

Aspectos INDUSTRIALES

J. Lorente. *R & D Manager JBT FoodTech.*

M. Valero. *Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. Universidad Miguel Hernández.*

B. de Ancos. *Departamento de Caracterización, Calidad y Seguridad, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición, ICTAN-CSIC, José Antonio Novaís, Madrid, España.*

N. Martí. *Departamento Tecnología Agroalimentaria. Universidad Miguel Hernández.*

S. García, N. López, S. Ramos. *CNTA. Departamento de Tecnología de los Alimentos, Área I+D+i. San Adrián, España.*

B. Landajo, J. Ferrer, B. Alberdi. *Miembros de la secretaría técnica de la AEAZN. Fundación AZTI-Tecnalia. Derio, España.*

A. Esturo. *Secretaria General de EQCS. Fundación AZTI-Tecnalia. Derio, España.*

Los cambios en el consumo de alimentos han dado lugar a nuevos hábitos de compra. El consumidor reclama alimentos nutritivamente ricos, organolépticamente apetecibles, microbiológicamente seguros, con una vida útil conveniente, estabilizados mediante un procesado mínimo, fáciles de preparar y consumir.

A lo largo del presente capítulo se exponen los aspectos más relevantes del procesado industrial de los zumos y néctares de frutas, tanto del procesado convencional como de las nuevas tecnologías (microondas, pulsos eléctricos de alto voltaje, ultrasonidos, altas presiones, etc.). Además, se describen los principales sistemas de gestión de la seguridad alimentaria (BRC, IFS e ISO 22000), así como las asociaciones industriales para el autocontrol voluntario que revisan los aspectos relativos al aseguramiento de la calidad y la autenticidad de los zumos y néctares de frutas en España y en Europa (AEAZN y EQCS).

5.1. Etapas del proceso industrial de producción de zumos

5.1.1. Etapas del proceso industrial en la producción de zumos cítricos

La industrialización de cítricos para la producción de zumos, que comenzó en el mundo occidental a lo largo del siglo XVIII, ha estimulado tanto los cambios socio-

lógicos como tecnológicos del sector de la transformación de frutas.

La producción frutícola familiar ha sido sustituida por cultivos a gran escala altamente industrializados, que permiten la producción de materias primas de alta calidad. La fruta recolectada se selecciona, clasifica, almacena y posteriormente se transforma en plantas industriales de extracción de zumo. Las técnicas avanzadas en poscosecha

de frutas permiten su almacenamiento prolongado en óptimas condiciones y la transformación industrial en cualquier época del año. En este sentido y para preservar la máxima calidad del producto final es fundamental el conocimiento de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima pues así se optimizan todas las operaciones que comprenden la transformación industrial del fruto. Las características del producto final están condicionadas por diversos factores, como la materia prima, madurez, procedencia, condiciones de producción, transporte y almacenamiento del producto. La variabilidad que existe en la materia prima implica la obtención de zumos cuya composición fisicoquímica varía notablemente a lo largo de la campaña de procesamiento. Debido a esto, la industria tiende a utilizar una mezcla equilibrada de varios zumos con el fin de obtener un producto de calidad normalizado.

De la producción mundial de cítricos, casi el 40% se destina a la elaboración de zumos, principalmente frescos y concentrados. Brasil, Estados Unidos y la cuenca del Mediterráneo (España, Italia, Israel, Grecia, Egipto, Turquía) son las principales zonas procesadoras de cítricos (naranja, fundamentalmente). Se producen zumos, refrigerados o no, listos para servir no obtenidos a partir de concentrados (NFC) o directos y zumos concentrados de alta calidad (FCOJ), que suelen acaparar la mayoría de los mercados. Hay otras zonas de procesamiento de cítricos en el mundo de relevante importancia: Centroamérica (México), Japón y China.

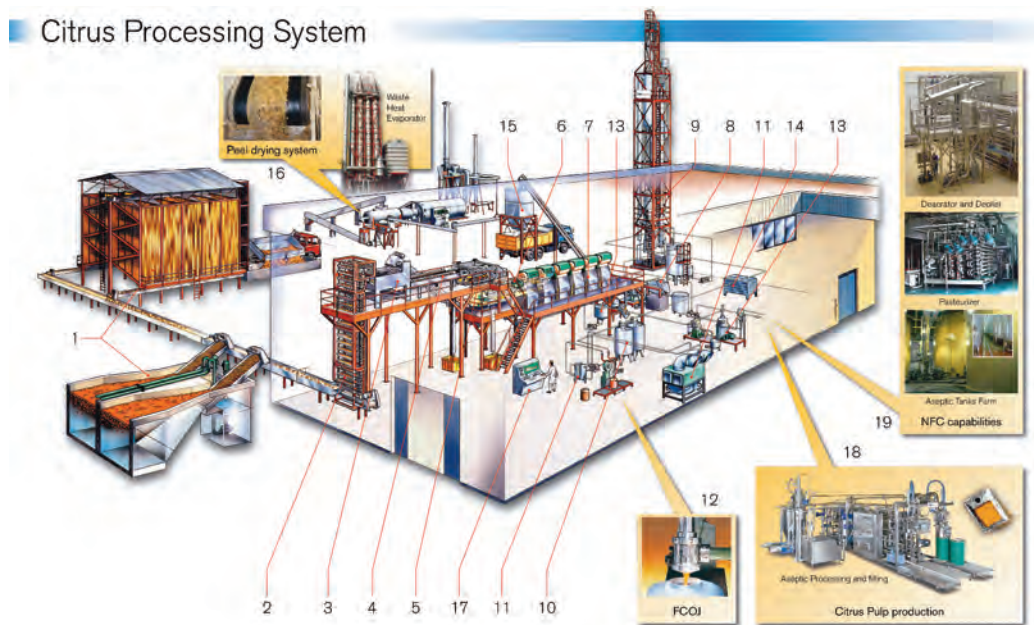
En España, algunas plantas de procesamiento de cítricos de reciente creación han sido localizadas en las áreas próximas a las zonas de producción de los cultivos, facilitando así su manipulación y transporte, lo que ha repercutido positivamente en la calidad final del zumo.

La industria de elaboración de zumos cítricos es muy rigurosa en los controles de calidad de la materia prima y de su trazabilidad si procede del campo o de las centrales frutícolas y de este modo proceder rápidamente a la transformación de la misma.

En cuanto a la producción de zumos cítricos, la fruta normalmente tiene dos orígenes:

- Excedentes de fruta para consumo en fresco. Habitualmente se destina a la extracción de zumo la fruta que ha sido almacenada durante la cosecha en centrales frutícolas y que no tiene cabida en el mercado como fruta fresca.
- Directa del árbol. Cada vez representa un porcentaje mayor en el total de transformada.

En la siguiente figura (Figura 5.1) se aprecian las etapas del esquema de producción de una línea de transformación de zumos cítricos, así como la descripción de los procesos más relevantes para la producción de zumos de calidad.



▲ FIGURA 5.1.- Diagrama de producción de zumos cítricos cedido por JBT FoodTech.

Recepción de fruta (Figura 5.1. Etapa 1,2)

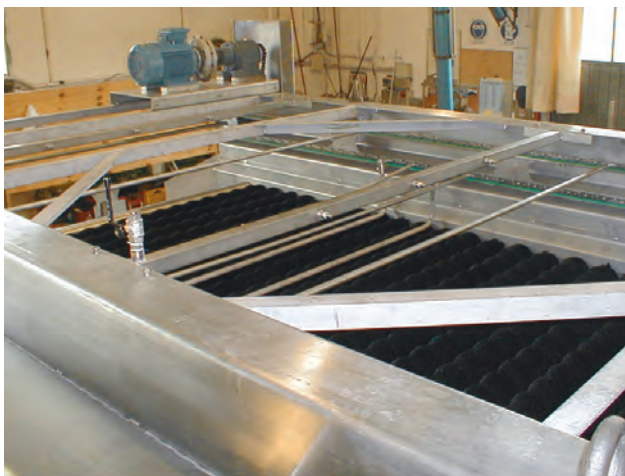
La fruta se descarga de los camiones en las áreas de recepción de la planta para su posterior procesado. Esta debería permanecer en las zonas de almacenaje un periodo máximo de 24 horas. Es conveniente que se deposite en grandes silos o balsas, de modo que la industria pueda funcionar a un ritmo constante y eficiente. En esta etapa se realizan los controles de calidad más relevantes (índice de madurez [ratio], rendimiento de extracción de zumo, porcentaje de fruta deteriorada etc.)^(1,2).

El *ratio* es importante para describir y determinar el equilibrio entre la sensación producida por el sabor dulce y ácido del zumo. En general, los consumidores prefieren productos con un ratio entre 12 y 15, aunque estas preferencias varían significativamente de una región a otra de la Unión Europea y del mundo.

Lavado de fruta (Figura 5.1. Etapa 3,4)

Antes y después del lavado se procede a la selección de la materia prima con el fin de eliminar la fruta que presenta alteraciones en superficie, tallos o restos de materiales que puedan dañar el sistema de extracción⁽³⁾.

La fruta pasa a una lavadora de cepillos, donde se eliminan restos de hojas, suciedad, aceites esenciales remanentes en la corteza y que pueden contener residuos de pesticidas poscosecha. De esta forma se evita que pasen al zumo o al aceite esencial impurezas no deseadas. Se recomienda la utilización de detergentes, que aumentan la eficiencia del lavado de la fruta y permiten reducir la población microbiana de la superficie del fruto.

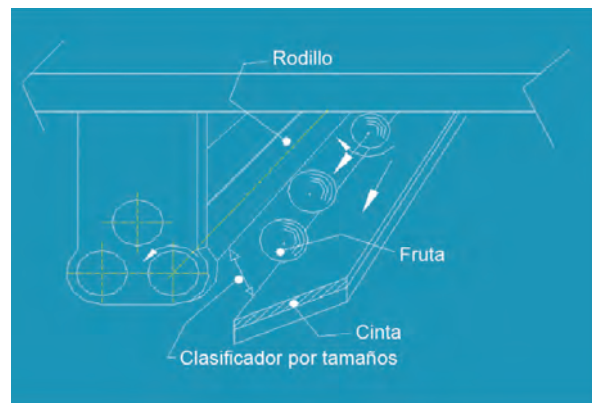


▲ FIGURA 5.2.-
Detalle del sistema de lavado.

Calibrado (Figura 5.1. Etapa 5,6)

La fruta se separa en calibres diferenciados para que se adapte al tamaño de las copas del sistema de extracción de zumo, lo que permite obtener un zumo de alta calidad y con un óptimo rendimiento de extracción. El calibrado se realiza haciendo girar la fruta a través de unos rodillos dispuestos horizontalmente y de forma paralela a una cinta de transporte.

Después del calibrado, la fruta de tamaño seleccionado (normalizado), se dirige a las bandejas de las extractoras a través de una cinta de alimentación inclinada y a su vez dividida en varios espacios (canales) para la correcta alimentación del sistema de copas de extracción. Además, este sistema permite retirar el exceso de fruta, que posteriormente se vuelve a incorporar a la extractora de zumo mediante una cinta inferior de retorno⁽³⁾.



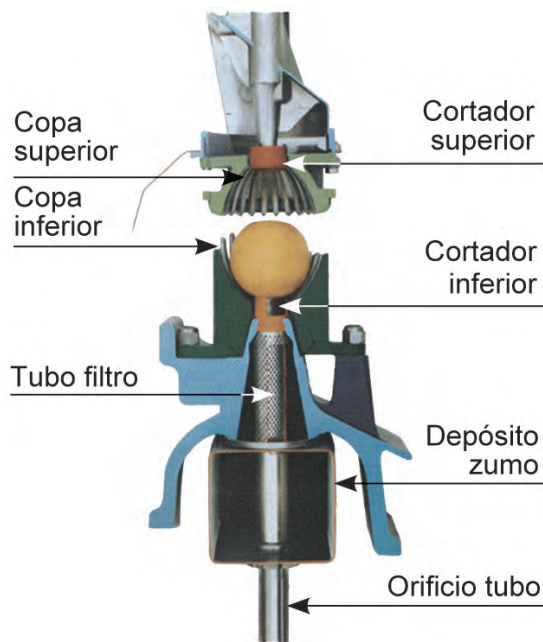
▲ FIGURA 5.3.-
Detalle de sistema de calibrado.



▲ FIGURA 5.4.-
Detalle de la cinta de alimentación inclinada.

Extracción de zumos cítricos (Figura 5.1. Etapa 7)

Actualmente, son dos los equipos de extracción más utilizados por las industrias de transformación de zumos cítricos: el JBT in-line y el Brown. Este último se emplea principalmente en EEUU.



▲ FIGURA 5.5.-
Copa de extracción del sistema JBT.

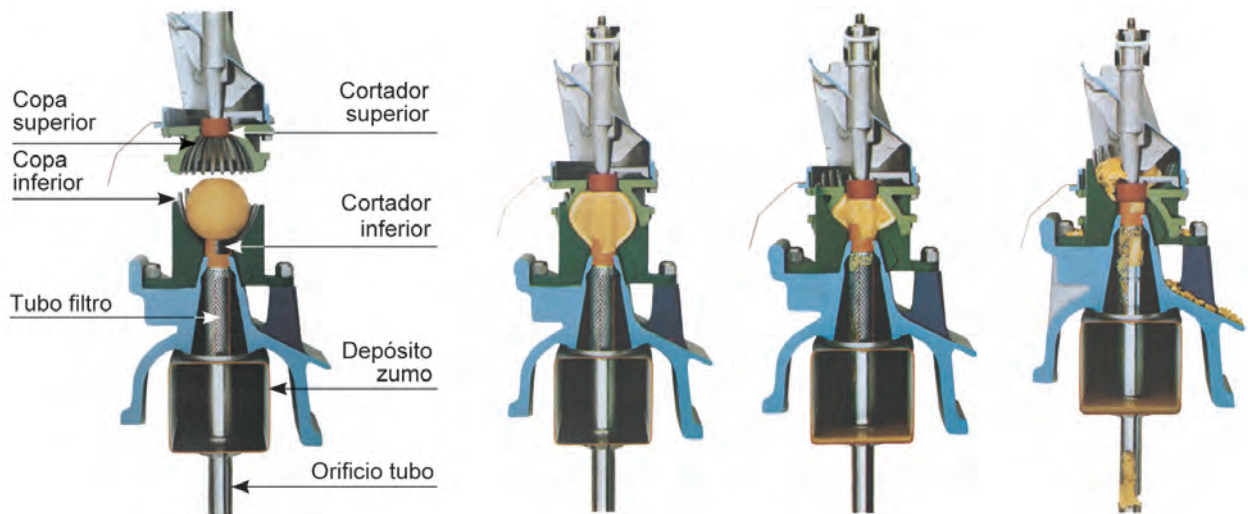
La industria de elaboración de zumos cítricos es muy rigurosa en los controles de calidad de la materia prima y de su trazabilidad si procede del campo o de las centrales frutícolas

El sistema JBT de extracción se denominó *in-line* por la disposición en serie de las copas extractoras situadas a lo largo de una línea de alimentación (Figura 5.5).

Esta tecnología se emplea para mandarinas, naranjas, limones, limas y pomelos. En la actualidad, el extractor JBT *in-line* es el que se utiliza en el 80-85% de las industrias de extracción de zumo cítrico del mundo.

Consta de tres a ocho cabezales, según el tamaño de la fruta, cada uno formado por un par de copas, superior e inferior.

Cuando se coloca la fruta en la copa inferior, la copa superior, baja y exprime la fruta, haciendo presión sobre la inferior (Figura 5.6). Un extractor JBT de cinco cabezales puede procesar entre 325 y 560 piezas de fruta por minuto, según la velocidad que se elija. Ambas copas, superior e inferior, presentan sendos orificios en la parte central con un borde cortante que abre en la parte inferior de la fruta una sección de diámetro variable y fuerza a las



▲ FIGURA 5.6.-
Etapas del funcionamiento sistema JBT in-line.

ETAPA 4

partes interiores de la fruta a pasar a través un tubo perforado.

El principio de funcionamiento se basa en la separación instantánea de los elementos constituyentes del fruto (piel, membrana, semillas y otros productos no deseables) que, de permanecer demasiado tiempo en contacto con el zumo, pueden tener una influencia adversa para la calidad final del producto. La extracción rápida evitará que pasen al zumo sustancias procedentes de las semillas, membranas y corteza que pueden ocasionar amargor y sabores extraños. En general, en todos los sistemas de extracción de zumos de cítricos es muy importante la operación preliminar de calibración de los frutos por tamaños, ya que la eficiencia de la extracción y la calidad del zumo obtenido están muy relacionadas con la correcta asignación del tamaño de fruta al tamaño de copa apropiado.

