❑ Diseño de cámaras que permitan la aplicación de campos eléctricos mayores y uniformes
- ❑ Mejora de los sistemas de refrigeración de las cámaras
- ❑ Seguridad en el manejo de los equipos
- ❑ Probar nuevos materiales para electrodos
- ❑ Monitorizar y controlar

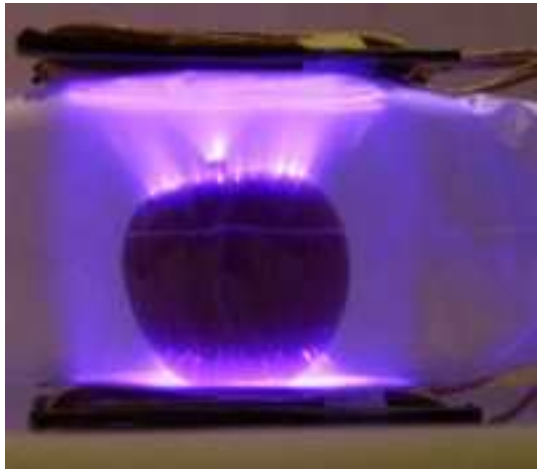
UV-C



Pulsos lumínicos



Plasma frío

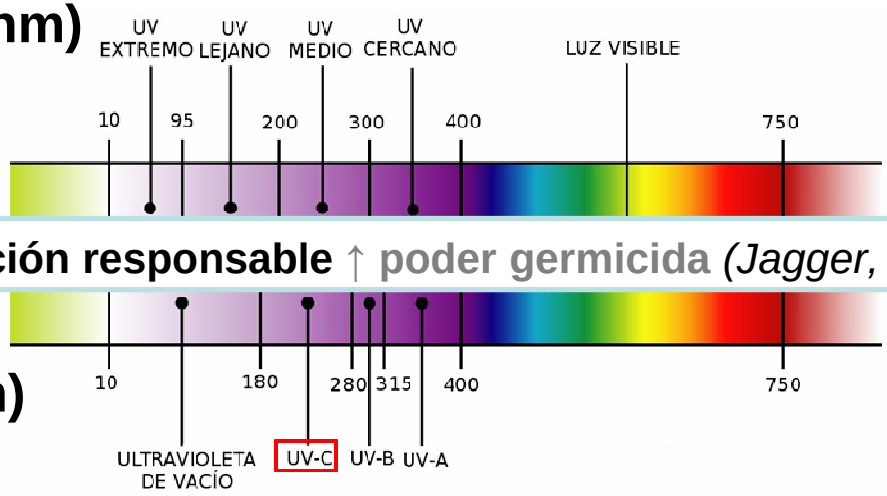


Radiación Ultravioleta

Radiación electromagnética no ionizante con longitudes de onda situadas entre los 400 y 10nm.

Existen 3 tipos:

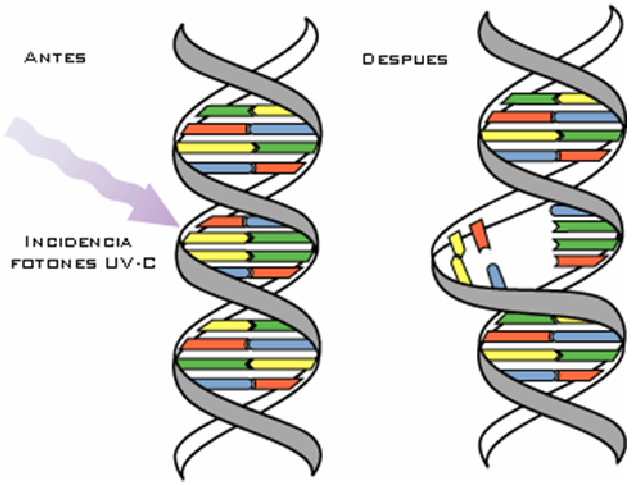
- **UV cercano (UVN 400-200nm)**
  - **UVA (400-320nm)**
  - **UVB (320-280nm)**
  - **UVC (280-200nm)**
- **UV lejano (FUV 200-100 nm)**
- **UV extremo (XUV 91-1nm)**



Fracción responsable ↑ poder germicida *(Jagger, 1967).*

UV-C

- **Efecto germicida→ directa o indirectamente produce foto-alteraciones que afectan a las proteínas → destrucción de ADN** *(Stapleton, 1992)*

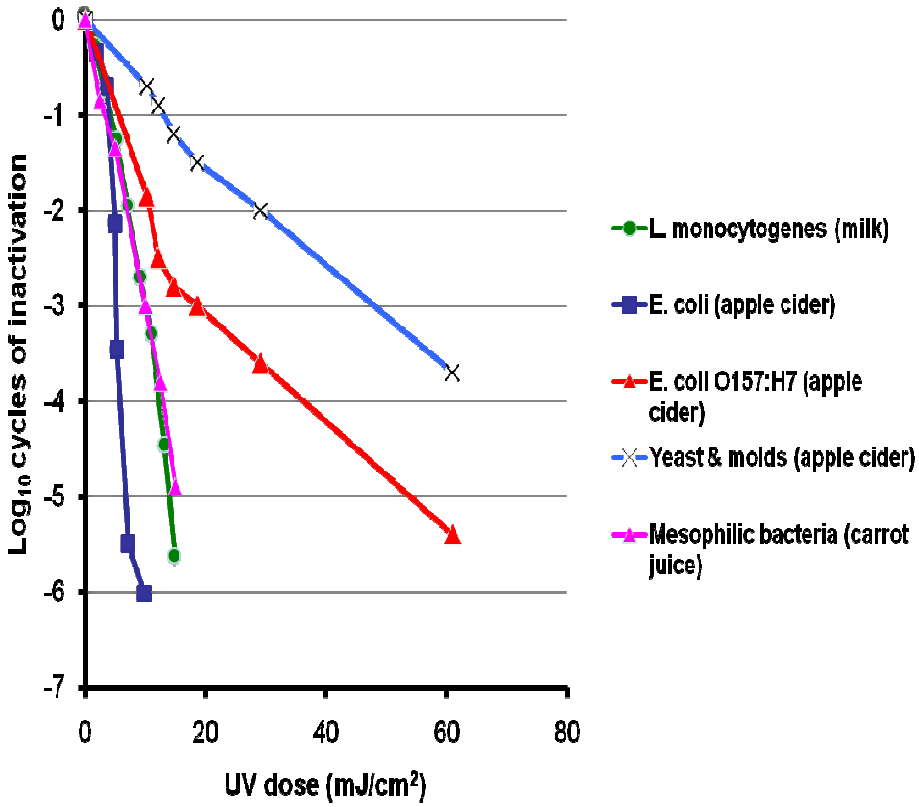


EFECTOS EN MICROORGANISMOS

UV-C es letal para: *(Begum et al. 2010)*

(de + a – sensibles)

- Bacterias Gram –
- Bacterias Gram +
- Levaduras
- Esporos bacterianos
- Mohos
- Virus
- Protozoos
- Algas