El proceso se desarrolla en cuatro etapas, las cuales se describen a continuación:

ETAPA A

La fruta, previamente calibrada por tamaños, llega al extractor a través de una cinta transportadora y se coloca automáticamente en la parte inferior de la copa.

ETAPA B

En esta fase del ciclo de extracción, la copa superior se desplaza hacia abajo provocando una presión sobre el fruto que provoca la ruptura de las glándulas que contienen el aceite esencial, liberándolo. Este aceite es arrastrado con una película de agua y se aparta como emulsión (que no entra en contacto con el resto de la fruta que se procesa) para separar el aceite esencial del agua mediante centrifugas. Posteriormente, el cortador superior rebana una fracción redonda de corteza en la parte en contacto con la copa inferior del fruto. El diseño de las copas permite que el fruto quede perfectamente sujeto, evitando que se rompa, y así se consigue una extracción uniforme durante todo el proceso.

ETAPA C

A continuación, los dedos de las copas se entrecruzan y el aumento de presión sobre el cítrico obliga a las partes interiores del fruto (zumo, pulpa, membranas y semillas) a pasar, a través del cortador inferior, al tubo filtro. Al mismo tiempo, el cortador superior corta una segunda abertura en la corteza para facilitar la salida de esta por la par-

te superior; entre la copa y la cuchilla, eliminándose por la parte superior trasera de la extractora hacia un tornillo sinfín de evacuación.

ETAPA D

Una vez finalizada la extracción, las porciones interiores del cítrico se hallan localizadas en el interior del cilindro tamizador (tubo filtro). En este momento, el tubo del orificio se desplaza hacia arriba, presionando el contenido del tubo filtro y provocando que el zumo y la pulpa pasen, a través de los orificios del tamiz al depósito colector de zumo (el tamaño de este tamiz es variable y condicionará la cantidad de pulpa flotante en el zumo). Las partes del fruto de mayor tamaño, que no pueden atravesar el tamiz del tubo filtro se descargan por un orificio inferior en el tubo de orificio y se evacuan (corazón o *core*)⁽³⁾.

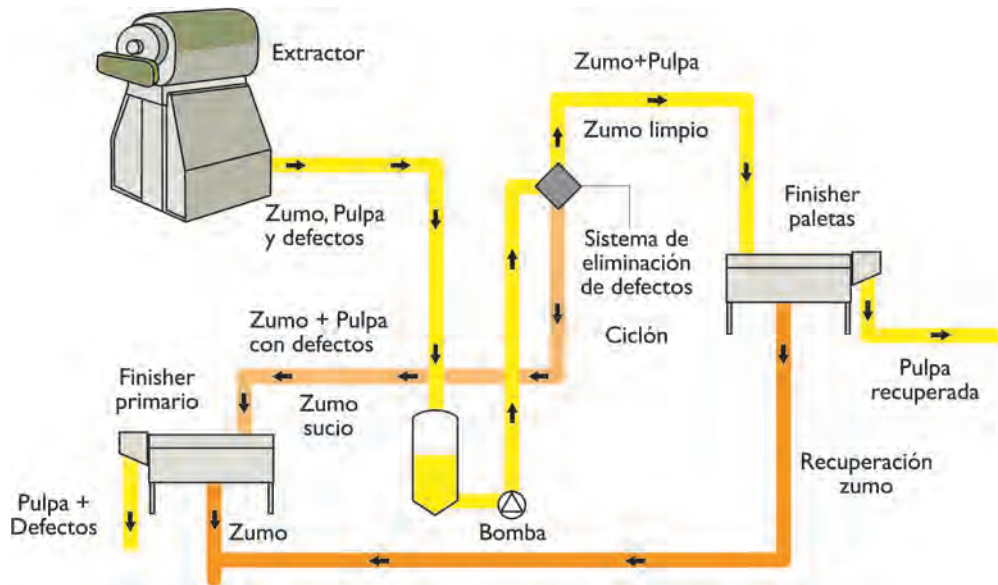
Tamizado (Figura 5.1. Etapa 8)

El zumo procedente de las extractoras se filtra a través de *finishers* (tamizadoras o finalizadores), donde se elimina el contenido en pulpa flotante. Esta pulpa se procesa como producto diferenciado. La multinacional JBT posee varios sistemas de *finishers* —de paletas, de tornillo o mixto—, mediante los cuales se consigue eliminar de forma eficiente la pulpa y las celdillas de zumo (pulpa flotante) a través de un tamiz o malla perforada de acero inoxidable. Tras esta etapa, la pulpa remanente en el zumo es pulpa precipitable que le da turbidez y que representa del 8-12%. Es posible reducir esta pulpa precipitable hasta un 3-5% con la utilización de tamices de menor perforación en los *finishers* o con centrifugas de clarificación^(2, 3).

Producción de pulpa

Para recuperar la pulpa flotante como tal, es necesario pasar el zumo pulposo procedente de la extractora y antes de su tamización a través de un ciclón (que mediante separación permite la eliminación de defectos, como restos de membranas, puntos negros, piel o semillas). Del ciclón salen dos corrientes: una limpia de defectos y otra que contiene la mayoría de estos. Esas corrientes se tamizan por separado (como se muestra en el esquema adjunto), obteniéndose dos corrientes de zumo que se procesan simultáneamente: una de pulpa limpia, que se procesa como tal; y una de pulpa y defectos, que se elimina o se utiliza en el lavado de pulpa para separar azúcares^(2, 3).

Posteriormente, la pulpa limpia se somete a un tratamiento térmico para conservarla en congelación o en séptico has-



▲ FIGURA 5.7.-
Esquema detallado de recuperación de pulpa.

ta su expedición. Este producto de alto valor añadido se puede incorporar a zumos de frutas, refrescos, yogures, galletas, etc.

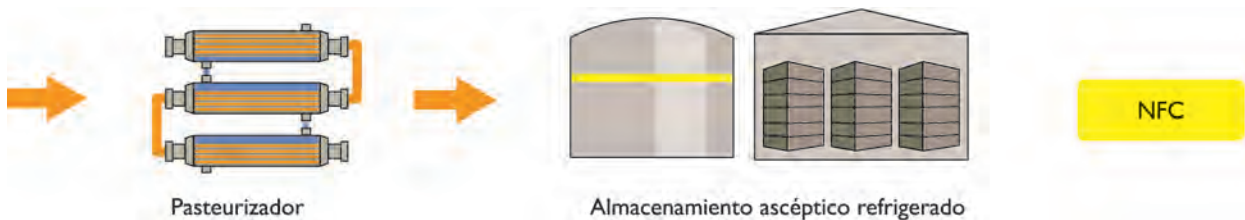
Lavado de pulpa o pulpwash

Si la pulpa no se recupera con fines industriales, se puede lavar con agua para extraerle los azúcares (sólidos solubles) procedentes del zumo residual retenido en las celdillas. Se obtendrá un licor azucarado que puede incorporarse a la corriente de zumo que va a evaporación para la producción de zumos de fruta concentrados o bien destinar a la formulación de bebidas refrescantes. Mediante este sistema es posible recuperar hasta un 7% de sólidos solubles^(2, 3).

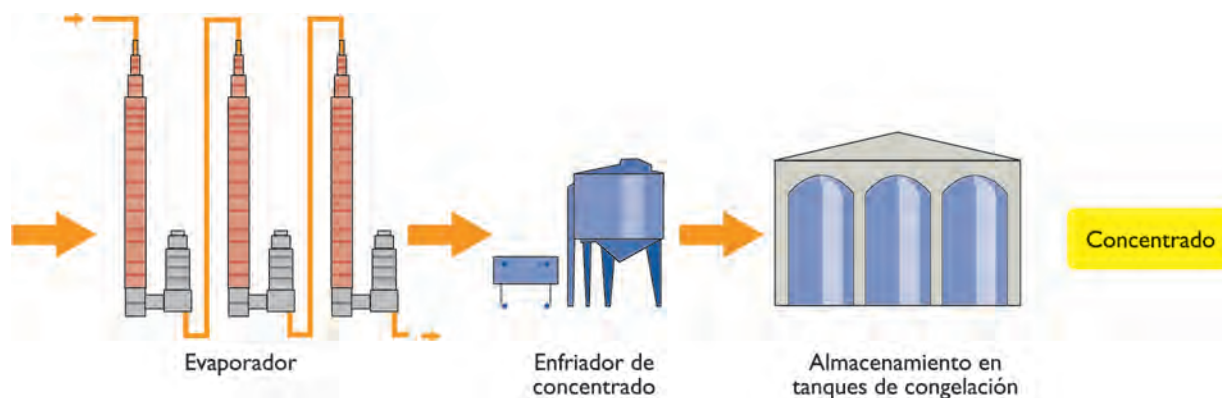
Producción de NFC (no procedente de concentrado) o directo (Figura 5.1. Etapa 19)

El principal objetivo de la producción de zumo no procedente de concentrado o zumo directo es obtener zumo de naranja aplicando el mínimo tratamiento térmico posible para su adecuada conservación.

Para la producción de zumo no procedente de concentrado o directo es necesario partir de un zumo con o sin pulpa flotante, un contenido adecuado de pulpa centrifugable y conservado mediante aplicación de un tratamiento térmico de pasteurización seguido de un rápido enfriamiento. La pasteurización es la etapa en la que el zumo se somete a un proceso de calentamiento, cuya fi-



▲ FIGURA 5.8.-
Esquema de producción de NFC.



▲ **FIGURA 5.9.-**
Producción de zumo de concentrado (FCO) (Figura 5.1. Etapas 9, 10, 11, 12).

alidad es la reducción de elementos patógenos y alteradores, tales como bacterias, mohos y levaduras. Las temperaturas de tratamiento del zumo que se requieren para asegurar la estabilidad del producto oscilan en un rango de 70-95 °C durante 15-30 segundos.

Otra opción es enfriar el zumo a 0 °C inmediatamente después de la extracción y envasarlo en frío sin pasteurizar. El enfriamiento es un sistema de desactivación enzimática alternativo al proceso de pasteurización. El zumo así tratado es de alta calidad organoléptica, con un periodo de vida útil relativamente corto, que debe ser conservado y distribuido en cadena de frío.

Antes del tratamiento térmico, se aconseja someter el zumo a un tratamiento de desaireación (para reducir el oxígeno disuelto). Con ello se puede reducir la oxidación de la vitamina C del zumo y el deterioro de las características organolépticas y mejorar el proceso de transmisión térmica. Posteriormente, el zumo tratado se puede almacenar en condiciones de refrigeración y en tanques asépticos durante un periodo no superior a un año, hasta el momento de su envasado y consumo^(2, 3).

Producción de zumo concentrado (FCO) (Figura 5.1. Etapa 9, 10, 11, 12)

El zumo concentrado es el producto más común de la industria de transformación de fruta cítrica. Para su producción, se parte de un zumo despulpado que se transfiere a un evaporador, donde se elimina la mayor parte del

agua que contiene. De esta forma se obtiene un producto con una alta concentración de azúcares que puede alcanzar hasta los 65 °Brix.

Durante la etapa de concentración/evaporación se extraen los componentes volátiles del zumo junto al agua, pero se pueden recuperar por separado en una unidad de recuperación de aromas e incorporar posteriormente al producto final. Tras la etapa de evaporación, el zumo concentrado puede almacenarse a -10 °C o envasarse en bidones de 200 L, conservándolo a -20°C hasta el momento de su expedición^(2, 3).

Envasado y Almacenaje (Figura 5.1. Etapa 18)

El objetivo principal del envasado es proteger el zumo de posibles alteraciones microbiológicas, así como evitar el deterioro de sus propiedades nutritivas y organolépticas durante el periodo de vida útil.

El envasado es muy importante para la protección de la vitamina C, el color, los aromas y el sabor del zumo, cuyas características fisicoquímicas no mejoran durante el almacenamiento^(3,4).

El tratamiento térmico del producto en combinación con el envasado aséptico es la técnica más segura para prolongar la duración del zumo. Este proceso se compone de 3 etapas: tratamiento térmico del zumo, esterilización del material del envase y finalmente, envasado en condiciones estériles. En la actualidad aumenta cada vez más el nú-

mero de productos envasados asépticamente debido a las ventajas que este sistema ofrece:

- Proporciona una larga vida útil.
- La calidad se mantiene mejor.
- El almacenado y la distribución no requieren refrigeración.

Además existen diversos factores que influyen durante el periodo de vida útil de un producto. El material del envase debe presentar una barrera eficaz frente al oxígeno, la luz, la pérdida de aromas y la entrada de microorganismos. En cuanto a las condiciones de almacenado, los factores más decisivos son la luz, la temperatura y la asepsia del lugar⁽²⁾.

También es importante destacar la influencia del tipo de envase en la conservación del zumo. El estudio de este efecto ha sido objeto de investigación de multitud de trabajos científicos. Los envases de cartón laminados tipo Tetra Pak son los más extendidos y utilizados para asegurar la vida útil del zumo envasado, debido a la alta protección contra la luz y el oxígeno que confieren, seguidos de los envases de vidrio y plástico.

Los envases de cartón laminado evitan el contacto con el medio externo, son envases compuestos de papel, aluminio (impide la entrada de oxígeno, luz y pérdidas de aromas) y polietileno (evita el contacto del alimento con el aluminio, ofrece adherencia y garantiza la protección del producto) dispuestos en seis capas protectoras⁽⁴⁾:

- Primera capa. Polietileno: protege el envase de la humedad exterior.
- Segunda capa. Papel: proporciona resistencia y estabilidad.
- Tercera capa. Polietileno: ofrece adherencia, fijando las capas de papel y aluminio.
- Cuarta capa. Aluminio: impide la entrada de oxígeno, luz y pérdida de aromas.
- Quinta capa. Polietileno: evita el contacto del alimento con el aluminio.
- Sexta capa. Polietileno: garantiza la protección completa del alimento.



▲ FIGURA 5.10.-
Imagen de envase Tetra Pak

El sistema de envasado aséptico de Tetra Pak trata el material de envase con un baño de peróxido de hidrógeno (30%) y posterior calentamiento hasta los 70 grados centígrados durante seis segundos. Ese baño se elimina luego del material de envasado aplicándole aire caliente a presión. La zona por donde se introduce el alimento líquido en el envase también debe estar libre de microorganismos potencialmente contaminantes. Esto significa que los equipos de llenado deben ser asépticos. Esto se consigue utilizando aire caliente y vapor o combinando el tratamiento de calor con una esterilización con peróxido de hidrógeno⁽⁴⁾.

Los envases de cartón laminado evitan el contacto con el medio externo. Son envases compuestos de papel, aluminio y polietileno dispuestos en seis capas

Otros procesos de recuperación en el procesado de cítricos

Recuperación de aceites esenciales (Figura 5.1. Etapa 13)

La emulsión se conduce a un tamizador vibratorio o *finisher*, que la separa de los fragmentos de *frit* o raspaduras de corteza generadas en la extracción. Posteriormente la emulsión se envía a un proceso de centrifugación en dos etapas:

1. Deslodado: elimina los sólidos en suspensión y concentra la emulsión en una crema rica en aceites esenciales.
2. Pulido: se recupera el aceite esencial puro de la crema rica⁽³⁾.

Procesado de la corteza (Figura 5.1. Etapa 15 y 16)

La corteza y los restos de pulpa extraídos del proceso de producción de zumos se conducen a unos silos de almacenaje. Estos restos se pueden transportar en camiones hasta otras zonas de manipulación (para obtener fibras, pectina, etc.) o se envían a un sistema de secado (Figura 5.1. Etapa 16), principalmente destinado a producir pellets para alimentación animal. Este sistema reduce el volumen del residuo generado hasta un 8%, debido a la reducción de la humedad de la corteza. La evaporación permite además la producción de d-limoneno, un subproducto de alto valor añadido procedente del aceite esencial de la corteza de los cítricos⁽³⁾.

Cleaning in place (CIP) (Figura 5.1. Etapa 14)

Mediante este sistema de limpieza *in situ* se realiza el lavado y desinfección de todos los equipos de la línea de producción que están en contacto con el zumo. Es un sistema compuesto de varios tanques, válvulas y bombas de alta presión que distribuyen en toda la línea y de forma automática los agentes empleados en su limpieza y desinfección (ácido clorhídrico, hidróxido sódico, detergentes, ácido peracético, etc⁽³⁾).

Sistema de control (Figura 5.1. Etapa 17)

Esta unidad de proceso está diseñada para asistir a los operarios de planta en el control de las etapas y de los equipos de la línea de producción con la mínima intervención manual⁽³⁾.