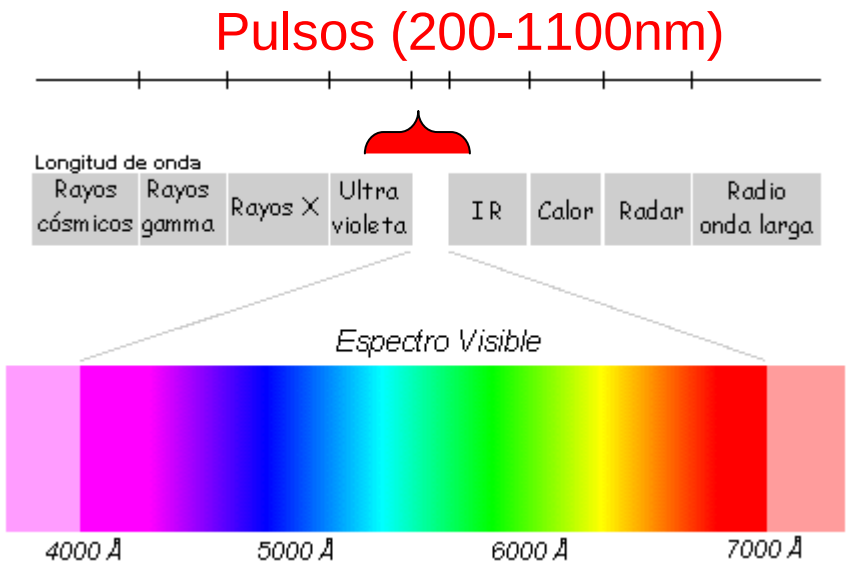
(Maris-Alzamora, 2000)

EFECTOS NUTRICIONALES Y ORGANOLÉPTICOS

- Agua → no cambios, no tóxicos.
- Zumos→ no cambios en color, ni aromas, ni flavor, ni productos tóxicos (Lee and Coates, 2003; Tran and Farid, 2004).
- Leche → Puede producirse oxidación de las grasa (Matak et al., 2007)
- LEP (huevina) → No alteraciones pero insuficiente sólo.
- Superficies de carnes y pescado → no cambia color, apariencia de carnes fresca (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas,2009).
- Superficie de huevos → no cambios.
- Superficie de frutas y verduras → no cambios en la firmeza, ni color (Marquenie et al., 2003). Uva → Incremento del contenido en estilbenos y resveratrol (Guerrero et al., 2010; González-Barrios et al., 2009).

Luz pulsada

Radiación electromagnética no ionizante con longitudes de onda situadas entre los 400 y 700nm.



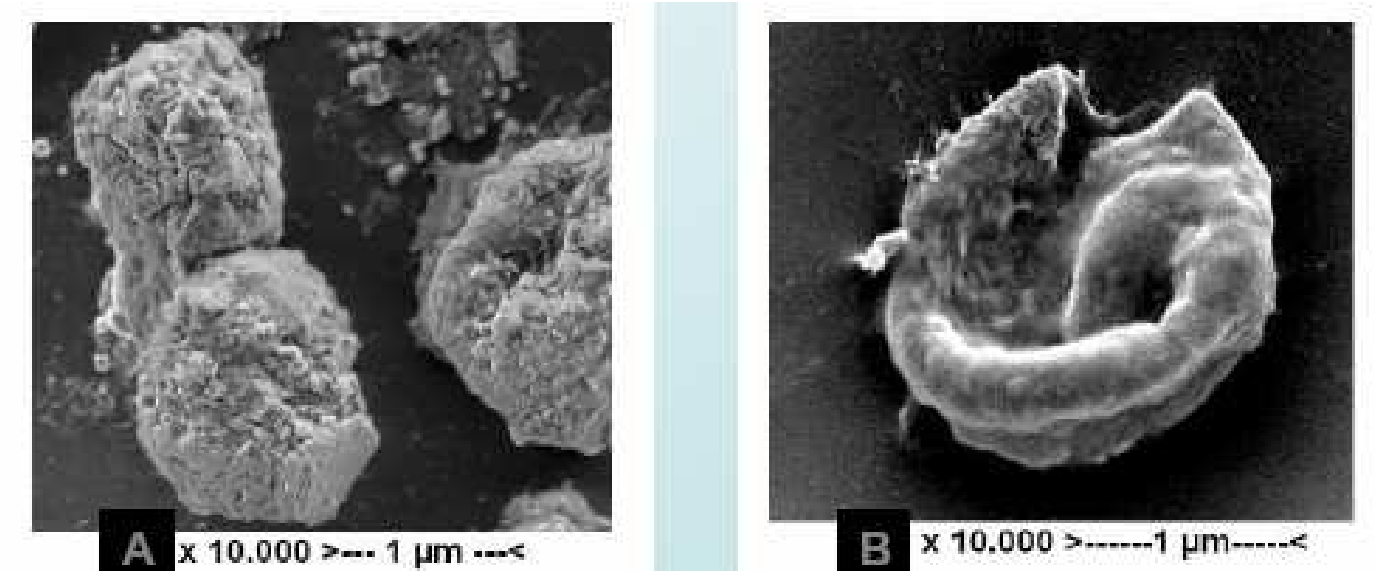
Los pulsos contienen:

- 25% UV
- 51% Visible
- 24% IR

Cada flash tiene una intensidad 20000 veces la de la luz solar a nivel del mar (Dunn et al.,1995).

Mecanismos de inactivación *(Gómez-López et al., 2007; Wuytack et al. 2003)*

- Cambios fotoquímicos → Luz UV
  - Rotura de ADN.



Efecto fototérmico (B) se demostró al observar evidencias de rotura en las espora de A. niger por sobrecalentamiento (Wekhof et al. 2001)

Aplicaciones descritas en la literatura y resultados experimentales

Producto	Microorganismo	Descontaminación	Referencia
Verduras	Mohos Mesófilos aerobios	retraso de 40 días ↓ 1-4 ciclos	*PTF de Evreux; Hoornstra 2002; Gómez-López et al. 2005;*
Pollo	*Peseudomas putida y fluorence*	↓ 2 ciclos	*Lagabaster y Marínez deMarañón, 2007*
Comida infantil	Listeria monocytogenes	↓ 4-5 ciclos	*Mun-Sil et al. 2010*
Utensilios	E. coli L. Monocytogenes	↓ 4-6.5 ciclos	*Rajkovic et al. 2010*
PET (envases)	Staphylococcus aureus	↓ 4 ciclos	*CCFR*
Agua	L. Monocytogenes	↓ > 7 ciclos	*Lagabaster y Marínez deMarañón, 2007*
Fruta	Mohos	↓ >5 ciclos	*Gómez-López, 2007; Laguna-Solar et al., 2006*
Leche	Staphylococcus aureus	↓ 8 ciclos	*Smith et al., 2005*
Salmón crudo	E. coli L. Monocytogenes	↓ 1 ciclos	*Ozer y Demirci, 2006*
Granos de cereales	Aspergillus niger E. Coli	↓ 4-5 ciclos	*Sharma et al., 2003; Jun et al., 2003*
Huevo (cáscara)	Salmonella enterica	↓ 4-6 ciclos	*Hierro et al., 2009 Rowan et al., 1999*

Efectos sobre los alimentos descritos en la literatura.

Producto	Efectos
Verduras	Lechuga iceberg pérdida de color.
Pollo	No cambios de color, ni olor
Comida infantil	No especifica
Utensilios	No cambios
PET (envases)	No cambios
Agua	No cambios
Fruta	No cambios
Champiñones	↑ Vitamina D
Salmón crudo	Dosis → alteración de color por el sobrecalentamiento
Granos de cereales	No cambios
Huevo (cáscara)	No cambios

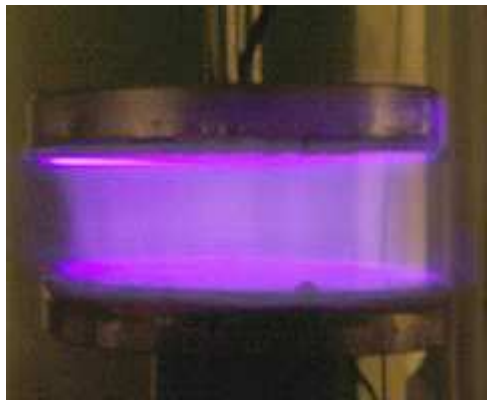
PLASMA

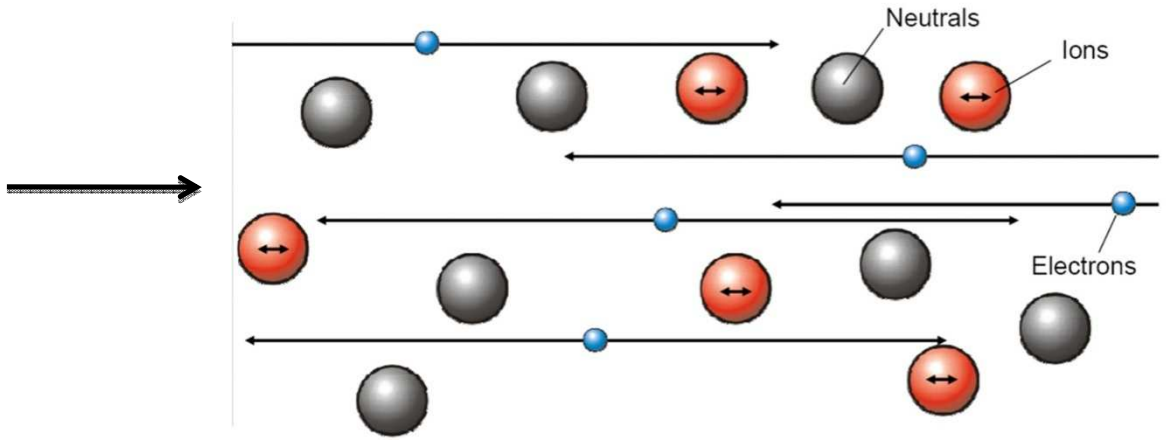
Se crea por la excitación de los átomos gaseosos.

Estado de la materia (4º)→ con características de gas/líquido.

Contiene gran número de partículas cargadas.

Generarlo → aplica ↑ voltaje sobre el gas produciendo la rotura dieléctrica → ioniza el gas.

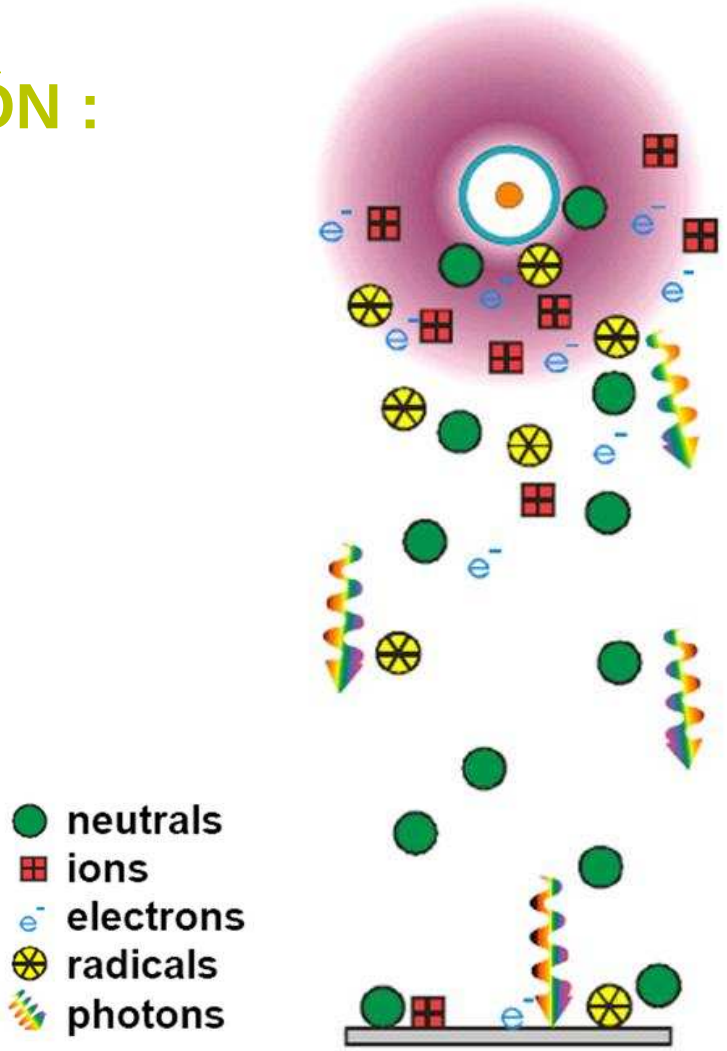




MECANISMOS DE INACTIVACIÓN :

- CALOR
- UV
- RADICALES

Oxidación de los lípidos de las membranas. También pueden dañarse otras estructuras como DNA, proteínas