5.1.2. Procesado de otras frutas

La industria de transformación suele emplear como materias primas para la producción de zumos algunas de las frutas encontradas en la siguiente clasificación:

- Frutas de hueso: melocotón y albaricoque.
- Frutas de pepita: manzana y pera.
- Bayas: fresa, frambuesa, arándanos y otros frutos rojos.



▲ **FIGURA 5.11.-**
Productos obtenidos del procesado de la fruta.

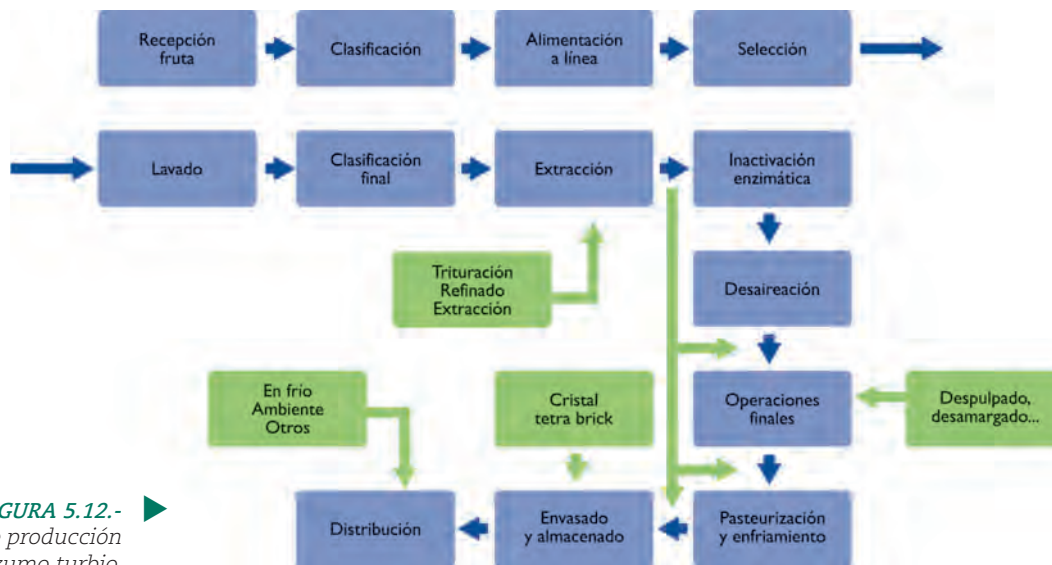


FIGURA 5.12.- Línea de producción de zumo turbio.

Del procesado de estas, fundamentalmente pueden obtenerse tres productos diferenciados (Figura 5.11):

- Puré o pulpa de fruta. Es el producto susceptible de fermentación, pero no fermentado, que se obtiene tamizando la parte comestible de frutas enteras o peladas sin eliminar el zumo.
- Zumo turbio (*cloudy*). Es el que tiene presencia de partículas en suspensión que no llegan a precipitar. Esta imagen se asocia con un producto natural y saludable.
- Zumo clarificado. Es el que se obtiene mediante un proceso de clarificación y filtración del zumo turbio. Es claro, transparente.

Desde el punto de vista tecnológico, el procesado de las diferentes frutas de pepita (manzana y pera) y algunas bayas implica diversas etapas. Para la elaboración de un zumo turbio o clarificado se comienza con el lavado, selección y trituración de la materia prima. Se continúa con un tratamiento térmico para inactivar las enzimas naturales, responsables de la oxidación y de la degradación de la estabilidad del zumo, y después se enfría a temperatura ambiente.

- Zumo turbio: una vez estabilizado enzimáticamente, se prensa el triturado para la obtención del zumo. Con el fin de reducir el contenido en pulpa a niveles aceptables (1-3%) se realiza una centrifugación del zumo. Previamente al proceso de pasteurización y envasado en aséptico, es recomendable realizar su desaireación para evitar la de-

gradación de aromas y color. El ácido L-ascórbico (vitamina C) suele añadirse como antioxidante para preservar el color (salvo en el procesado de zumos rojos).

- Zumo Clarificado: tras la trituración y un tratamiento con enzimas pectolíticas que contribuyen a la degradación de la estructura celular con el fin de mejorar la eficiencia en la recuperación de extracción, se realiza la operación de prensado. El zumo de prensa se clarifica enzimáticamente y después se separa por ultrafiltración el zumo claro.

Para la producción de zumo de piña, primero hay que cepillar y lavar la fruta y posteriormente se eliminan las piezas dañadas y enmohecidas. Una vez pelada, se tritura para realizar la molturación de la pulpa. Esta masa se calienta a 60 °C para degradar la estructura fibrosa y favorecer la extracción de zumo. Habitualmente se realiza un tratamiento enzimático para reducir la viscosidad y el tiempo de prensado. El zumo bruto contiene excesiva pulpa en suspensión por lo que se envía a un segundo sistema de tamizado y clarificación mediante centrífuga para eliminar sólidos en suspensión, que oscilan del 5 al 30% según los estándares de calidad del Departamento de Agricultura de los EE.UU. (USDA, por sus siglas en inglés). Esta operación debe realizarse con la mínima aireación posible para proteger el aroma y color del zumo elaborado. En la producción de zumo directo se realizará un tratamiento térmico que oscila entre los 86 y 96 °C en función del sistema de llenado empleado (caliente o frío) para su posterior almacenado en bidones. El zumo de piña comercial se importa como zumo congelado y concentrado entre 61 y 72 °Brix₍₅₎.



▲ **FIGURA 5.13.-**
Línea de producción de zumo clarificado.

Frutas de hueso

La mayoría de la producción de frutas de hueso está destinada al consumo en fresco, pero una parte importante, se destina a la industrialización para la elaboración de puré o cremogenado (melocotón o albaricoque). Las primeras etapas son el acondicionamiento, lavado y selección de la fruta, operaciones comunes en las industrias de extracción de zumos. En el caso de algunos frutos, la piel tiene un color inconveniente para el producto final. En estos casos se realiza una extracción en frío del puré para minimizar el efecto en el color. Inicialmente se deshuesa la fruta.

Posteriormente la fracción troceada se conduce a un molino de martillos y se tritura a un tamaño determinado. El producto resultante se inactiva enzimáticamente mediante un tratamiento de calor, en un intercambiador tubular. Después se refina a través de un sistema de dos o más pasadoras hasta obtener una crema. La primera pasadora tiene un tamiz de orificio mayor, donde se recogen como rechazo las partes más gruesas del fruto, restos de epidermis y pequeños trozos de huesos. La segunda pasadora lleva un tamiz algo más fino (0,8-0,4 mm) con el fin de conseguir un puré o cremogenado estandarizado en contenido y tamaño de pulpa, en función de las especificaciones técnicas del producto.

Previamente a la pasteurización y enfriado se realiza la desaireación, que facilita la transmisión térmica y mejo-

ra la calidad nutritiva y organoléptica del producto. Durante la desaireación se retiran aromas del puré que se pueden recuperar y reincorporar al producto final. El puré o cremogenado se suele almacenar en envases o depósitos estériles y además se puede concentrar y congelar en bidones hasta su expedición⁽⁶⁾.

Zumo de uva

Las etapas de producción del mosto difieren según se emplee uva blanca o tinta, en función del contenido en azúcares, compuestos fenólicos, etc. La materia prima de partida debe estar libre de enfermedades criptogámicas y con una buena relación azúcar/acidez. Para obtener un mosto de calidad es imprescindible un control exhaustivo del proceso de selección y transporte de la materia prima, así como de las condiciones de asepsia e higiene en la planta de transformación.

Las operaciones más relevantes en la elaboración de un zumo de uva son: lavado, selección, despallado o estrujado directo, prensado, tamizado, desfangado, centrifugación, clarificación y pasteurización.

La elaboración de mostos de uva tinta incluye una etapa de maceración en contacto con el hollejo para extraer todos los pigmentos responsables del color que se encuentran en él. Un zumo de uva conservado sería aquel que en la etapa de estrujado se trata con con-

servantes autorizados (ácido ascórbico, sorbato sódico, benzoato sódico o anhídrido sulfuroso) y después se somete a pasteurización.

A diferencia de otras frutas con periodos de recogida más amplios, el corto periodo de recogida de la uva y la gran producción de zumo de este fruto que existe en España obliga a las industrias de transformación a evaporar parcialmente el agua que contiene el zumo hasta alcanzar una concentración de sólidos solubles superior a 50 °Brix, pues de ese modo ocupa un menor espacio. Antes de este proceso es necesario eliminar los cristales de bitartrato potásico que se forman por el alto contenido en ácido tartárico que posee el zumo de uva y que pueden dar lugar a precipitaciones en los bidones conservados a temperaturas de congelación.

Ningún zumo de uva comercial debe contener un grado alcohólico superior al uno por ciento en volumen^(6, 7).

Zumo de tomate

La transformación del tomate incluye múltiples productos comerciales. Para la elaboración de zumo, las etapas más relevantes del proceso incluyen el lavado de la materia prima, que normalmente se realiza por inmersión. Después se lleva a cabo una selección, eliminando aquellos ejemplares que no reúnan los requisitos cualitativos establecidos (verdes, rotos, etc.).

La selección se puede realizar de forma manual o automática. Los tomates se trituran y después se separan el jugo y la pulpa de la piel y las semillas mediante un tamiz. Durante el triturado y extracción del zumo, se calienta el triturado para inactivar las enzimas que degradan la estabilidad del zumo (hot break) y pueden disminuir su viscosidad. El proceso de extracción también se puede realizar en frío (cold break). El zumo de tomate tiene un pH próximo a 4,5, lo que lo sitúa en una zona que exige un proceso de esterilización más agresivo. La pasteurización del zumo se efectúa con tratamientos comprendidos entre los 99-120 °C, con diferentes tiempos.

Posteriormente se conserva en envases que suelen ser metálicos, de vidrio, o de combinaciones cartón-plástico-aluminio. La elección de cada envase depende de la presentación final que se desee dar al producto y del tiempo y las condiciones en las que se quiera conservar⁽⁷⁾.

5.1.3. Aprovechamiento y valorización de los subproductos de la industria de zumos

Los residuos de frutas y hortalizas que se generan en la industria del procesado de zumos suponen un gran volumen de destró de alta biodegradabilidad. La minimización y valorización de estos residuos presenta una doble ventaja:

I. Se reduce la carga contaminante, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector.



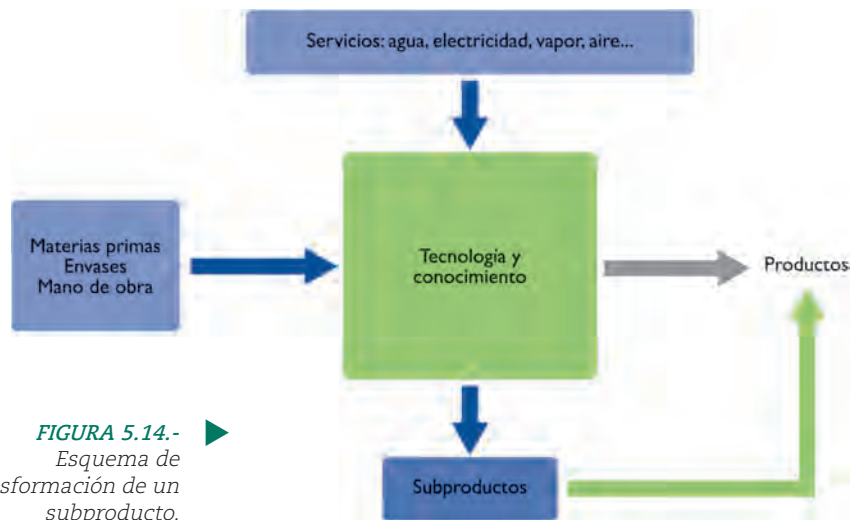


FIGURA 5.14.- Esquema de transformación de un subproducto.

2. Se obtiene un mejor rendimiento de las materias primas mediante su uso integral.

La tendencia del sector de transformación es trabajar hacia una productividad sostenible que incluya el diseño de productos innovadores, la reducción y gestión de las emisiones y la mejora de los procesos y aprovechamiento de los subproductos generados.

Durante las últimas décadas ha aumentado el interés en el aprovechamiento de residuos generados por las empresas agroalimentarias y que deben gestionarse por cuestiones como:

(a) Los requisitos de calidad iniciales conducen a que se deseche un gran número de piezas o productos por no cumplir con las especificaciones, tanto de materia prima como producto final.

(b) La eficiencia del proceso condiciona el mayor o menor aprovechamiento de la materia prima inicial.

(c) Los requisitos ambientales exigen una correcta gestión de los residuos y subproductos generados en las industrias.

En muchos casos estos residuos se pueden considerar subproductos con una potencial aplicación, suponiendo un be-



FIGURA 5.15.- Las cortezas de la fruta son una fuente de melaza, pectina, aceite esencial y d-limoneno.



▲ FIGURA 5.16.-
La pulpa de la manzana se considera una fuente importante de fibra y pectina.

neficio importante para la industria transformadora que, por un lado, se deshace de productos de difícil acumulación y, por el otro, obtiene un provecho de ello. Solucionar este problema y desarrollar sistemas optimizados para el tratamiento de los residuos vegetales se ha convertido en una de las máximas prioridades de este tipo de industrias⁽⁸⁾.

Un subproducto es una consecuencia del proceso industrial que no tiene valor comercial y que debe estudiarse para su conversión en producto comercial.

En la producción de zumos cítricos, el 30-50% del peso del fruto transformado son residuos.

Las cortezas son una fuente de melaza, pectina, aceite esencial y d-limoneno. Además pueden usarse para la alimentación de ganado, previamente deshidratadas o mezcladas. Las fracciones de volátiles se emplean para la elaboración de perfumes, cosméticos, productos de limpieza, etc. Las pieles y las semillas son una fuente interesante de compuestos fenólicos, que incluyen flavonoides y ácidos fenólicos. Las semillas son además ricas en ácidos grasos insaturados y de ellas se extraen limonoides, que son los triterpenoides típicos de los cítricos, de sabor extremadamente amargo y con posible actividad anticancerígena y quimiopreventiva.

Otro de los subproductos de interés que se obtiene a

partir de los residuos de cítricos es la fibra alimentaria. La mayor ventaja de la fibra alimentaria procedente de los cítricos, en comparación con otras fuentes alternativas como los cereales, es su gran proporción de fibra alimentaria soluble⁽⁹⁾.

La pulpa producida al prensar las manzanas trituradas contiene alrededor de un 20-30% de extracto seco, 1,5-2,5% de pectina y 10-20% de hidratos de carbono. Normalmente la pulpa se utiliza directamente o tras un proceso de secado como alimento para el ganado, pero esto exige una planificación cuidadosa, ya que hay que deshacerse de ella en 24 horas.

La pulpa de manzana además puede usarse como fuente de fibra dietética y para la producción de pectina. Durante los últimos años se ha reducido considerablemente el volumen de residuos de la producción de zumo de manzana gracias a la licuefacción del triturado con enzimas y la extracción secundaria de la pulpa con agua. También se puede emplear como ingrediente funcional en la producción de gelatinas⁽¹⁰⁾.

La pulpa de manzana se considera una fuente importante de compuestos fenólicos. El alto contenido en polifenoles es consecuencia de la presencia de procianidina, flavonoles (rutina, quercitina, isoquercitina), flavanoles (epicatequina, procianidina), antocianinas y ácido cafeico entre otros⁽¹¹⁾.

Durante el procesado del melocotón se generan residuos sólidos en grandes cantidades. Estos residuos están formados por los huesos y el conjunto de piel y pulpa que constituye entre el 7 y el 10% del peso.

El conjunto de piel y pulpa se aprovecha para la obtención de energía mediante procesos fermentativos y la obtención de sustancias de alto valor añadido como aromas y pectina.

Mediante la fermentación de este tipo de residuos se puede obtener metano, etanol e hidrógeno, empleándose un proceso fermentativo diferente en función del producto que se quiera conseguir. La producción de biogás se realiza mediante bacterias metanogénicas, que descomponen los tejidos orgánicos de los residuos en un ambiente húmedo y en ausencia de oxígeno. Durante este proceso de descomposición, algunos compuestos se transforman en compuestos minerales, que se pueden emplear como fertilizantes.

Además, el residuo de hueso que se genera en la etapa de deshuesado durante el procesado del melocotón puede utilizarse en la producción de energía, como ocurre con las pieles y la pulpa, para la fabricación de carbón activo y la obtención de aceites esenciales⁽¹²⁾.