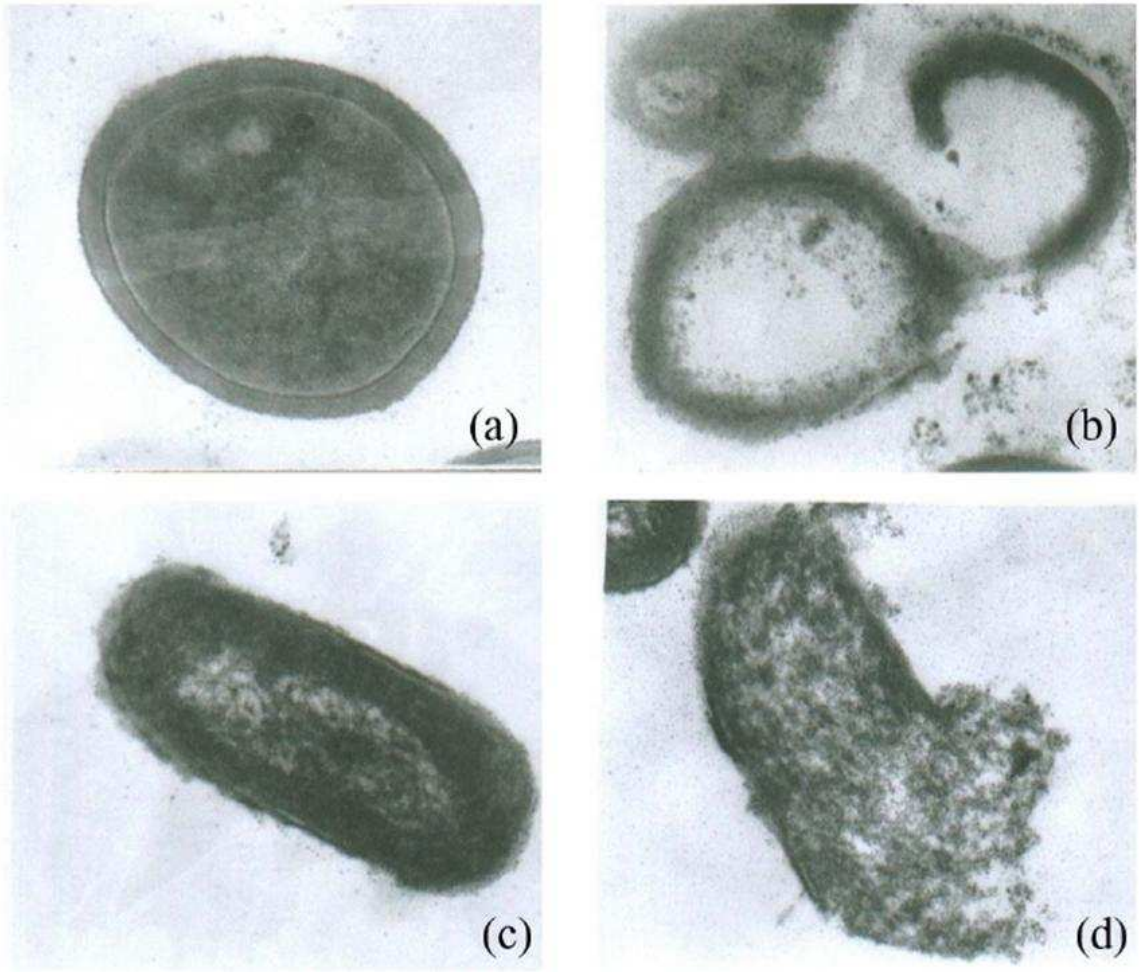
INACTIVACIÓN :

S. aureus:

(a) Sin tratar
(b) Tras 5'' DBD

E. coli:

(a) Sin tratar
(b) Tras 5'' DBD



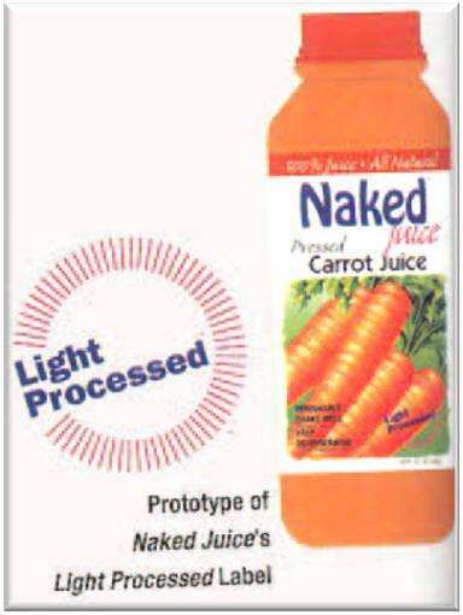
(Ma et al. 2008)

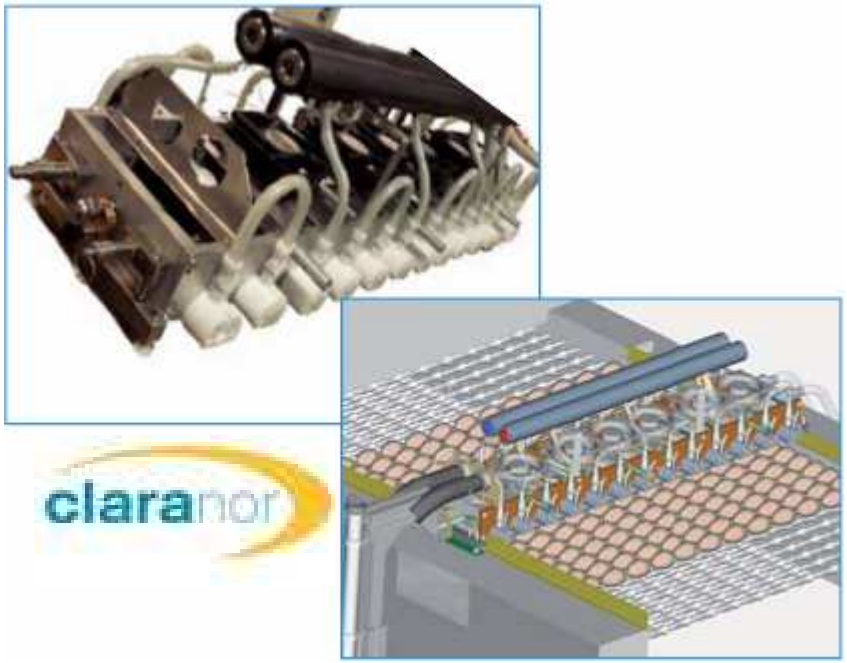
APLICACIONES :

- SUPERFICIES → **frutas, carnes, pescados, huevos**
- LÍQUIDOS → **zumos y agua**
- ENVASES

04 Higienización de superficies



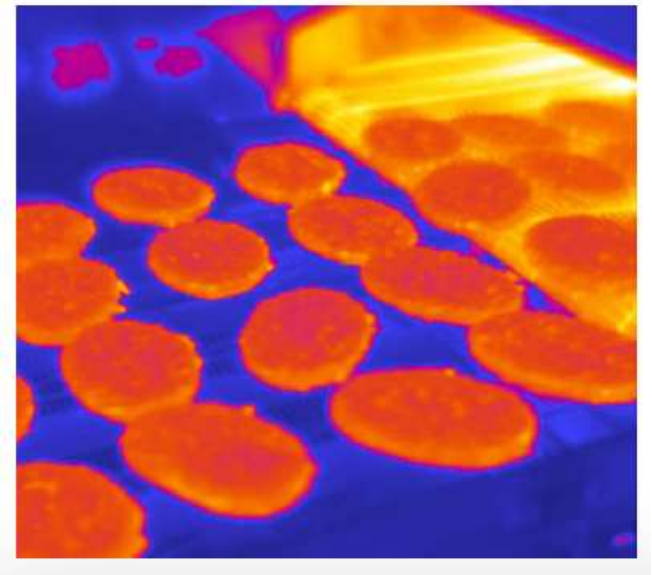






•El calentamiento por microondas y radiofrecuencia es una técnica para calentar **materiales dieléctricos "polarizables"**.