El último tratamiento que se está aplicando para el aprovechamiento energético de este tipo de residuos es la gasificación en lecho fluidizado. Se ha comprobado que la com-

bustión de huesos de melocotón presenta algunas ventajas con respecto a la combustión de otros huesos, como, por ejemplo, los de albaricoque, pues generan mayor potencia calorífica y producen menos contenido en cenizas.

Los hollejos como subproducto de la producción de zumo de uva suponen aproximadamente un 20% del peso total del racimo y son ricos en polifenoles.

Los principales subproductos se producen en el despalillado (raspones) y en el prensado (hollejos, pepitas y lías). Debido al alto contenido en polifenoles de estos residuos, es aconsejable la extracción de los compuestos polifenólicos previamente a su manipulación para alimentación animal o compostaje. De hecho, numerosos estudios recientes han resaltado los efectos beneficiosos para la salud humana de los polifenoles presentes en la uva y el vino⁽¹³⁾.

De los hollejos de la uva se han extraído una gran variedad de compuestos, como etanol, tartratos, ácido cítrico, hidrocoloides, fibra dietética, mientras que del prensado de las pepitas se obtiene aceite⁽¹⁴⁾. Los principales compuestos fenólicos presentes en los hollejos de la uva son: antocianinas, catequinas, glucósidos de flavonoles, ácidos fenólicos, alcoholes y estilbenos.

Se considera subproducto de tomate el conjunto formado por semillas y pieles que queda tras su procesado. Cabe destacar el poder nutritivo de dicho residuo por su elevado contenido en fibra, proteína y ácidos grasos insaturados.

Se puede decir que el residuo de tomate contiene un 59,03% de fibra, 25,73% de azúcares, un 20% de proteína, 7,55% de pectinas, 5,85% de grasa y 3,92% de minerales. El aceite de las semillas del tomate tiene alto contenido en ácidos grasos insaturados (del orden de 75% y principalmente linoleico) y bajo en saturados (del orden de 25%, sobre el total de ácidos grasos). Dicha composición es de elevado interés para el consumo humano por el efecto positivo de los ácidos grasos insaturados en el sistema cardiovascular⁽¹⁵⁾. En cuanto a la presencia de sustancias antioxidantes, en el residuo de tomate se encuentra gran cantidad de carotenoides (5,1-6,3 miligramos por 100 gramos de peso fresco), de entre los cuales el mayor constituyente es el licopeno (70-80%), que es el principal responsable del color rojo intenso del tomate maduro (Figura 5.17).

Cabe señalar que las pieles contienen cinco veces más licopeno que la pulpa y que dichas cantidades se pueden



FIGURA 5.17.-
El zumo de tomate es una rica fuente de licopeno.

ver afectadas por la variedad del tomate, su estado de maduración y las condiciones ambientales y agronómicas que se den durante su crecimiento⁽¹⁶⁾.

5.2. Innovación. Tecnologías emergentes de procesado

5.2.1. Tecnologías emergentes de extracción, deshidratación y obtención de compuestos activos

Los procesos de extracción se utilizan ampliamente en la industria alimentaria. En la obtención de zumos, estos procesos se ven dificultados por las envolturas celulares (membrana plasmática y pared celular). Actualmente, para favorecer la extracción evitando los problemas de paso de compuestos a través de las envolturas celulares, estas se rompen o permeabilizan mecánicamente aplicando métodos térmicos, lo que provoca la desnaturalización de las membranas, o recurriendo a técnicas más recientes, mediante tratamientos enzimáticos. Sin embargo, en muchos casos el producto resultante no presenta las mejores características organolépticas o el tratamiento no resulta suficientemente eficaz.

Por otro lado, algunos zumos proceden de concentrados de fruta o deshidratados, en cuyo proceso de elaboración

una de las fases de mayor importancia es la eliminación de parte de su contenido en agua. Finalmente, los subproductos de la elaboración de zumos, como el ácido ascórbico, los polifenoles, carotenoides o tocoferoles, ricos en compuestos antioxidantes y actualmente muy utilizados para enriquecer otros productos, no se valorizan adecuadamente por falta de rendimientos apropiados o por pérdida de actividad de los compuestos.

En las últimas décadas, ha surgido un gran interés por la mejora de estos procesos de extracción, deshidratación y obtención de compuestos bioactivos. El objetivo es acelerar y/o aumentar su rendimiento, afectando lo menos posible a las propiedades de las matrices alimenticias. Entre las tecnologías propuestas para conseguir este propósito, cabe destacar el calentamiento mediante microondas, los ultrasonidos y los pulsos eléctricos de alto voltaje^(17,18). En la actualidad, algunas de estas tecnologías están en fase de investigación. Otras, en cambio, como la extracción mediante fluidos supercríticos, ya se utilizan en la industria para la obtención de distintos componentes.

5.2.1.1. Pulsos eléctricos de alto voltaje

La tecnología de los Pulsos Eléctricos de Alto Voltaje (PEAV) consiste en la aplicación intermitente de campos eléctricos de alta intensidad (1-80 kV/cm) y corta duración (μ s) a un material colocado entre dos electrodos⁽¹⁸⁾. Estos tratamientos provocan la permeabilización de las membranas citoplasmáticas y su aplicación en la industria alimentaria permite mejorar tanto los procesos de extracción, deshidratación y obtención de compuestos del interior celular como la inactivación microbiana, logrando así la pasteurización de alimentos. Los tratamientos que hay que aplicar para un caso u otro y a pesar de que la tecnología sea la misma son muy diferentes y dependen de los parámetros de procesado que se hayan fijado, así como del tamaño de las células que sea preciso permeabilizar. Los parámetros de procesado más importantes en estos tratamientos son la intensidad de campo eléctrico aplicada, el tiempo de tratamiento y la energía específica⁽¹⁹⁾, además de la temperatura del medio de tratamiento. En cuanto al tamaño celular, para la permeabilización de células eucariotas, es suficiente con aplicar una intensidad de campo eléctrico superior a 1 kV/cm e inferior a 10 kV/cm, mientras que para procariotas, es necesaria la aplicación de tratamientos superiores a 16 kV/cm. Dados los avances de los últimos años en el desarrollo de equipos de PEAV que permitan trabajar a los volúmenes que la industria alimentaria requiere, se prevé su implantación industrial a corto plazo.



Algunos de los resultados más relevantes en la mejora de extracción mediante PEAV, solos o en combinación con otras tecnologías, se han visto en la extracción de zumo de zanahoria, manzana, uva, remolacha roja o leche de coco, con mejoras superiores al 20% de rendimiento y mayor concentración de compuestos activos^(20,21,22,23,24,25,26,27,28).

Los estudios en procesos de preextracción de zumos de frutas muestran que las mejoras de rendimiento que se consiguen con esta tecnología permitirían eliminar el uso de tratamientos térmicos o enzimáticos previos a la extracción o reducir la presión aplicada, alcanzando mejores rendimientos a un coste del orden de 0,5 a 1 €/t.

5.2.1.2. Microondas

Las microondas son ondas electromagnéticas cuya frecuencia está comprendida entre 300 MHz y 300 GHz, aunque para la industria alimentaria se está trabajando a 915 ó 2450 MHz. El calentamiento por microondas se ha propuesto como alternativa a los tratamientos térmicos tradicionales en distintos procesos de la industria alimentaria, como la deshidratación de los alimentos. El secado mediante microondas permite un rápido calentamiento del interior del alimento, lo que incrementa la velocidad del proceso, fundamentalmente en la fase final⁽²⁹⁾. Generalmente, el secado de alimentos o ingredientes con alto contenido de humedad (superior a un 20%) por microondas no resulta económico, sin embargo, la combinación del calentamiento con microondas y el secado con aire caliente, frente al secado convencional, permite un ahorro de tiempo. Gracias a la disminución del tiempo y de la temperatura de secado se consigue que el producto retenga más componentes volátiles y conserve un aspecto más similar al del producto fresco. La combinación de microondas y vacío permite, además, que la eliminación de agua se realice a bajas temperaturas, lo que ayuda a mantener mejor las cualidades del alimento, al reducirse los procesos de oxidación, y a obtener texturas más crujientes en los productos que se consumen sin rehidratar. Las limitaciones del proceso las imponen únicamente la potencia de las microondas (W/kg) dentro de la cámara, el límite de penetración de las microondas en el alimento húmedo y la falta de homogeneidad del tratamiento.

5.2.1.3. Ultrasonidos

Los ultrasonidos permiten la mejora de distintos procesos de transferencia de masa mediante el incremento de la superficie de transferencia de masa, la mejora de la penetración de los solventes en la matriz y la ruptura de las

Algunos de los resultados más relevantes en la mejora de extracción mediante PEAV, solos o en combinación con otras tecnologías, se han visto en la extracción de zumo de zanahoria, manzana, uva, remolacha roja o leche de coco, con mejoras superiores al 20% de rendimiento y mayor concentración de compuestos activos

membranas celulares provocadas por el fenómeno de cavitación. Los efectos de los ultrasonidos se atribuyen fundamentalmente a los cambios bruscos de presión que se generan en el líquido como consecuencia de la implosión, capaz de romper membranas celulares.

Se han realizado numerosos estudios mediante la aplicación de tratamientos ultrasónicos dirigidos a la mejora de la extracción de distintos componentes alimentarios con diferentes solventes, así como a la mejora de la extracción de compuestos bioactivos⁽¹⁹⁾. Se ha demostrado, además, que aceleran la entrada de solutos como sal o azúcar durante la deshidratación osmótica de frutas y carne.

Los principales problemas de esta tecnología para su aplicación industrial son el desarrollo de generadores ultrasónicos que permitan aplicar los tratamientos a gran escala y la necesidad de ajustar la intensidad del tratamiento para evitar la degradación excesiva de la pared celular; con la consiguiente liberación al medio de sustancias no deseables.

5.2.2. Tecnologías emergentes de proceso de conservación

5.2.2.1. Tecnologías térmicas

Las nuevas tecnologías térmicas –microondas, radiofrecuencia y calentamiento óhmico– están ganando un creciente interés, debido a una serie de ventajas que ofrecen respecto al tiempo de procesado, el margen costo-efectividad, la garantía de seguridad sanitaria y la preservación de las propiedades sensoriales y nutritivas de los elaborados de frutas y verduras.

Microondas y radiofrecuencia

El calentamiento por ondas electromagnéticas, tanto microondas como radiofrecuencias, se basa en la agitación de las moléculas polares (por ejemplo, el agua) presentes en los alimentos. Ambos sistemas de calentamiento se diferencian entre sí por la forma de generar el calor y por la frecuencia (principalmente 2450 y 915 MHz para microondas y 27,12 MHz para radiofrecuencia). Con estas tecnologías se pueden alcanzar temperaturas elevadas en un tiempo reducido, por lo que se presentan como una alternativa viable a la pasteurización de zumos. Ofrecen beneficios similares a los de los métodos convencionales, pero con una mejor calidad del producto al reducir el tiempo de exposición a la energía⁽³⁰⁾.

La tecnología de microondas es bien conocida y se ha convertido en una herramienta importante en las cocinas domésticas. A nivel industrial, existe equipamiento disponible para el tratamiento de alimentos, tanto en continuo como tras el envasado. Sin embargo, la aplicación de ondas electromagnéticas se ha visto frenada por varios problemas: el coste del equipamiento, la necesidad de disponer de personal cualificado, la falta de uniformidad del calentamiento o la falta de materiales adecuados de embalaje. Influye también la complejidad del mecanismo y el desconocimiento de los factores que afectan al tratamiento —como las constantes dieléctricas del producto, su geometría, su composición— y el diseño de los equipos^(31,32).

Se ha investigado y debatido la efectividad de la radiofrecuencia y los microondas para la inactivación de microorganismos y enzimas en zumos en varios estudios^(31,33,34,35,36,37,38). El efecto térmico es el principal mecanismo de destrucción. Existe controversia acerca de los posibles efectos no térmicos, no relacionados con la mortalidad causada por el calor; como la electroporación, la ruptura de la membrana celular y lisis celular; pues existen resultados contradictorios al respecto y, de momento, no han sido demostrados⁽³²⁾. Por tanto, si no se tienen en consideración estos posibles efectos adicionales, la cinética de inactivación microbiana de las microondas es esencialmente la misma que la cinética de inactivación del tratamiento térmico convencional.

Por otro lado, varios estudios demuestran la idoneidad de los microondas para la pasteurización de zumos de frutas, al preservar las características organolépticas del producto y minimizar el riesgo de pérdida de nutrientes termolábiles⁽³⁶⁾. En el zumo de naranja y de pomelo, el tratamiento por microondas permite una mejor preserva-

ción del ácido cítrico, el ácido ascórbico (vitamina C) y la actividad antioxidante, si se compara con un calentamiento tradicional⁽³⁹⁾. Además, en el zumo de uva no se observan diferencias significativas en el contenido de flavonoides según se aplique un tipo u otro de procesado térmico⁽⁴⁰⁾.

Calentamiento óhmico

Cuando los materiales contienen suficiente agua y electrolitos para permitir el paso de corriente eléctrica, el calentamiento óhmico se puede usar para generar calor en el producto⁽⁴¹⁾. El calentamiento óhmico se define como un proceso en el que una corriente eléctrica (por lo general alterna) pasa a través de un material con el propósito principal de calentarlo⁽⁴²⁾. El calentamiento se produce por una transformación de la energía interna (de eléctrica a térmica) en el material⁽⁴³⁾, que permite aumentar su temperatura a gran velocidad, desde unos pocos segundos a unos pocos minutos, sin necesidad de superficies calientes de contacto⁽⁴⁴⁾. Existe actualmente equipamiento a nivel industrial para el procesamiento de productos en flujo continuo, como zumos de frutas, sopas, salsas o huevo líquido⁽⁴⁵⁾.

Los principales mecanismos de inactivación microbiana son de naturaleza térmica. Algunas investigaciones recientes indican que el calentamiento óhmico también puede ocasionar daños celulares no térmicos debido a la presencia del campo eléctrico, que provocaría la aparición de poros de membrana^(46,47,48). Las cinéticas de inactivación microbiana del calentamiento óhmico son similares a las del calentamiento convencional, a excepción de una diferencia en la pendiente, que muy probablemente se explica por la presencia del campo eléctrico⁽³²⁾.

Leizeron y Shimoni⁽⁴⁹⁾ estudiaron cinco componentes representantes del aroma del zumo de naranja: decanal, octanol, limoneno, pineno y mirceno. Los ensayos demostraron que los niveles de estos compuestos eran significativamente mayores en las muestras tratadas mediante calentamiento óhmico que en las pasteurizadas de forma tradicional. Por otra parte, Yildiz y col.⁽⁵⁰⁾ observaron que el zumo de granada tratado mediante calentamiento óhmico y el tratado por calentamiento tradicional presentan similares valores en cuanto a las propiedades reológicas, color y contenido de fenoles totales.

5.2.2.2. Tecnologías no térmicas

Aunque tradicionalmente los tratamientos de pasteurización se han asociado exclusivamente con el calor; en la actua-

lidad, se consideran otras técnicas no térmicas como la alta presión hidrostática (APH), los ultrasonidos, los pulsos de luz ultravioleta, los pulsos eléctricos de alto voltaje (PEAV) y, más recientemente, la homogeneización a ultra alta presión (UHPH) y el plasma de baja temperatura.

A este respecto, la pasteurización ha sido recientemente redefinida por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América como "cualquier proceso, tratamiento o combinación que se aplica a los alimentos para reducir la población del microorganismo más resistente con relevancia en la salud pública, hasta un nivel que no suponga un riesgo para la salud pública en unas condiciones normales de distribución y almacenamiento"⁽⁵¹⁾. Por tanto, esta definición incluye los procesos no térmicos de pasteurización, demostrando que con su aplicación se consiguen niveles de inactivación de microorganismos patógenos equivalentes a los que se obtienen con el tratamiento térmico. Así, el nivel de microorganismos enteropatógenos en el zumo de fruta pasteurizado debe ser menor de 1 UFC/10 L⁽⁵²⁾ y el tratamiento aplicado debe lograr una reducción de 5 D de la población del microorganismo más resistente relacionado con problemas de salud pública en los zumos de fruta^(53, 54).

Pulsos eléctricos de alto voltaje

Los PEAV se consideran una de las tecnologías emergentes de pasteurización de los alimentos más interesantes, siendo el sector de zumos uno de los grandes beneficiarios

para su uso. La principal ventaja de estos tratamientos es que permiten inactivar microorganismos, fundamentalmente en medios líquidos, a temperaturas bajas o moderadas (inferiores a 60 °C), preservando el sabor de producto fresco, color y los componentes sensibles al calor⁽⁵⁵⁾. Actualmente no existen productos comercializados a los que se haya tratado con esta técnica, debido a las diferentes condiciones experimentales utilizadas en los distintos laboratorios y a la falta de datos concluyentes sobre las condiciones de procesado que se deben aplicar a escala industrial, necesarias para inactivar la flora patógena a niveles que garanticen la seguridad de los alimentos.