•Se utiliza una porción del **espectro electromagnético** como fuente de energía para calentar el material



Espectro electromagnético

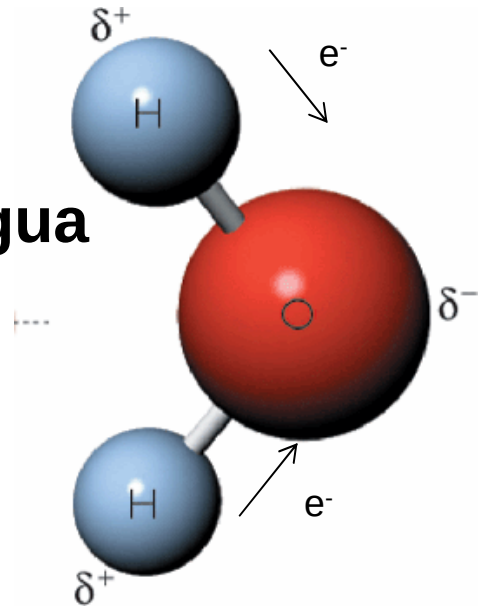


*Microondas y RF son radiaciones **no ionizantes,** no modifican la estructura electrónica del material.*
*El resultado de su interacción es de **origen térmico***

Mecanismos de calentamiento

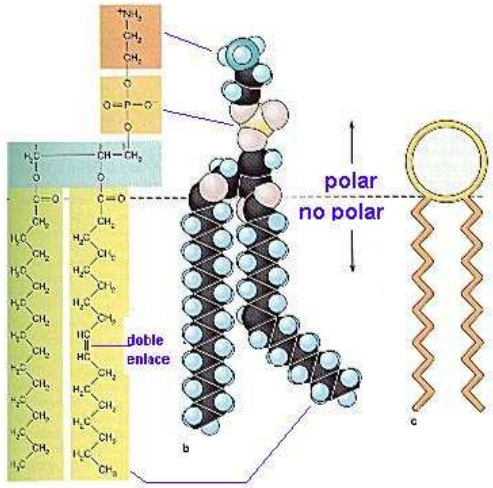
1) Rotación de dipolos: muchos materiales dieléctricos tienen moléculas dipolares: moléculas neutras, desde un punto de vista eléctrico, pero espacialmente con una zona negativa y otra positiva.

Agua

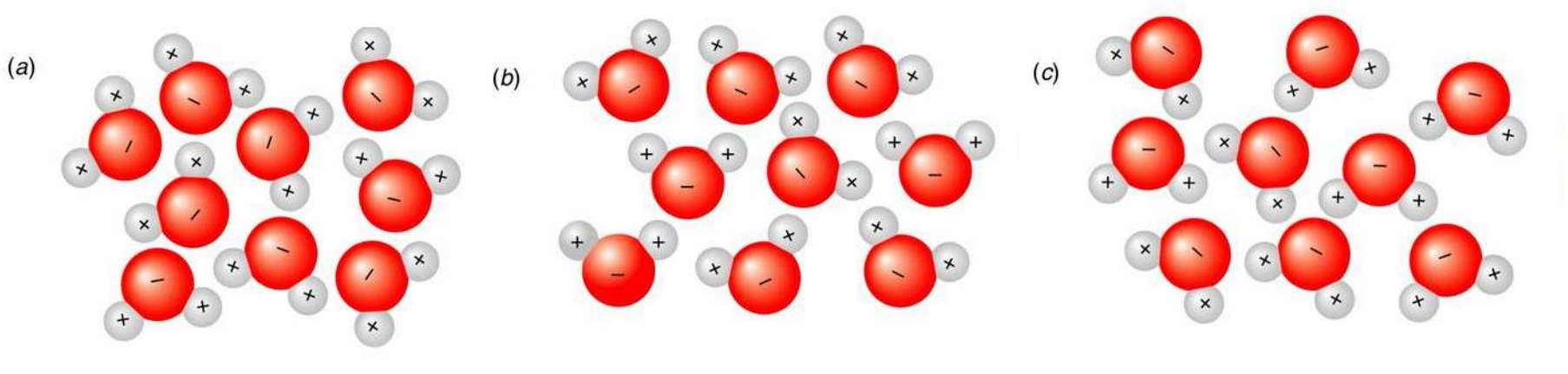


Ácidos grasos

(molécula larga que tiene una parte polar)



Los **dipolos** se **orientan** y tienden a desplazarse en la dirección del campo eléctromagnético



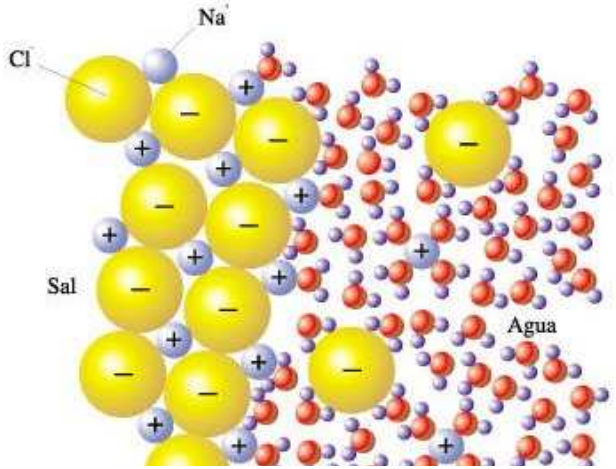
Sin campo eléctrico

↑ campo eléctrico

↓ campo eléctrico

Cuando las ondas son absorbidas por el material los dipolos existentes o los inducidos se ponen en acción, esto es, **vibran y rotan** (millones de veces) en la frecuencia de la onda, produciendo **energía térmica** en todo el seno del materia, básicamente por fenómenos de **fricción** a nivel atómico-molecular.

2) **Interacción iónica**: los compuestos iónicos (p.e., sales disueltas) pueden ser acelerados por el campo electromagnético y chocar con otras moléculas produciendo calor





El calor no tiene que pasar desde el exterior al interior, sino que **se genera en el interior** del propio alimento y luego **se transmite** por conducción



Se **reduce** enormemente el tiempo necesario para obtener en zonas interiores una determinada temperatura

La **intensidad del calentamiento** depende de:

Alimento	-**Propiedades dieléctricas**: constante dieléctrica, factor de pérdidas -**Parámetros termodinámicos**: calor específico, conductividad del calor -**Características físico-químicas**: forma, tamaño, composición (humedad, sal, etc.)
Envase	Presencia de elementos metálicos como papel aluminio
Proceso	-**Parámetros de proceso**: frecuencia, nivel de energía, tiempo -**Entorno**: presencia de agua o aire caliente alrededor del alimento
Equipo	-**Características del horno**: Dimensiones, forma y otras características electromagnéticas del horno -**Movimiento del alimento**: presencia de agitadores o platos giratorios



El mecanismo de **DESTRUCCIÓN MICROBIANA** no está todavía completamente demostrado

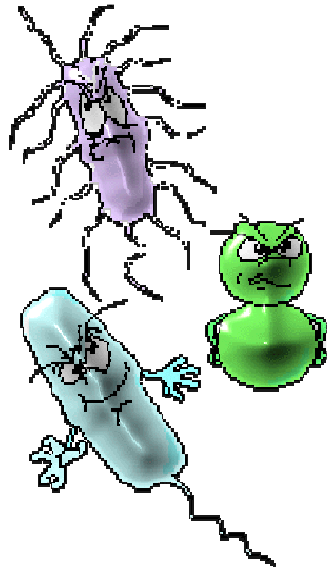
1) **EFECTO TÉRMICO**

Está demostrado que la inactivación microbiana mediante microondas es debida fundamentalmente a la **acción del calor**: destrucción o inactivación irreversible de una molécula o estructura esencial (ADN cromosómico, membrana, etc.).