Por otra parte, y esto es de mayor relevancia, está la complejidad técnica que supone el desarrollo de equipos que permitan aplicar los tratamientos de PEAV requeridos a los flujos de tratamiento normalmente utilizados en la industria alimentaria. Sin embargo, cabe esperar que el esfuerzo que se está realizando, tanto en el desarrollo de equipos como en la caracterización de los tratamientos, dé pronto sus frutos y esta tecnología se convierta en un tratamiento habitual en la industria alimentaria⁽⁵⁵⁾ (Figura 5.18).

Los factores que hay que tener en cuenta para la pasteurización mediante PEAV son muy diversos y dependen fundamentalmente de los parámetros de procesado (siendo la intensidad de campo eléctrico y la energía específica aplicada los dos parámetros de mayor interés), el tipo de microorganismo que se debe inactivar y los parámetros del producto (como conductividad, pH o com-



◀ **FIGURA 5.18.-**
Fotografía de equipo de pulsos eléctricos, cortesía del Instituto DIL en Alemania.

posición del medio). La necesidad de aplicar intensidades de campo eléctrico y energías específicas elevadas para lograr la pasteurización encarece considerablemente los equipos y aumenta el gasto energético⁽⁵⁶⁾. Por ello, se está estudiando también la combinación de estos tratamientos con temperaturas de procesado moderadas-no letales, de muy corta duración, que muestran efectos sinérgicos que favorecen la inactivación microbiana^(57,58). Se han realizado algunos de estos estudios para pasteurización o higienización con PEAV en zumos de sandía, manzana, naranja o arándano sobre microorganismos patógenos de interés en ellos, como *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* o *Salmonella enteritidis*, o bien sobre microorganismos alterantes, como *Lactobacillus plantarum* o *Leuconostoc mesenteroides*, aerobios mesófilos, o *Saccharomyces cerevisiae*, consiguiendo, según las características del tratamiento aplicado y en algunos casos, en combinación con tratamientos térmicos (pero siempre con temperaturas inferiores a 60 °C y durante periodos de tiempo muy cortos) desde uno hasta siete ciclos de inactivación microbiana^(59,60,61,62,63,64,58,65,66,67,68,69,70).

La principal ventaja de los PEAV es que permiten inactivar microorganismos, fundamentalmente en medios líquidos, a temperaturas bajas o moderadas, preservando el sabor de producto fresco, el color y los componentes sensibles al calor

Desde el punto de vista nutritivo, la vitamina C ha sido la más estudiada de las vitaminas presentes en los zumos de fruta, dado que es una de las más abundantes, y al mismo tiempo, más termosensible. Existen varios trabajos en los que se demuestra que los zumos tratados mediante PEAV retienen mayor cantidad de vitamina C que los procesados térmicamente^(71,72,73,61,74). En estos se observó que en el zumo de naranja pasteurizado mediante calor se reducía entre dos y tres veces el contenido en vitamina C respecto al zumo tratado mediante PEAV. Además, algunos estudios de vida útil sugieren que el zumo de naranja tratado mediante PEAV mantiene una mayor retención de vitamina C durante el almacenamiento en comparación con el zumo tratado mediante calor^(72,75,76). Del mismo modo, Torregrosa y col. (2006)⁽⁷⁷⁾ y Min y col. (2003)⁽⁷⁵⁾ obtuvieron mayo-

res niveles de vitamina C durante la refrigeración cuando los zumos de naranja-zanahoria y tomate se trataron mediante PEAV en lugar de mediante calor.

Los resultados obtenidos hasta el momento muestran que los zumos de fruta son uno de los productos indicados para el uso de esta tecnología, porque se mantienen las propiedades sensoriales (ya que a diferencia de lo que ocurre en muchos de los tratamientos térmicos empleados, mediante PEAV las propiedades sensoriales apenas se ven afectadas), por su bajo pH (que impide la germinación de las esporas bacterianas) y por su conductividad eléctrica (muy adecuada para aplicar tratamientos de una intensidad elevada con un gasto energético moderado).

Alta presión hidrostática

Durante más de un siglo se ha venido estudiando la tecnología de altas presiones como técnica de conservación de alimentos, lo que ha permitido la inactivación de mohos, levaduras y células bacterianas sin el uso del calor y con un efecto mínimo en la calidad sensorial asociada a atributos de "producto fresco" –tales como la textura, el color y el aroma–, alteraciones mínimas en las características organolépticas y nutritivas del producto y preservando el contenido de componentes funcionales como las vitaminas, los antioxidantes o los antimutagénicos^(78,79,80,81).

Esta tecnología se utiliza para la conservación de alimentos sólidos y líquidos, mediante presiones elevadas (300-700 MPa), combinada o no con calor y con tiempos de exposición que van desde pocos segundos hasta 20 minutos. Un tratamiento típico por altas presiones es un proceso postensado en el que el producto se coloca en un recipiente hermético, flexible y resistente al agua y se introduce en una cámara de tratamiento que contiene un fluido encargado de transmitirle la presión al alimento. Este fluido, normalmente agua, se presuriza en la cámara mediante una bomba y la presión se transmite al alimento de manera uniforme e instantánea.

En el caso de las esporas bacterianas, como son muy resistentes a la presión, su inactivación exige presiones superiores a 1200 MPa⁽⁸²⁾. Comercialmente no es posible conseguir la presión necesaria para la inactivación de las esporas, así que su crecimiento debe prevenirse mediante el control de la temperatura (refrigeración) y condiciones de bajo pH. Asimismo, se está estudiando la combinación de alta presión con otros tratamientos como el calor para conseguir la inactivación de este tipo de microorganismos. La aplicación de presión y calor a temperaturas moderadas,

TABLA 5.1
Resultados obtenidos en zumos tratados mediante alta presión

Producto	Condiciones	Resultados	Referencias
	350 MPa, 1min, 30 °C	Buena calidad con más de 2 meses de vida útil en Refrigeración.	Donsi y col. (1996) ⁹²
	600 MPa, 1 min, 5 °C	Almacenado más de 20 semanas a 0 °C sin cambios en las propiedades fisicoquímicas ni sensoriales y cambios mínimos observados después de 12 semanas en almacenamiento a 10 °C.	Takahashi y col. (1998) ⁹³
	700 MPa, 1 min	Estabilización de la turbidez en el zumo de naranja recién exprimido y vida útil de 90 días en refrigeración.	Goodner y col. (1999) ⁸⁹
	400 MPa, 10 min	Calidad aceptable durante almacenamiento a temperatura ambiente durante 150 días.	Strolham y col. (2000) ⁹⁴
zumos de naranja	500-800 MPa, 5 min	Almacenamiento más de 21 días a 4 °C sin diferencias significativas en la capacidad antioxidante, vitamina C, azúcar ni en el contenido en carotenos.	Fernández y col. (2001) ⁹⁵
	500 MPa, 5 min, 35 °C	Menor pérdida de ácido ascórbico que en zumos pasteurizados convencionalmente a 80 °C, 30 s.	Polydera y col. (2004) ⁹⁶
	350-450 MPa, 40-60 °C, 1-5 min	Extracción incrementada de flavonoides y retención de atributos potencialmente promotores de salud durante almacenamiento en frío.	Sánchez y col. (2004) ⁹⁷
	600 MPa, 1 min, 20 °C	En los zumos de naranja variedad Navel y Valencia, la población de aerobios, levaduras y otros mohos se redujo por debajo del límite de detección. Inactivación de <i>Salmonella</i> mayor de 7 log y marcada reducción de PME. Color, indicador de pardeamiento, viscosidad, °Brix y acidez, niveles de alcoholes insolubles, ácido ascórbico, y beta-carotenos no afectados durante 12 semanas a 4 ó 10 °C.	Bull y col. (2004) ⁷⁹
	600 MPa, 5 min, 25 y 80 °C	Buena retención de folatos a 25 °C. Además, los tratamientos a 80 °C no causaron grandes pérdidas de folatos, hecho atribuido posiblemente a la presencia de sustancias protectoras intrínsecas en el zumo recién exprimido.	Butz y col. (2004) ⁹⁸
zumos de manzana	400 MPa, 10 min	Las mejores muestras fueron zumo helado, seguido de presurizado y, por último, pasteurizado térmicamente.	Novotna y col. (1999) ⁹⁹
zumos de limón	450 MPa, 2,5 o 10 min	Sin crecimiento de mohos. Pequeños efectos de HHP en los constituyentes y propiedades físico-químicas.	Donsi y col. (1998) ¹⁰⁰

además, reduce la severidad de los efectos térmicos⁽⁸³⁾ y se obtienen mejores atributos de calidad sensorial en comparación con los alimentos que se esterilizan por calor^(84,85).

Por otra parte, a diferencia de la pasteurización térmica, mediante la alta presión a temperatura ambiente no se consigue la inactivación completa de enzimas como la pectinmetilesterasa (PME)^(86,87,88,89). Esto se puede deber a la existencia de una fracción de la PME resistente a la presión que se corresponde con la fracción estable al calor^(88, 89,90). Aunque queda algo de actividad residual de la PME, la turbidez del zumo de naranja puede permanecer estable durante más de 50-60 días a 4 °C si se usa un tratamiento de 700 MPa y 800 MPa durante un minuto^(89,91).

La alta presión permite el procesamiento de zumos o smoothies que se verían comprometidos con un tratamiento térmico, manteniendo intactas las propiedades nutritivas y fun-

cionales del producto y permitiendo el desarrollo de productos con los sellos "natural", "orgánico" y sin conservantes. En la Tabla 5.1 se resumen algunas de las investigaciones más importantes en zumos tratados mediante altas presiones.

Los tratamientos por alta presión se consideran la tecnología emergente más prometedora para el procesamiento de alimentos gracias a las mejoras recientes en las máquinas de alta presión, que han permitido la introducción en el mercado de alimentos procesados por este sistema^(101,102). En efecto, actualmente existe una amplia gama de productos tratados mediante esta tecnología (mariscos, carnes, zumos y preparados de frutas y platos listos para comer) que se comercializan en todo el mundo (EEUU, Japón, Australia, España, Francia, Italia, Alemania, Grecia, Reino Unido, Chequia y Portugal), con un alto grado de calidad y conveniencia⁽¹⁰³⁾ (Figura 5.19).



▲ FIGURA 5.19.-
Fotografía de equipo de altas presiones, cortesía de Hiperbaric (420 L).

Otras tecnologías no térmicas

La eficacia de los tratamientos por pulsos de luz ultravioleta, ultrasonidos y plasma de baja temperatura en la inactivación de microorganismos muestra complicaciones debidas a la creación de zonas de "sombras" en superficies irregulares de alimentos, falta de eficacia por sí solos, o efectos no deseables en el producto debidos a la generación de calor y radicales libres. En lo que respecta a la homogeneización a ultra alta presión (UHPH), esta provoca la destrucción de grandes cantidades de microorganismos que pudieran estar presentes en el alimento. No obstante, no se conocen aún suficientemente los efectos de esta tecnología en las células bacterianas, aunque los microorganismos son destruidos probablemente por la pérdida repentina de presión, la torsión, el roce y, más probablemente por la cavitación y las ondas de choque resultantes de la explosión de las burbujas de aire.

En consecuencia, estas tecnologías necesitan más investigación y desarrollo para lograr su implantación industrial.

5.2.3. Tecnologías emergentes de envasado

En los últimos años, el desarrollo de envases activos e inteligentes para alimentos está siendo un área de intensa investigación por las ventajas que estos aportan al consumidor. En Europa, su utilización está regulada por los Reglamentos (CE) N° 1935/2004 y 450/2009⁽¹⁰⁴⁾.

Los envases activos son sistemas coordinados entorno-envase-producto envasado que interactúan de forma ac-

tiva y continua con el contenido para mejorar la seguridad y la calidad del alimento envasado y alargar su vida útil. Este tipo de envases está diseñado para realizar un efecto deseado sobre el contenido, diferente del de servir de barrera pasiva frente al entorno, o bien, para corregir los defectos propios de un envase pasivo. Los envases inteligentes, por otro lado, son sistemas coordinados entorno-envase-producto que monitorizan las condiciones del alimento envasado para informar sobre la seguridad y la calidad del alimento envasado durante su periodo de vida útil. Estos incorporan sistemas que informan fácilmente mediante indicaciones visuales de parámetros de interés del alimento (por ejemplo, de la rotura de la cadena de frío), proporcionando datos sobre la historia de la temperatura a la que ha estado expuesto el producto y sobre el tiempo de exposición, sobre alteraciones no deseadas en la atmósfera interior de productos envasados al vacío o en atmósfera protectora o sobre alteraciones en la calidad del alimento, tanto químicas como microbiológicas⁽¹⁰⁵⁾.

Los envases activos son sistemas coordinados entorno-envase-producto envasado que interactúan de forma activa y continua con el contenido para mejorar la seguridad y la calidad del alimento envasado y alargar su vida útil

Actualmente no existe un número elevado de estudios específicos en este campo para el sector de zumos, pero se están realizando investigaciones y desarrollando proyectos, tanto de envases activos como inteligentes, que serán aplicables al sector de zumos en un futuro cercano.

En lo que respecta a los envases activos, existen diferentes sistemas de incorporación del compuesto activo: en bolsas o etiquetas que contienen los agentes activos introducidas en el envase, incorporándolos al polímero del envase, o mediante recubrimiento o adsorción del compuesto activo en la superficie del polímero.

Sus funciones principales se basan en la absorción o liberación de compuestos entre el envase y el alimento, o la modificación o control de las características del alimento. Dentro de estos cuatro grupos se pueden encontrar sistemas que:

- Absorben/eliminan o regulan compuestos que afectan desfavorablemente a la vida comercial de un producto alimenticio, tales como el oxígeno, el etileno y la humedad, o aquellos que pueden ocasionar olores o sabores desagradables en los alimentos (siempre y cuando no sean aromas provocados por la alteración del producto).
- Liberan sustancias químicas, como conservantes, antioxidantes, colorantes, aromas, etc.

- Modifican las propiedades del alimento, por ejemplo, mediante la eliminación de lactosa o colesterol.

- Controlan la temperatura permitiendo calentar o enfriar el alimento que contiene el envase, o son susceptibles de microondas.

En un ensayo dirigido concretamente al sector de zumos, Soares y Hotchkiss^(106,107), estudiaron la posibilidad de eliminar el sabor amargo del limoneno que se forma durante el proceso de pasteurización y almacenamiento de los zumos de frutas, así como el de la naringina, utilizando envases activos basados en la utilización de enzimas específicas que hidrolizan los enlaces glucosídicos de la naringina y el limoneno, inmovilizadas en *films* de acetato de celulosa.

En los envases inteligentes existen diferentes finalidades y mecanismos de acción. Los sistemas que actualmente presentan mayor investigación y desarrollo son:

- Indicadores de calidad y seguridad de los alimentos, como los indicadores de temperatura crítica, los integradores tiempo-temperatura, que monitorizan la exposición a temperaturas inadecuadas y la ruptura de la cadena de frío durante el transporte y el almacenamiento; los indicadores de frescura, que informan sobre algún parámetro de calidad del producto envasado, de la pérdida de frescura o del deterioro del alimento, tanto quí-



mico como microbiológico; o los indicadores de patógenos, que informan sobre la presencia de un microorganismo concreto.

- Indicadores de estanqueidad (detectores de fugas), como indicadores de oxígeno y de dióxido de carbono, que monitorizan las alteraciones no deseadas en la atmósfera interior de productos envasados al vacío o en atmósfera protectora.
- Indicadores de humedad.
- Indicadores de trazabilidad, como los RFID (identificación por radiofrecuencia).
- Indicadores de autenticidad, como los RFID, logos o imágenes holográficas.

Los mecanismos de acción se basan en diferentes sistemas, desde reacciones químicas o enzimáticas a procesos de difusión cuyas cinéticas dependen del tiempo y de la temperatura, sistemas redox o mediante sistemas de radiofrecuencia. Además en un gran número de estos desarrollos es necesario trabajar con sistemas de activación del envase para que su acción sea efectiva en el momento adecuado. Para ello, existen formas de activación por contacto con el alimento a la temperatura de trabajo, por presión o por radiación ultravioleta, por ejemplo.

Con respecto a los envases inteligentes, ya se pueden observar en diversos productos alimenticios muchos de ellos, como los indicadores de estanqueidad, los integradores de tiempo-temperatura o los de frescura, y del mismo modo se podrán utilizar en el sector de zumos.