2) **EFECTO NO TÉRMICO**

Algunos investigadores proponen un efecto no térmico adicional debido a la radiación:

- Electroporation
- Ruptura celular
- Lisis celular



Este efecto no ha sido confirmado



➡ Color



➡ Texture

Ability to combine different foods ⬅



Mejoras en la calidad organoléptica y nutritiva en comparación con los procesos de pasteurización y esterilización tradicionales

. WSU, 2010

Existe equipamiento

- Continuo y discontinuo
- Microondas y Radiofrecuencia
- Capacidades de 100 kg/h a 5000 kg/h
- Potencia de 10 a 100 kW

Elección según producto y aplicación



Petrie Technologies. Túnel Air MicroWave Assisted



Sairem. Túnel continuo microondas para atemperado y descongelación

ATEMPERADO / DESCONGELACIÓN

Elevar la temperatura de piezas congeladas de carne, pescado, aves, vegetales, frutas, mantequilla, etc.

-Descongelación: aumento de la temperatura hasta 0ºC

-Atemperado: aumento de la temperatura hasta -2ºC



Las **ventajas** :

-**Tiempos** de descongelación **muy cortos** (5-10 minutos en piezas de carne de 10-40 kg)

-Obtención de la Tª necesaria para la próxima fase de transformación, **sin interrumpir la cadena de frío**, incluso directamente en el interior de su embalaje original

-**Disminución costes** de proceso: bajo consumo de energía, reducción del espacio

-Ahorros de materia del 5 al 20% sobre la masa de los productos tratados **limitando los exudados**

-Una mejora de la **higiene y la calidad** de los productos evitando los procesos de crecimiento bacteriano y de degradación. P.e. en mantequilla se permite el troceado y envasado evitando el desarrollo de rancidez

PASTEURIZACIÓN - ESTERILIZACIÓN

A. Tratamientos de productos líquidos

Tratamientos de **pasteurización** a alta temperatura y tiempos cortos y **UHT**: leche, nata, yogur, salsas, purés, alimentos infantiles, pulpas de frutas, sopas con particulados, etc.



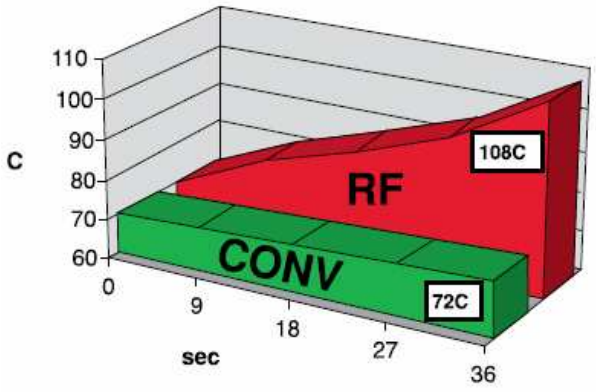
Stalam. RF/L 70 KW equipment for the sterilisation of fruit pulp

Las **ventajas** :

-Ausencia de superficies calientes en contacto con el alimento, evitando recalentamientos

-Rapidez del proceso (calentamiento de 1℃/s)

-Mejora de la calidad del producto procesado



Stalam. Perfil de temperaturas

PASTEURIZACIÓN - ESTERILIZACIÓN

B. Tratamiento de productos sólidos

Pasteurización de alimentos envasados







Stalam. ARF 30 KW equipment for the pasteurisation of "gnocchi" pasta in commercial packaging

Las **ventajas** :

-**Tiempos** de tratamiento muy cortos

-Mejora de **la calidad** de los productos minimizando los procesos de degradación nutricional y sensorial

Esterilización de productos envasados

Equipo piloto WSU: los alimentos envasados se sumergen en agua caliente a presión al mismo tiempo que se aplica microondas a una frecuencia de 915 MHz

Aceptación por la FDA de un puré de patata esterilizado por microondas → primera concesión a producto de baja acidez



Washington State University. Designed pilot-scale microwave sterilization system protected by a US Patent No. 7,119,313

SECADO/DESHIDRATACIÓN

Secado tras horneado de productos de panadería, pastelería, snacks, cereales, etc.

Las **ventajas** :

- Eliminación de humedad rápida y eficiente
- Mantenimiento del color, evitando sobrepardeamientos
- el **sabor** del producto se conserva
- se **reduce el agrietamiento**
- mejora de **vida útil** del producto
- el rendimiento de un horno convencional se incrementa en un 20% hasta un 40% con la reducción de dimensiones de línea y reducción de costes



Bi elle Microwave Engineering Company

HIGIENIZACIÓN/ESCALDADO

Tratamiento térmico de corta duración y moderada Tº de frutas y verduras para **higienización, inactivación enzimática y estabilización de color**, previo a otro procesado: conserva, congelación, elaboración de plato preparado, etc.

Las **ventajas** :

-**Reducción** de los **tiempos** de tratamiento

-**Reducción** de costes: menor uso de **insumos** (principalmente agua)