5.3. Influencia del procesado en las características nutritivas

En la actualidad, los cambios en el consumo de alimentos han dado lugar a nuevos hábitos de compra. El consumidor reclama alimentos nutritivamente ricos, organolépticamente apetecibles, microbiológicamente seguros, con una vida útil conveniente, estabilizados mediante un procesado mínimo y fáciles de preparar y consumir. Cobran, así, importancia los aspectos relacionados con la salud y las recomendaciones de los organismos que velan por ella⁽¹⁰⁸⁾, que recomiendan una dieta equilibrada y un consumo mínimo de 400 gramos diarios de frutas y hortalizas⁽¹⁰⁹⁾.

Estos nuevos hábitos alimentarios han repercutido en el aumento del consumo de zumos de frutas y verduras co-

merciales en cualquiera de las opciones de procesado disponibles: zumo procedente de concentrado o recién exprimido o directo, conservado a temperatura ambiente o en refrigeración, con pulpa o sin pulpa, etc. Teniendo en cuenta esta tendencia en el consumo, es importante destacar que para muchos consumidores serán los zumos de frutas la principal fuente de compuestos nutritivos (azúcares, vitaminas A, C y E, minerales, aminoácidos, etc.) y fitoquímicos con propiedades beneficiosas para la salud (carotenoides, flavonoides)⁽¹¹⁰⁾.

Actualmente, los investigadores científicos y tecnólogos están realizando un gran esfuerzo para asegurar que los compuestos nutritivos y fitoquímicos presentes en las frutas se mantengan o se modifiquen mínimamente durante el procesado y conservación, conservando intacto su valor nutritivo y sus propiedades beneficiosas para la salud. Para conseguir dicho objetivo, se han realizado numerosos trabajos de investigación que han permitido controlar el procesado mediante tecnologías térmicas tradicionales (escaldado, pasteurización, esterilización, congelación, etc.) y conseguir la mínima destrucción de compuestos nutritivos y fitoquímicos (pasteurización suave). Asimismo, se han realizado trabajos que han permitido el desarrollo de nuevas tecnologías térmicas de procesado (microondas, radiofrecuencia, calentamiento óhmico), que minimizan también dichas pérdidas. Se están estudiando nuevas tecnologías de procesado no térmico (alta presión hidrostática, pulsos eléctricos de alto voltaje, ultravioletas, ultrasonidos, etc.), eficaces desde el punto de vista de la destrucción enzimática y microbiológica y que modifican mínimamente las características de calidad organoléptica y nutritiva de los alimentos vegetales⁽¹¹¹⁾. En la actualidad, los zumos de frutas procesados mediante tecnologías tradicionales mejoradas (pasteurización suave) y mediante las nuevas tecnologías de procesado tienen concentraciones de compuestos nutritivos y bioactivos adecuados para que el consumidor adquiera tras su ingesta diaria un buen estado nutricional y de salud⁽¹¹²⁾.

Recientemente, Timmermans *et al.* (2011)⁽¹¹³⁾ y Vervoort *et al.* (2011)⁽¹¹⁴⁾ han realizado un estudio comparativo entre el tratamiento térmico "Premium", actualmente no aplicado en la industria por ser muy ajustado (72 °C; 20 s), alta presión hidrostática (APH) (600 MPa; 3 min) y pulsos eléctricos de alto voltaje (PEAV) (23 kV/cm; 2 μs; pulsos de onda cuadrada monopolar; cámara colineal; 90 Hz; 130 L/h; 76,4 J/mL; 18 ± 2 pulsos; Tª salida 58 °C) en zumo de naranja. En este estudio se ha evaluado el zumo obtenido para los tres tipos de tecnología microbiológicamente, enzimáticamente (pectinmetilesterasa-PME y pe-

roxidasa-POD) y para sus atributos de calidad: color; Brix; pH; contenido de materia seca; estabilidad de la turbidez, azúcares, ácidos orgánicos, compuestos de amargor; ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico; carotenoides, furfural e hidroximetilfurfural.

Las conclusiones obtenidas han mostrado que los tres tratamientos estudiados permiten una vida útil del zumo de dos meses en refrigeración y que los parámetros de calidad principales no sufren diferencias al aplicar una u otra tecnología ni durante el periodo de conservación. Las mayores diferencias se muestran en la estabilidad de la turbidez o no sedimentación (considerado un factor de calidad en los zumos procedentes de concentrados, en cambio, no se considera un defecto de calidad en los zumos frescos), siendo menor en los zumos tratados por PEAV y APH.

Es especialmente menor en el caso del tratamiento PEAV debido a la escasa inactivación de la enzima PME (también de la POD para ambas tecnologías, APH y PEAV). La menor inactivación de la PME, tanto en los tratamientos PEAV como APH, supuso además un incremento mayor de viscosidad durante el almacenamiento de estos zumos. El segundo y último parámetro con diferencias entre tratamientos fue el color: el tratado térmicamente y con APH obtuvieron valores menores de los parámetros de luminosidad y tono rojo y mayores de amarillo, mientras que el tratado mediante PEAV obtuvo mayores valores de luminosidad y de rojo y menores de amarillo.

Es bien sabido que los procesados térmicos tradicionales pueden modificar la concentración de nutrientes o compuestos antioxidantes en los zumos de frutas. Un estudio comparativo de la composición en vitamina C, carotenos y flavonoides entre un zumo de naranja recién exprimido o directo y varios zumos comerciales obtenidos mediante distintos tipos de procesado térmico (pasteurización tradicional, pasteurización suave, congelación) nos muestra que algunos de los zumos pasteurizados comerciales presentaban un contenido en vitamina C, carotenoides, vitamina A y flavonoides (naringenina y hesperetina) similar e incluso superior al cuantificado en el recién exprimido o directo, sin que se observasen diferencias significativas en el valor de su actividad antioxidante⁽¹¹¹⁾.

Durante el tratamiento y conservación de los zumos que presentan tonalidades rojizas se puede apreciar una pérdida de color y una posterior evolución de este hacia los tonos pardos. La pérdida de estabilidad de las antocianinas se debe básicamente a los tratamientos de clarifica-



ción (hasta un 4%), pasteurización (hasta un 12%) y en mayor medida a los tratamientos de concentración del zumo. La degradación térmica de las antocianinas presentes en los zumos rojos ha sido objeto de estudio en multitud de trabajos científicos. La mayoría de ellos concluyen que la conservación de zumos a temperaturas de refrigeración (4 °C) en el caso de los de frambuesa⁽¹¹⁵⁾ o granada⁽¹¹⁶⁾ o mediante la aplicación de ultrasonidos en los de uva⁽¹¹⁷⁾ ralentiza la degradación de los pigmentos responsables del color, preservando así, además de sus propiedades fisiológicas su aspecto visual.

A este respecto, diversos autores han observado que el procesado de derivados de frutas (zumos de naranja, de limón, de zanahoria, de manzana, de tomate, zumos mixtos naranja/zanahoria, brócoli/manzana, purés de caqui, de fresa, de kiwi, etc.) mediante alta presión hidrostática y pulsos eléctricos de alto voltaje supone una modificación ligera de la composición nutritiva, de los compuestos bioactivos y de la capacidad antioxidante (vitaminas A, E y C, B1, B2, ácido fólico, carotenoides y flavonoides)^(118,113).

También es importante destacar que el procesado de frutas y hortalizas puede potenciar la extracción y por tanto la bioaccesibilidad de determinados compuestos como los carotenoides, es decir, el procesado puede incrementar su liberación de la matriz del alimento y así favorecer su absorción intestinal, potenciando su efecto beneficioso⁽¹¹⁹⁾.

Las operaciones de procesado que reduzcan el tamaño del alimento (cortar, triturar, homogenizar, etc.), el tratamiento térmico, así como la adición de aceite en las formulaciones, aumentan la bioaccesibilidad de los carotenos.

En general, los compuestos carotenoides suelen ser estables y los procesos de isomerización poco importantes durante los tratamientos térmicos no excesivamente severos, como escaldado o la pasteurización (60-100 °C). El efecto protector del licopeno, pigmento mayoritario del tomate, frente al cáncer de próstata resultó ser más notable tras la ingesta de productos de tomate procesados térmicamente (salsas, zumos, etc.) que después de consumir tomate natural sin procesar⁽¹²⁰⁾. Este efecto positivo del tratamiento térmico se ha relacionado con un incremento (de hasta 6 veces) de la biodisponibilidad de los carotenos y con una mayor concentración de licopeno en plasma tras la ingesta de productos de tomate procesados (homogenizados y tratados térmicamente) en comparación con los no procesados, observándose mayor biodisponibilidad del isómero *cis* producido térmicamente que del *trans*⁽¹²¹⁾.

En este sentido, también los tratamientos por alta presión hidrostática favorecen la extracción de carotenoides y flavonoides en los zumos de naranja (45 y 16%, respectivamente) y el valor de vitamina A (un 31%). Por otro lado, los zumos de naranja tratados mediante pulsos eléctricos mantuvieron los niveles iniciales de carotenoides y flavonoides. Sin embargo, en el zumo de tomate procesado por pulsos eléctricos, la estabilidad de los compuestos carotenoides depende de la intensidad de los parámetros de procesado (intensidad de campo eléctrico, forma del pulso, etc.)⁽¹²²⁾.

Los productos procesados mediante una pasteurización suave y tecnologías no térmicas como la alta presión hidrostática y los pulsos eléctricos necesitan conservarse en refrigeración, manteniendo un periodo de vida útil superior a tres meses. Durante su almacenamiento en estado refrigerado, la concentración de los compuestos nutritivos y fitoquímicos (vitamina C, carotenoides y flavonoides) se reduce progresivamente en función del tiempo de almacenamiento y la temperatura de conservación: a mayor tem-

peratura mayor velocidad de degradación. Generalmente, en los zumos tratados mediante alta presión y pulsos eléctricos, la cinética de reducción de estos compuestos durante el almacenamiento refrigerado es inferior que en los zumos tratados térmicamente^(113,123).

En la actualidad, los zumos de frutas procesados mediante tecnologías tradicionales mejoradas (pasteurización suave) y mediante las nuevas tecnologías de procesado tienen concentraciones de compuestos nutritivos y bioactivos adecuados para que el consumidor adquiera tras su ingesta diaria un buen estado nutricional y de salud

5.4. Calidad y seguridad alimentaria

5.4.1. Principales peligros sanitarios asociados a los zumos

Características

Los zumos de frutas son básicamente soluciones acuosas, en algunas ocasiones con un pequeño porcentaje de sólidos en suspensión. Esta definición incluye un amplio rango de productos que comprende desde zumos sencillos hasta las mezclas de zumos de frutas distintas. Las características típicas comunes a todos ellos son:

- Presentan una actividad de agua elevada.
- Presentan azúcares fermentables (concentración de azúcares entre 5 y 8 °Brix). Los principales azúcares de los zumos de fruta son fructosa, glucosa y sacarosa. El contenido en azúcar varía según el tipo de fruta y el grado de maduración.
- Presentan un pH bajo. El valor de pH de la mayoría de zumos de fruta está entre 2,5-4,0. Hay casos extremos, como el zumo de lima, de pH 1,6-3,2; y el de piña, de pH de 3,8-4,0.

Estas características son desfavorables para la multiplicación de gérmenes patógenos.

Peligros físicos

Los peligros físicos que pueden aparecer en los zumos de frutas engloban una serie de materias extrañas de diversa naturaleza y origen, de las cuales las más probables son:

- Materia vegetal extraña, generalmente de origen agrícola: hojas, ramas, restos vegetales.
- Insectos, que con frecuencia acompañan a la materia prima.
- Piedras con origen en la explotación agrícola.
- Metales y fragmentos de plástico duro, que pueden provenir de las operaciones de cosecha, del transporte o de los equipos de fabricación en el proceso de elaboración.
- Vidrio, que puede incorporarse tanto en la recolección como durante el proceso de elaboración de zumo en la propia planta, a partir de distintas fuentes potenciales que se deben prever en el análisis de riesgos: ventanas, paneles, etc.

El riesgo es elevado en el caso de los zumos comercializados en envases de vidrio, ya que en las operaciones de manipulación, lavado, llenado, cerrado de los envases, etc. es probable que se produzca la rotura de alguno.

Peligros químicos

Hay peligros químicos ligados a la producción primaria de las materias primas vegetales, que el operador de la industria elaboradora de zumos de frutas deberá tener en cuenta en el análisis de riesgos de materias primas, elaborando en consecuencia su plan de inspección.

- Residuos fitosanitarios.
- Nitratos.
- Metales pesados.
- Productos de limpieza y desinfección.
- Lubricantes.
- Migraciones de los materiales utilizados en contacto con el producto.
- Alérgenos (leche, huevo, soja...).



Peligros biológicos

Microorganismos

Los zumos se caracterizan en su composición por tener un pH inferior a 4.5, lo que impide la multiplicación de los microorganismos patógenos.

Los zumos que han sufrido un proceso de estabilización biológica vía tratamiento térmico o filtración pueden sufrir recontaminación por microorganismos alterantes que sí pueden modificar de forma importante sus características organolépticas. En el caso de los zumos frescos es posible la supervivencia de microorganismos patógenos.

Micotoxinas

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por determinadas cepas toxigénicas de hongos que crecen en las materias primas y en los alimentos.

Las cepas toxigénicas de *Penicillium expansum* que contaminan frutas y hortalizas causando su degradación representan los mayores productores de patulina.

La ocratoxina A, la principal toxina del grupo de derivados de la isocumarina, es producida por cepas toxigénicas de *Aspergillus ochraceus* y *Penicillium verrucosum*.

5.4.2. Sistemas de gestión de la seguridad alimentaria basados en las norma internacionales (BRC, IFS e ISO 22000)

A estas alturas hablar de la calidad y seguridad de los alimentos, hablar de crisis alimentarias o hablar de incidentes alimentarios e intoxicaciones... ya no es noticia. Se ha escrito mucho a lo largo de los últimos años –en especial desde la crisis de las vacas locas y muy recientemente debido a la relacionada con *E. coli*– sobre estos temas que preocupan tanto a los consumidores, productores y comercializadores a nivel europeo.

A lo largo de todo este tiempo han surgido a la par iniciativas tanto de origen público (normativa legal) como de origen privado (guías sectoriales, normas, protocolos...). Asimismo, están conviviendo los controles oficiales (públicos) y los controles de parte (privados, por entidades de control o de certificación), en muchas ocasiones recomendados y/o exigidos por las cadenas de compra y distribución.

Por un lado, los controles oficiales, desarrollados con base en los aspectos regulados legalmente, procuran mediante sus inspecciones evaluar las condiciones de producción o de fabricación, de forma que garanticen el cumplimiento de los requisitos mínimos de higiene y seguridad alimentaria que exige la Ley. Por otro lado, están las certificaciones de parte que realizan las entidades de inspección y/o de certificación con base en pliegos de condiciones, normas, protocolos de calidad, e incluso con base en la normativa legal o reglamentaria, como en el caso de la Denominaciones de Origen Protegidas, Indicaciones Geográficas Protegidas, Especialidades Tradicionales Garantizadas, Producción Integrada, Vinos de la Tierra, Agricultura Ecológica, etc. Estos pliegos o normas son la base de certificaciones que pueden aspirar a diferentes objetivos:

- Garantizar la seguridad o inocuidad de los alimentos.
- Certificar aspectos diferenciadores de calidad, de producción o de proceso.
- Certificar el cumplimiento de buenas prácticas de producción, manejo, etc.

A continuación se describen brevemente los principales sistemas de gestión de la seguridad alimentaria reconocidos internacionalmente:

- UNE-EN ISO 22000.
- BRC - Global Standard for Food Safety.
- IFS - International Food Standard.

5.4.2.1. UNE-EN ISO 22000

La norma UNE-EN ISO 22000 especifica los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión para asegurar la inocuidad de los alimentos a lo largo de toda la cadena alimentaria hasta el punto de venta y de consumo final.

Objetivos:

- Reforzar la seguridad alimentaria.
- Fomentar la cooperación entre todas las partes involucradas en la cadena alimentaria, los gobiernos nacionales y organismos transnacionales.
- Asegurar la protección del consumidor y fortalecer su confianza.



- Establecer requisitos de referencia, elementos claves para los sistemas de gestión de la seguridad alimentaria.
- Mejorar el rendimiento de los costes a lo largo de la cadena alimentaria de suministro.

Beneficios:

- Facilita el cumplimiento de la legislación de aplicación.
- Integra los principios del APPCC (Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico) en un sistema de gestión de la organización compatible con el modelo ISO 9001.
- Se basa en el ciclo de mejora continua PDCA (Planificar, Hacer, Comprobar, Actuar).
- Proporciona una comunicación organizada y eficaz con todas las partes interesadas.
- Proporciona confianza a los consumidores.
- Mejora la gestión documental.
- Supone un control más eficiente y dinámico de los riesgos para la seguridad alimentaria.