-**Reducción de vertidos**

- Buen **mantenimiento de las características** nutricionales y organolépticas

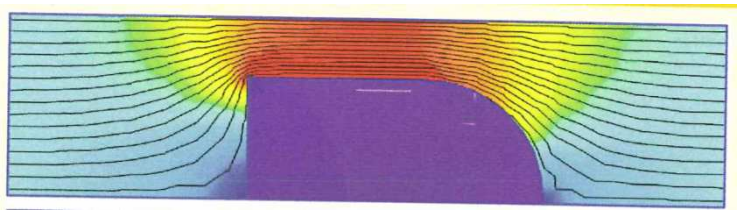


CARACTERÍSTICAS DEL CALENTAMIENTO POR MICROONDAS

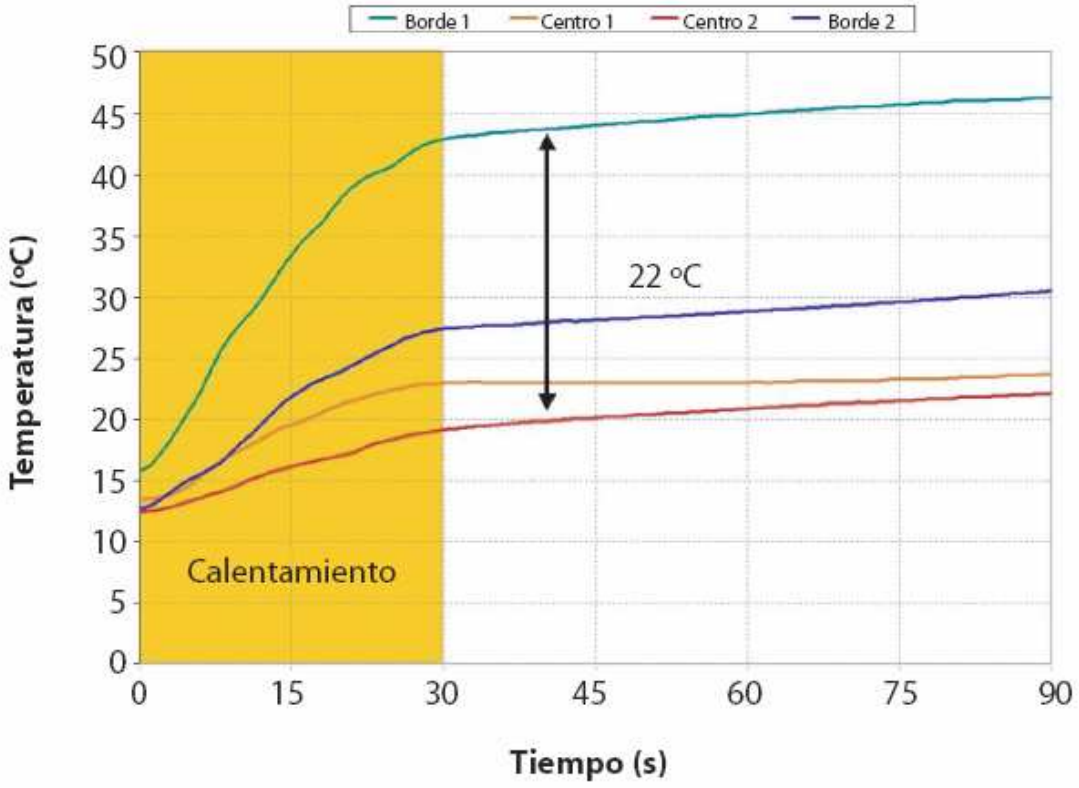
- Penetración del calentamiento, aunque limitada a unos pocos cm
- La uniformidad del calentamiento depende de múltiples factores
- Elevada velocidad de calentamiento, reducido tiempo de tratamiento lo que significa mejor conservación de las características organolépticas y nutricionales
- Calentamiento selectivo del material a través de una absorción diferenciada
- Distribución de campo controlable.

CARACTERÍSTICAS DEL CALENTAMIENTO POR RADIOFRECUENCIA

- Mayor penetración del calentamiento
- La uniformidad del calentamiento depende de la homogeneidad del producto
- Limitada velocidad de calentamiento
- Riesgo de arcos eléctricos
- Aplicaciones en descongelación y deshidratación



LIMITACIONES – PUNTOS CRÍTICOS



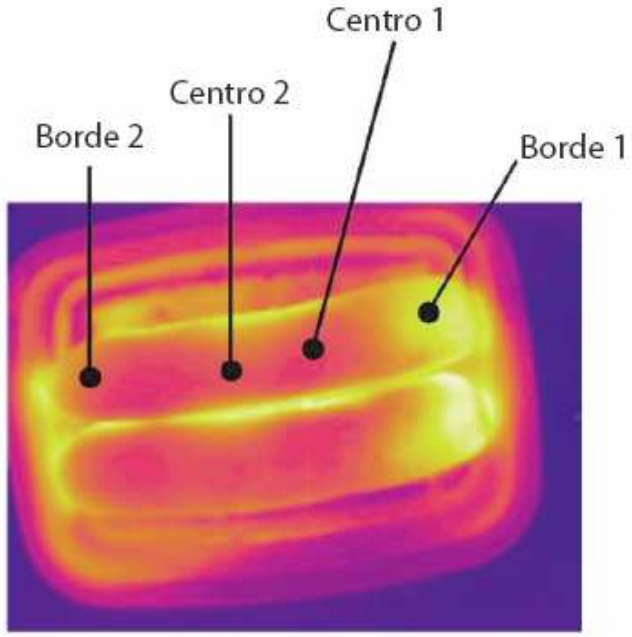


Imagen de termografía IR



TRATAMIENTOS COMBINADOS

Aire caliente, vapor, infrarrojo: calentamiento en superficie e interno simultáneos

- Post cocción de galletas
- Horneado de pizza, merengue, etc.
- Tostado de sándwiches "submarino" con calentamiento selectivo de los rellenos
- Secado de pastelería
- Horneado de productos sin corteza (pan)
- Snacks saludables

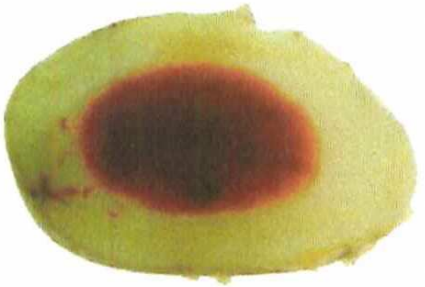
Las **ventajas** :

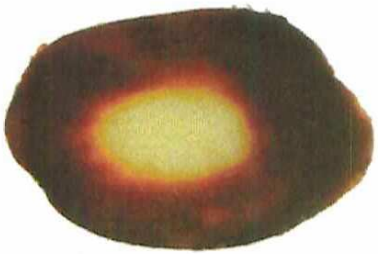
-Desarrollo de nuevos productos no posibles con otras tecnologías

-Calentamiento uniforme, incluso en productos densos

-Perfiles de humedad uniformes

-Horneado-Cocción de productos



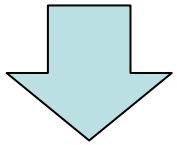




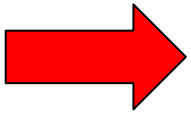
Petrie Technologies. Air MicroWave Assisted systems

El tratamiento tradicional por calor: sencillo o más estudiado: conducción de las zonas frías a las calientes.

El tratamiento de alta frecuencia es un proceso "complicado" por la dependencia del efecto de múltiples factores que además están relacionados entre sí



Desconocimiento
Retraso en la aplicación industrial



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTOS

Influencia de la geometría, la composición, propiedades dieléctricas, envase

MEJORAS EN LAS APLICACIONES

Distribución de energía de manera homogénea dentro de las cámaras de tratamiento.

Diseño de alimento y envases

DEFINICIÓN DE ENVASE ACTIVO

Envase que actúa como un **sistema coordinado** con el alimento y el entorno que trata de corregir las deficiencias de las tecnologías de conservación de los alimentos envasados, mejorando su calidad y extendiendo su vida útil.

ALTERA DINÁMICAMENTE LAS CONDICIONES DEL SISTEMA ALIMENTO-ENVASE-ENTORNO

Objetivo: Cesión o absorción de sustancias para corregir los defectos del envase y mejorar así la calidad de los productos.