- Implica una gestión sistemática de los requisitos previos.
- Favorece el ahorro de tiempo y costes, al realizarse las auditorías de ISO 22000 junto con otros esquemas de seguridad alimentaria.
- Además, con una implantación adecuada de ISO 22000 e ISO 9000 se da respuesta a los requisitos demandados por los protocolos privados.

5.4.2.2. BRC - Global Standard for Food Safety

Es uno de los modelos más difundidos internacionalmente para que los distribuidores y grandes superficies cualifiquen a sus proveedores de producto de marca.

El protocolo mundial de seguridad alimentaria tiene como objetivo asegurar que los proveedores cumplen con unos requisitos que garantizan la salubridad de sus alimentos.

Las empresas del sector alimentario deben disponer de los sistemas necesarios para identificar y controlar los peligros que puedan afectar negativamente a la seguridad de los alimentos mediante un sistema de APPCC y contando con el firme compromiso del equipo directivo de la empresa.

Objetivos:

- Reforzar la seguridad alimentaria.
- Facilitar el cumplimiento de la legislación alimentaria.
- Establecer los criterios de seguridad alimentaria y calidad requeridos a los proveedores de alimentos de las cadenas de distribución del Reino Unido.
- Aplicar auditorías homogéneas de tercera parte.
- Asegurar la transparencia y rigurosidad en los sistemas de certificación.

Beneficios:

- Facilita el cumplimiento de la legislación de aplicación.
- Disminuye los costes de los posibles errores de cualquier cadena de producción.
- Proporciona una comunicación organizada y eficaz con todas las partes interesadas.
- Proporciona confianza a los consumidores.
- Mejora la gestión documental.
- Supone un control más eficiente y dinámico de los riesgos para la seguridad alimentaria.
- Incorpora los Programas de Prerrequisitos al sistema de gestión de la organización.
- Favorece el ahorro de tiempo y costes, al realizar las auditorías de BRC y BRC/IoP combinadas con otros esquemas de calidad y seguridad alimentaria (ISO 22000, IFS, ISO 9001).

Las empresas españolas de zumos cumplen además la *Guía de Puntos Críticos* (APPCC) del sector, actualizada en 2010 por el Comité *ad hoc* de ASOZUMOS y validada por la AESAN, que constituye una de las guías europeas más modernas y completas⁽¹²⁴⁾.

5.4.2.3. IFS - International Food Standard

Es un protocolo privado técnico desarrollado por los distribuidores alemanes, franceses e italianos con el propósito de ayudar a los proveedores a que suministren pro-

ductos seguros conforme a las especificaciones y a la legislación vigente.

Los controles oficiales, desarrollados con base en los aspectos regulados legalmente, procuran mediante sus inspecciones evaluar las condiciones de producción o de fabricación, de forma que garanticen el cumplimiento de los requisitos mínimos de higiene y seguridad alimentaria que exige la Ley

Este protocolo requiere la previa implantación de un sistema de gestión de la calidad y un sistema APPCC basado en el *Codex Alimentarius*, así como la implantación y gestión de Prerrequisitos e Instalaciones. Incluye todos los requisitos exigibles a los proveedores y se ajusta a los requisitos internacionales (GFSI), proporcionando una visión clara de los conceptos de seguridad alimentaria y control de la calidad a través de evaluaciones a los proveedores, de cuya actividad se ofrece una perspectiva completa.

Objetivos:

- Garantizar la legalidad, seguridad y calidad de los productos fabricados.
- Establecer una norma común con un sistema común de evaluación.
- Asegurar el suministro de productos seguros, acordes con sus especificaciones y conformes a la legislación, consiguiendo una reducción de costes y logrando la transparencia en toda la cadena de suministro.
- Reducir costes y tiempo a fabricantes y distribuidores.
- Asegurar la transparencia y rigurosidad en los sistemas de certificación.

Beneficios:

- Facilita el cumplimiento de la legislación de aplicación.
- Disminuye los costes de los posibles errores de cualquier cadena de producción.

- Proporciona una comunicación organizada y con todas las partes interesadas.
- Proporciona confianza a los consumidores.
- Mejora la documentación.
- Supone un control más eficiente y dinámico de los riesgos para la seguridad alimentaria.
- Incorpora los Programas de Prerrequisitos al sistema de gestión de la organización.
- Favorece el ahorro de tiempo y costes, al realizar las auditorías junto con otros esquemas de seguridad alimentaria (BRC, GlobalGAP).
- Concilia la seguridad alimentaria y el control de calidad.

5.4.3. Sistema nacional de autocontrol (AEAZN)

Además de los controles públicos y oficiales que afectan a todos los alimentos, los zumos en Europa tienen un control de calidad y autenticidad privado, realizado por las propias empresas envasadoras. En el caso de España, este control se realiza a través de la denominada Asociación de Autocontrol de Zumos y Néctares (AEAZN)⁽¹²⁵⁾.

La AEAZN actúa en virtud del principio de autorregulación reconocido por la Comisión Europea. Las organizaciones sectoriales nacionales agrupadas en la AIJN (Asociación de la Industria de Zumos y Néctares de la UE) son las que establecen las normas, guías y parámetros que deben cumplir los zumos. En España, la organización correspondiente es ASOZUMOS, que agrupa a más del 75% de la producción nacional, y la AEAZN, que realiza el control de los productos a través de laboratorios privados.

La AEAZN comenzó su actividad en el año 2000 y pretende ser un foro abierto a todas aquellas empresas de nuestro país relacionadas con el sector. La Asociación se creó a raíz de la iniciativa tomada por varias empresas embotelladoras de zumos y néctares para crear un sistema de autocontrol y trabajar juntos en la lucha contra el fraude y la adulteración de estos productos.

Los principales fraudes que se suelen dar en el sector son la adición de otras frutas, la adición de azúcar o ácidos no



▲ **GRÁFICO 5.1.-**
Resultados de la campaña 2010 de control del mercado español de zumos.

declarados, la sobredilución y la inadecuada calidad de los aromas incorporados en la restauración de los zumos.

En el caso de España, el control de calidad y autenticidad de los zumos se realiza a través de la Asociación de Autocontrol de Zumos y Néctares (AEAZN), que actúa en virtud del principio de autorregulación reconocido por la Comisión Europea

Es importante señalar que el sector embotellador de zumos y néctares europeo es el único que tiene un sistema de autocontrol implantado.

Los objetivos de la Asociación son los siguientes:

- Fomentar y defender la calidad de los productos de la industria de zumos y néctares y la buena imagen de las empresas y de las marcas de sus asociados mediante la lucha contra el fraude y la adulteración, contra la competencia desleal y contra publicidad ilícita.
- Fomentar la libre y leal competencia entre las empresas de zumos y néctares de frutas.

- Procurar el control de la autenticidad y de la calidad de los zumos y néctares.
- Cumplir y hacer cumplir el *Código de Prácticas (CoP)* de la AIJN (European Fruit Juice Association) y aquellos otros códigos relativos a las buenas prácticas del sector.
- Participar en el Sistema Europeo para el Control de Calidad (EQCS) y cualesquiera otras federaciones, asociaciones o sistemas internacionales que tengan por finalidad el control de la calidad.

Para la consecución de los objetivos previstos en el párrafo anterior, la AEAZN se sirve de los siguientes medios:

- Control de la calidad, publicidad, etiquetado y comercialización de los productos señalados, así como de las materias primas utilizadas en su fabricación, y la verificación, mediante inspecciones periódicas, de que dichos productos cumplen las normas asumidas por la Asociación.
- Mantenimiento de contactos permanentes con las administraciones públicas, con el fin de obtener un puntual conocimiento de las novedades legislativas que puedan afectar a la calidad, elaboración, comercialización y publicidad de los productos, así como para informar de cuantas actuaciones sean de interés.

- Aplicación de las sanciones previstas en sus normas de desarrollo, en los casos en que alguno de los asociados infringiera cualquiera de las normas de la Asociación.

5.4.4. Sistema Europeo de Control de Calidad (EQCS)⁽¹²⁶⁾

El Sistema Europeo de Control de Calidad (European Quality Control System, también conocido como EQCS) se creó en el año 1994 con el ánimo de armonizar las actividades de control de autenticidad y calidad de zumos de los diferentes sistemas independientes que existían hasta ese momento en Europa. En 2010 se reestructuró la Asociación y se fijó la sede en Bruselas, siendo su objetivo el mismo que el de su creación inicial: el control continuo de los mercados de zumos y néctares de frutas. La EQCS tiene actividades de control de productos en diecisiete países europeos. Además se cuenta con la colaboración con la organización SGF-IRMA (Sure Global and Fair - International Raw Material Association), que reúne a más de setecientos productores de materia prima (zumos, purés y concentrados a partir de la propia fruta) asociados de forma voluntaria en todo el planeta.

Los miembros de SGF-IRMA son inspeccionados in situ para comprobar que sus instalaciones y prácticas de fabricación cumplen con los estándares de higiene europeos





▲ **FIGURA 5.20.-**
Esquema de las diferentes asociaciones nacionales e internacionales y sus áreas de competencia.

y que el producto que producen cumple con todos los requisitos de calidad y autenticidad. La mayoría de los asociados a SGF-IRMA proveen de concentrados de fruta y purés a los envasadores de zumo europeos.

Los objetivos de la EQCS, entre otros, son proteger la imagen de los productos y de la industria productora de zumos, armonizar los sistemas de control voluntario y crear sistemas de alerta ante los fraudes, así como ser una plataforma de intercambio de conocimiento y experiencias.

En la actualidad, los miembros de la EQCS son ocho asociaciones de industrias productoras de zumos: la AEAZN (Asociación Española de Autenticidad de Zumos y Néctares) de España, la BSDA (British Soft Drink Association) del Reino Unido, la BCI (Beverage Council of Ireland) de Irlanda, la DSK de Polonia, la DQCS (Dutch Quality Control System) de Holanda, la Qualijus de Francia, la SGF (Sure Global and Fair) de Alemania –que engloba otros países como Austria, República Checa, Dinamarca, Eslovenia, Estonia, Finlandia, Hungría, Italia, Lituania, Portugal y Suiza– y como miembro fundador de la EQCS también está la

AIJN (Association International de Juice et Nectars) con sede en Bruselas. Esta última asociación europea (AIJN) es la que marca los criterios de autenticidad y calidad en los zumos de frutas en su *Código de Prácticas* (CoP), en el que se establecen los límites admisibles relativos a diferentes parámetros de calidad y autenticidad para cada una de las frutas que se utilizan en la elaboración de zumos y néctares. Los sistemas de control voluntario utilizan el CoP como base para determinar la calidad y la autenticidad de los zumos y néctares de frutas. Los parámetros de autenticidad fijados por el Real Decreto 1518/2007 están basados en los valores de dicho Código de Prácticas (CoP).

En el esquema de la figura 5.20 se representan las interacciones entre las diferentes asociaciones a nivel nacional y a nivel internacional con sus áreas de competencia.

La actividad de los sistemas de control voluntario, a los que se someten la mayoría de fabricantes de zumos europeos, garantiza al consumidor europeo el consumo de un producto auténtico, de calidad y saludable.

Bibliografía

- 1 Kimball, D.A. (1999). *Citrus processing: Quality control and technology*. Editorial Kluwer Academic/Plenum Publishers
- 2 TETRA PAK. *The Orange Book*. (1998). Editorial Pyramid Communication AB
- 3 JBT. Publicaciones en Manuales Comerciales y <http://www.jbtfoodtech.com/>
- 4 <http://www.tetrapak.com/>
- 5 Ashurst, P.R. (1995). *Production and packaging of non-carbonated fruit juices & fruit beverages*. Editorial Blackie Academic & Professional, REINO UNIDO
- 6 Barrett, D., Somogyi, L., Ramaswamy, H. (2004). *Processing fruits: Science and technology*. Second Edition. Editorial CRC Press LLC. Boca Raton, Florida
- 7 Nagy, S., Chen, S. C., Philip, E. (1993). *Fruit juice processing technology*. AGSCIENGE, INC. Auburndale, Florida
- 8 Tressler, D.K., Maynard, A. (1961). *Fruit and vegetable juice processing technology*. AVI PUBLISHING COMPANY, INC. Westport, Connecticut
- 9 Gonzalez, C.J. (2009). *Aprovechamiento de residuos de frutas. Informe sobre los principales residuos generados por las industrias productoras de zumos y néctares, descripción de los compuestos bioactivos aprovechables y estudio de las posibles vías de valorización*
- 10 Gorinstein, S., Martín-Belloso, O., Park, Y.S., Haruenkit, R., Lojek, A., Ciz, M.I. (2001). "Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits". *Food Chemistry*, 74: 309-315
- 11 Barwal, V.S., Kalia, M. (1997). "Comparative study of jellies prepared from apple, pomace and concentrate". *Journal of Food Science and Technology*, 34: 391-394
- 12 Tsao, R., Yang, R., Xie, S., Sockovie, E., Khanizadeh, S. (2005). "Which polyphenolic compounds contribute to the total antioxidant activities of apple". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 4989-4995
- 13 Bódalo, A., Hidalgo, A. M., Gómez, M., Murcia, M. D., Pérez, S. (2007). "Gestión de residuos de piel y pulpa de melocotón". *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 226: 70-73
- 14 Lurton, L. (2003). "Grape polyphenols: new powerful health ingredients". *Innovations in Food Technology*, 18: 28-30
- 15 Hang, Y.D. (1988). "Recovery of food ingredients from grape pomace". *Process Biochemistry*, 23: 2-4
- 16 Del Valle, M., Cámara, M. y Torija, M. E. (2006). "Chemical characterization of tomato pomace". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86: 1232-1236
- 17 Sharma, S. K., Le Maguer, M. (1996). "Lycopene in tomatoes and tomato pulp fractions". *Italian Journal of Food Science*, 8: 107-113.
- 18 Raso J., Heinz V. (2006). *Pulsed electric fields for the food industry: fundamentals and applications*. New York: Springer
- 19 Vilku, K., Mawson, R., Simons, L., Bates, D. (2008). "Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry - A review". *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9 (2): 161-169
- 20 Wouters, P. C., Álvarez, I., Raso, J. (2001). "Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing". *Trends in Food Science and Technology*, 12: 112-121
- 21 Knorr, D., Geulen, M., Grahl, T., Sitzmann, W. (1994). "Food application of high electric field pulses". *Trends in Food Science and Technology*, 5: 71-75
- 22 Bazhal, M., Vorobiev, E. (2000). "Electrical treatment of apple cossettes for intensifying juice pressing". *Journal of Science Food and Agriculture*, 80: 1668-1674
- 23 Ade-Omowaye, B.I.O., Angersbach, A., Eshtiaghi, N.M., Knorr, D. (2001b). "Impact of high intensity electric field pulsed on cell permeabilisation and as pre-processing step in coconut processing". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1 (3): 203-209
- 24 Lebovka, N.I., Praporscic, I., Vorobiev, E. (2004). "Effect of moderate thermal and pulsed electric field treatments on textural properties of carrots, potatoes and apples". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5: 9-16
- 25 El-belghiti, K., Vorobiev, E. (2005). "Modelling of solute aqueous extraction from carrots subjected to a pulsed electric field pre-treatment". *Biosystems Engineering*, 90 (3): 289-294
- 26 Schilling, S., Alber, T., Toepfl, S., Neidhart, S., Knorr, D., Schieber, A., Carle, R. (2007). "Effects of pulsed electric field treatment of apple mash on juice yield and quality attributes of apple juices". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8: 127-134
- 27 Schilling, S., Schmid, S., Jager, H., Ludwig, M., Dietrich, H., Toepfl, S., Knorr, D., Neidhart, S., Schieber, A., Carle, R. (2008). "Study of pulsed electric field and thermal processing of apple juice with particular consideration of juice quality and enzyme deactivation". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (12): 4545-4554
- 28 López, N., Puértolas, E., Condón, S., Álvarez, I., Raso, J. (2008). "Effects of pulsed electric fields on the extraction of phenolic compounds during the fermentation of must of Tempranillo grapes". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9: 477-482
- 29 López, N., Puértolas, E., Condón, S., Raso, J., Álvarez, I. (2009). "Enhancement of the extraction of betanine from red beetroot by pulsed electric fields". *Journal of Food Engineering*, 90: 60-66
- 30 Schiffmann, R.F. (2001). "Industrial microwave applications. State of the art of microwave application in the food industry in the USA". En: Willert-Porada, M. (ed.) *Advances in Microwave and Radio Frequency Processing*. Report from the 8th International Conference on Microwave and High Frequency Heating. Bayreuth, Germany, September 3-7, 2001. Doi: 10.1007/978-3-540-32944-2 Springer, Berlin, Heidelberg
- 31 Harlfinger, L. (1992). "Microwave sterilization". *Food Technology*, 46 (12): 57-61
- 32 Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition (2000). *Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies* <http://fda.gov>