MANTENER LA CALIDAD Y AUMENTAR LA SEGURIDAD
ALARGAR LA VIDA ÚTIL

ENVASE ACTIVO

- Absorbedores de oxígeno
- Absorbedores/generadores CO2
- Controladores/reguladores humedad/agentes anti-vaho
- Liberadores agentes antimicrobianos/antioxidantes…

FORMAS DE PRESENTACIÓN DEL COMPUESTO ACTIVO

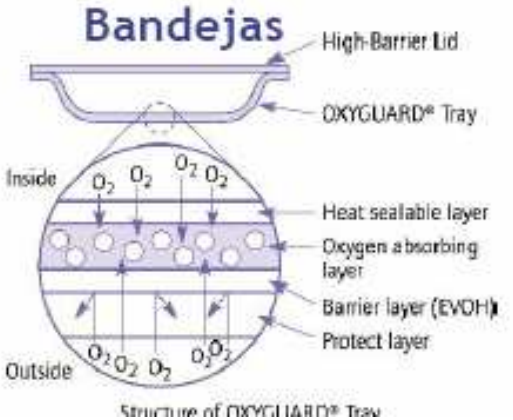
1. Componente activo en el interior del envase (bolsas, cartuchos, tapones, juntas, etiquetas, adhesivos)

2. Componente activo aplicado al envase por recubrimiento: baño o dispersión

3. Componente activo incluido en el material del envase: compound







TIPOS DE ENVASADO ACTIVO

- ✓ SISTEMAS ABSORBEDORES DE:

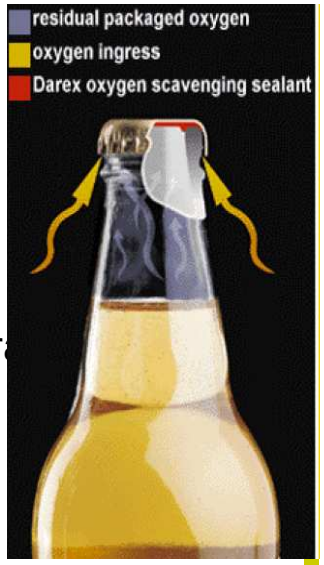


Oxígeno
Humedad
Exudados
Dióxido de carbono
Etileno
Olores (Siempre y cuando las sustancias no sean indicadoras de deterioro)

Absorbedores de oxígeno



- Ácido ascórbico
- Sales de Hierro
- Sistemas enzimáticos (glucosa oxidasa/catalasa)
- Ácidos grasos insaturados
- Sustancias fotosensibles



Aplicaciones

- Carne con alto contenido en grasa
- Pescado rico en ácidos grasos poliinsaturados, pescados cur
- Productos de panadería y bollería, galletas
- Productos lácteos como nata o queso
- Pasta, pizza, arroz, café, aperitivos, alimentos secos
- Bebidas



Absorbedores de etileno

- Permanganato potásico inmovilizado sobre sustrato mineral inerte
- Catalizadores metálicos (Paladio) inmovilizados en Carbón activo
- Zeolitas

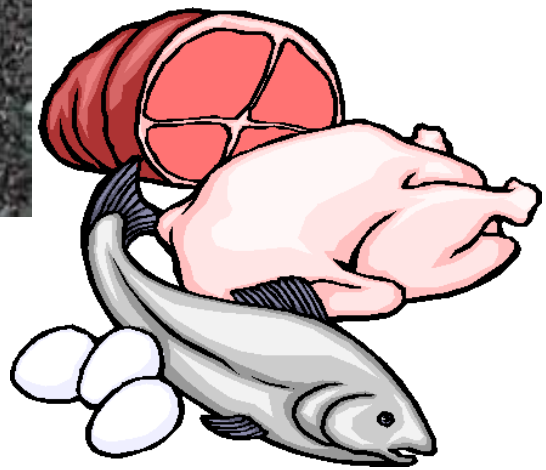




Absorbedores de olores y sabores

- Triacetato de celulosa
- Papel acetilado
- Ácido cítrico
- Sal ferrosa
- Ascorbato
- Carbón activo
- Arcillas, zeolitas

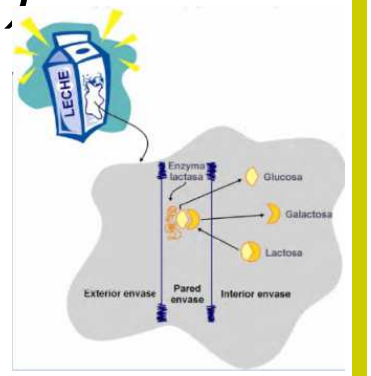




- **Eliminadores de aldehidos y cetonas: no se pueden utilizar, ya que son indicadores de deterioro**

- SISTEMAS EMISORES DE:

Inhibidores, generalmente del crecimiento microbiano (ácidos orgánicos, enzimas, aceites esenciales, iones metálicos…)
Dióxido de carbono (carbonato cálcico, carbonato de hierro,
bicarbonato sódico/ácido ascórbico…)
Vapor (almohadillas, gel superabsorbente hidratado…)
Aditivos (ácidos orgánicos, enzimas, vitaminas…)



Generadores de CO_2

- Generador de CO_2: Bicarbonato sódico → Inhibición de proliferación de microorganismos

Usos: carnes frescas, pescados, quesos

Problemas: alteraciones del sabor y textura, problemas de exudado, daños fisiológicos en vegetales frescos



Sustancias antimicrobianas y antioxidantes

Emisión de sustancias volátiles: extractos de especias volátil
temperatura ambiente: aceites esenciales

Tomillo, orégano, canela, romero…

Ejemplo: Envase de fresas con antifúngic

Migración del compon de envas
bacteriocinas (ni), ácidos
inorgánicos, tiois polifenoles
de frutas y v nzimas (li
quitinasa, glucos asa)

Liberadores de dióxido de az cloro, etanol
de carbono: los emisores de reducen el
mohos en la superficie del producto en pr
bollería, pastelería, pizzas, uva etc

Polímeros con capacidad antimic sano, alginatos,
poliamidas irradiadas

ENVASES ACTIVOS DE MAYOR INTERÉS ACTUAL ESPECIALMENTE BASADOS EN COMPUESTOS NATURALES

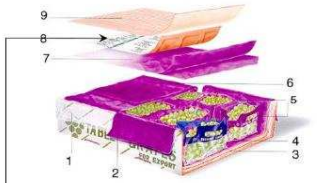


vase activo para fresas (IATA – CSIC)

Sustancias antimicrobianas y antioxidantes

Formato	Nombre comercial	Fabricante	País del fabricante
Sobres	WasaOuro (Allil-isocianato)	Lintee Còrporation (Etiquetas activadas por presión)	`Japón
	Verifrais (CO_2)	SARL Codimer	Francia
	Oitech (etanol)	Nippon Kayaku	Japón
Polímeros con Compuestos activos	Zeomic	Shinanen New Ceramics Co	Japón
	AgIon	AgIon Technologies Inc	EEUU
	Apacider	Kobico Co.	Japón
	Sanocoat	Mondi coating Zeltweg GmbH	Austria

Microbial Control Packaging



Grape Guard pad – SO_2 release



Ethicap® sachet - ethanol release (Freund Industrial)

Muchas gracias por su atención



CNTA®
Centro Nacional de Tecnología y Seguridad Alimentaria
LABORATORIO DEL EBRO

Carretera NA-134 km.50
31570 SAN ADRIAN, Navarra
T. + 34 948 670 159 F. + 34 948 696 127
www.cnta.es