- 33 Picouet, P., Del Valle, V. (2005). "Aplicaciones de las ondas electromagnéticas en productos alimenticios". TECA [Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació], núm. 8 (noviembre 2005): 26-33
- 34 Nikdel, S., Chen, C. S., Parish, M. E., Mackellar, D. G., Friedrich, L.M. (1993). "Pasteurization of citrus juice with microwave energy in a continuous-flow unit". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41: 2116-2119
- 35 Tajchakavit, S., Ramaswamy, H. S., Fustier, P. (1998). "Enhanced destruction of spoilage microorganisms in apple juice during continuous flow microwave heating". *Food Research International*, 31 (10): 713-722
- 36 Cañumir, J. A., Celis, J. E., De Bruijn, J., Vidal, L. V. (2002). "Pasteurization of apple juice by using microwaves". *LWT—Food Science and Technology*, 35: 389-392
- 37 Geveke, D. J., Brunkhorst, C. (2004). "Inactivation of Escherichia coli in apple juice by radio frequency electric fields". *Journal of Food Science*, 69 (3): 134-138
- 38 Geveke, D. J., Brunkhorst, C. (2008). "Radio frequency electric fields inactivation of Escherichia coli in apple cider". *Journal of Food Engineering*, 85: 215-221
- 39 Camacho, M. M., García Martínez, E., Igual, M., Martínez-Navarrete, N. (2009). "Pasteurización con microondas de zumo de pomelo". *Alimentación, equipos y tecnología*, 244: 34-38
- 40 Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M. M., Martínez-Navarrete, N. (2010). "Effect of thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice". *Food Chemistry*, (15 January 2010) 118 (2): 291-299
- 41 Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M. M., Martínez-Navarrete, N. (2011). "Changes in flavonoid content of grapefruit juice caused by thermal treatment and storage". *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, (April 2011) 12 (2): 153-162
- 42 Imai, T., Uemura, K., Ishida, N., Yoshizaki, S., Noguchi, A. (1995). "Ohmic heating of Japanese white radish *Raphanus sativus* L.". *International Journal of Food Science and Technology*, 30: 461-472
- 43 Vicente, A. A., Castro I., Teixeira, J. A. (2006). "Innovations in thermal food processes". En Da-Wen Sun (ed.). *Thermal food processing: New technologies and quality issues* (pp. 424-468). Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group
- 44 Sastry, S. K., Barach, J. T. (2000). "Ohmic and inductive heating". *Journal of Food Science Supplement*, 65 (4): 42-46
- 45 Sastry, S. K. (2005). "Advances in ohmic heating and moderate electric field (MEF) processing". En G. V. Barbosa-Cánovas, M. S. Tapia, M. P. Cano (eds.). *Novel food processing technologies*. Boca Raton, FL: CRC Press
- 46 Icier, F., Ilical, C. (2005). "Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating". *Food Research International*, 38: 1135-1142
- 47 Cho, H. Y., Yousef, A. E., Sastry, S. K. (1999). "Kinetics of inactivation of *Bacillus subtilis* spores by continuous or intermittent ohmic and conventional heating". *Biotechnology and Bioengineering*, 62 (3): 368-372
- 48 Pereira, R., Martins, J., Mateus, C., Teixeira, J. A., Vicente, A. A. (2007). "Death kinetics of *Escherichia coli* in goat milk and *Bacillus licheniformis* in cloudberry jam treated by ohmic heating". *Chemical Papers*, 61 (2): 121-126
- 49 Sun, H., Masuda, F., Kawamura, S., Himoto, J., Asano, K., Kimura, T. (2011). "Effect of electric current of ohmic heating on nonthermal injury to *Streptococcus thermophilus* in milk". *Journal of Food Process Engineering*, 34 (3): 878-892
- 50 Leizeron, S., Shimon, E. (2005). "Stability and sensory shelf life of orange juice pasteurized by continuous ohmic heating". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 4012-4018
- 51 Yildiz, H., Bozkurt, H., Icier, F. (2009). "Ohmic and conventional heating of pomegranate juice: Effects on rheology, color, and total phenolics". *Food Science and Technology International* (October 2009), 15: 503-512
- 52 National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (NACMCF) (2006). "Requisite scientific parameters for establishing the equivalence of alternative methods of pasteurization". *Journal of Food Protection*, 69: 1190-1216
- 53 National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (NACMCF) (2004). *Requisite scientific parameters for establishing the equivalence of alternative methods of pasteurization*. Washington, DC.
- 54 FDA (Food and Drug Administration), HHS (Health and Human Services) (2001). *Hazard analysis and critical control point (HACCP), procedures for the safe and sanitary processing and imprinting of juice, final rule*. Federal Register, 66, FR 6137-6202 <http://www.fda.gov>
- 55 Saldaña, G. (2011). *Criterios de procesado para la pasteurización por pulsos eléctricos de alto voltaje*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. España
- 56 Wan, J., Coventry, J., Swiergon, P., Sanguansri, P., Versteeg, C. (2009). "Advances in innovative processing technologies for microbial inactivation and enhancement of food safety: Pulsed electric field and low-temperature plasma". *Trends in Food Science and Technology*, 20: 414-424
- 57 Toepfl, S., Mathys, A., Heinz, V., Knorr, D. (2006). "Review: Potential of high hydrostatic pressure and pulsed electric fields for energy efficient and environmentally friendly food processing". *Food Reviews International*, 22, 405-423
- 58 Heinz, V., Toepfl, S., Knorr, D. (2003). "Impact of temperature on lethality and energy efficiency of apple juice pasteurization by pulsed electric fields treatment". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4: 167-175
- 59 Shamsi, K., Versteeg, C., Sherkat, F., Wan, J. (2008). "Alkaline phosphatase and microbial inactivation by pulsed electric field in bovine milk". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9: 217-233
- 60 Qiu, B. L., Chang, F. J., Barbosa-Cánovas, G. V., Swanson, B. G. (1995). "Nonthermal inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in apple juice using pulsed electric fields". *LWT*, 28: 564-568
- 61 Qiu, X., Sharma, S., Tuhela, L., Zhang, Q. H. (1998). "An integrated PEF pilot plant for continuous nonthermal pasteurization of fresh orange juice". *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 41: 1069-1074

- 62 Evrendilek, G. A., Zhang, Q. H., Richter, E. R. (1999). "Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Escherichia coli* 8739 in apple juice by pulsed electric fields". *Journal of Food Protection*, 62: 793-796
- 63 Jing, Z.T., Zhang, Q. H. (1999). "Pulsed electric field inactivation of microorganisms and preservation of quality of cranberry juice". *Journal of Food Processing Preservation*, 23: 481-497
- 64 McDonald, C. J., Lloyd, S.W., Vitale, M. A., Peterson, K., Innings, F. (2000). "Effects of pulsed electric fields on microorganisms in orange juice using electric field strengths of 30 and 50 kV/cm". *Journal of Food Science*, 65: 984-989
- 65 Rodrigo, D., Martínez, A., Harte, F., Barbosa-Cánovas, G.V., Rodrigo, M. (2001). "Study of inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange-carrot juice by means of pulsed electric fields: comparison of inactivation kinetics models". *Journal of Food Protection*, 64 (2): 259-263
- 66 García, D. (2005c). *Mecanismos de inactivación microbiana por pulsos eléctricos de alto voltaje*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. España
- 67 Zhang, Y., Mittal, G. S. (2005). "Inactivation of spoilage microorganisms in mango juice using low energy pulsed electric field in combination with antimicrobials". *Italian Journal of Food Science*, 17 (2): 167-176
- 68 Elez-Martínez, P., Escolà-Hernández, J., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. (2005). "Inactivation of *Lactobacillus brevis* in orange juice by high-intensity pulsed electric fields". *Food Microbiology*, 22: 311-319
- 69 Rivas, A., Sampedro, F., Rodrigo, D., Martínez, A., Rodrigo, M. (2006). "Nature of the inactivation of *Escherichia coli* suspended in an orange juice and milk beverage". *European Food Research and Technology*, 223: 541-545
- 70 Mosqueda-Melgar, J., Raybaudi-Massilia, R. M., Martín-Belloso, O. (2007). "Influence of treatment time and pulse frequency on *Salmonella Enteritidis*, *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* populations inoculated in melon and watermelon juices treated by pulsed electric fields". *International Journal of Food Microbiology*, 117: 192-200
- 71 Sampedro, F., Rivas, A., Rodrigo, D., Martínez, A., Rodrigo, M. (2007). "Pulsed electric fields inactivation of *Lactobacillus plantarum* in an orange juice milk based beverage: Effect of process parameters". *Journal of Food Engineering*, 80: 931-938
- 72 Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., Elez-Martínez, P., De Ancos, B., Martín-Bellos, O., Cano, M. P. (2005). "Impact of high pressure and pulsed electric fields on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice in comparison with traditional thermal processing". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 4403-4409
- 73 Sánchez-Moreno, C., De Ancos, B., Plaza, L., Elez-Martínez, P., Cano, M. P. (2009). "Nutritional approaches and health-related properties of fruits and vegetables processed by high pressure and pulsed electric fields". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49: 552-576
- 74 Sánchez-Moreno, C., De Ancos, B., Plaza, L., Elez-Martínez, P., Cano, M. P. (2011). "Effects of non-thermal technologies on nutritional quality and health related compounds of vegetable foods". En: *Nonthermal Processing Technologies for Food*. (cap. 33, pp. 502-536). Blackwell Publishers. EEUU
- 75 Min, S., Jin, Z.T., Zhang, Q. H. (2003). "Commercial scale pulsed electric field processing of tomato juice". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (11): 3338-3344
- 76 Elez-Martínez, P., Soliva-Fortuny, R. C., Martín Belloso, O. (2006). "Comparative study on shelf-life of orange juice processed by high intensity pulsed electric fields or heat treatments". *European Food Research and Technology*, 222 (3-4): 321-329
- 77 Cortés, C., Esteve, M. J., Frígola, A. (2008). "Effect of refrigerated storage on ascorbic acid content of orange juice treated by pulsed electric fields and thermal pasteurization". *European Food Research and Technology*, 227: 629-635
- 78 Torregrosa, F., Esteve, M. J., Frígola, A., Cortés, C. (2006). "Ascorbic acid stability during refrigerated storage of orange-carrot juice treated by high pulsed electric field and comparison with pasteurized juice". *Journal of Food Engineering*, 73: 339-345
- 79 Bull, M. K., Zerdin, K., Howe, E., Goicoechea, D., Paramanandhan, P., Stockman, R., Sellahewa, J., Szabo, E. A., Johnson, R. L., Stewart, C. M. (2004). "The effect of high pressure processing on the microbial, physical and chemical properties of Valencia and Navel orange juice". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5 (2): 135-149
- 80 Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Balasubramaniam, V. M., Niranjan, K., Knorr, D. (2007). "Opportunities and Challenges in High Pressure Processing of Foods". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47: 69-112
- 81 Oey, I., Lille, M., Van Loey, A., Hendrickx, M. (2008) "Effect of high pressure processing on colour, texture and flavour of fruit and vegetable-based food products: a review". *Trends in Food Science and Technology*, 19: 320-328
- 82 Ferrari, G., Maresca, P., Ciccarone, R. (2010). "The application of high hydrostatic pressure for the stabilization of functional foods: Pomegranate juice". *Journal of Food Engineering*, 100: 245-253
- 83 Knorr, D. (1995). En: D. A. Ledward, D. E. Johnston, R. G. Earnshaw, A. P. M. Hasting (eds.). *High Pressure Processing of Foods*. Nottingham University Press. Nottingham.
- 84 Ahn, J., Balasubramaniam, V. M., Yousef, A. E. (2005). *Effect of pressure-assisted thermal processing on the inactivation of selected Clostridium and Bacillus surrogate spores [abstract]*. *Nonthermal Processing Workshop*, September 15-16, Philadelphia, PA, USDA Eastern Regional Research Center; USDA ARS Eastern Regional Research Center, Wyndmoor, PA, Abstract.
- 85 Matser, A. M., Krebbers, B., Berg, R. W., Bartels, P. V. (2004). "Advantages of high-pressure sterilisation on quality of food products". *Trends in Food Science and Technology*, 15 (2): 79-85
- 86 De Roeck, A., Sila, D. N., Duvetter, T., Van Loey, A., Hendrickx, M. (2008). "Effect of high pressure/high temperature processing on cell wall pectic substances in relation to firmness of carrot tissue". *Food Chemistry*, 107 (3): 1225-1235
- 87 Van den Broeck, I., Ludikhuyze, L. R., Van Loey, A. M., Weemaes, C. A., Hendrickx, M. E. (1999). "Thermal and combined pressure-temperature inactivation of orange pectinesterase: Influence of pH and additives". *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 47: 2950-2958

- 88 Van den Broeck, I., Ludikhuyze, L. R., Van Loey, A. M., Hendrickx, M. E. (2000). "Inactivation of orange pectinesterase by combined high pressure and temperature treatments: a kinetic study". *Journal Agriculture Food Chemistry*, 48 (5): 1960-1970
- 89 Goodner, J. K., Braddock, R. J., Parish, M. E., Sims, C. A. (1999). "Cloud stabilization of orange juice by high pressure processing". *Journal of Food Science*, 64 (4): 699-700
- 90 Basak, S., Ramaswamy, H. S. (1996). "Ultra high pressure treatment of orange juice: a kinetic study on inactivation of pectin methyl esterase". *Food Research International*, 29 (7): 601-607
- 91 Duvetter, T., Sila, D. N., Van Buggenhout, S., Jolie, R., Van Loey, A., Hendrickx M. (2009). "Pectins in processed fruit and vegetables. Part I. Stability and catalytic activity of pectinases". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8: 75-85
- 92 Nienaber, U., Shellhammer, T. H. (2001). "High-pressure processing of orange juice: kinetics of pectinmethyl esterase inactivation". *Journal of Food Science*, 66 (2): 328-331
- 93 Donsi, G., Ferrari, G., Di Matteo, M. (1996). "High-pressure stabilization of orange juice: evaluation of the effects of process conditions". *Italian Journal of Food Science*, 8(2): 99-106
- 94 Takahashi, F., Pehrsson, P. E., Rovere, P., Squarcina, N. (1998). "High pressure processing of fresh orange juice". *Industria Conserve*, 73(4), 363-368
- 95 Strohham, J., Valentova, H., Houska, M., Novotna, P., Landfeld, A., Kyhos, K., y Gree, R. (2000). "Changes in quality of natural orange juice pasteurized by high pressure during storage". *Czech Journal of Food Science*, 18(5), 187-193
- 96 Fernández, García A., Butz, P., y Tauscher, B. (2001). "Effects of high-pressure processing on carotenoid extractability, antioxidant activity, glucose diffusion, and water binding of tomato puree (*Lycopersicon esculentum* Mill.)". *Journal of Food Science*, 66(7), 1033-1038
- 97 Polydera, A. C., Stoforos, N. G., y Taoukis, P. S. (2004). "The effect of storage on the antioxidant activity of reconstituted orange juice, which had been pasteurized by high pressure or heat". *International Journal of Food Science and Technology*, 39(7), 783-791
- 98 Sánchez, C. M., Plaza, L., De Ancos, B., y Cano, M. P. (2004). "Effect of combined treatments of high-pressure and natural additives on carotenoid extractability and antioxidant activity of tomato puree (*Lycopersicon esculentum* Mill.)". *European Food Research and Technology*, 219(2), 151-160
- 99 Butz P, Serfert Y, Fernandez A.G., Dieterich S., Lindauer R, Bognar A., y Tauscher, B. (2004). "Influence of high-pressure treatment at 25 °C and 80 °C on folates in orange juice and model media". *Journal of Food Science*, 69(3), 117-121
- 100 Novotna, P., Valentova, H., Strohalm, J., Kyhos, K., Landfeld, A., y Houska, M. (1999). "Sensory evaluation of high pressure treated apple juice during its storage". *Czech Journal of Food Science*, 17(5), 196-198
- 101 Donsi, G., Ferrari, G., Di Matteo, M., y Bruno, M. C. (1998). "High-pressure stabilization of lemon juice". *Italian Food & Beverage Technology*, 14, 14-16
- 102 Kheadr, E. E., Vachon, J. F., Paquin, P., Fliss, I. (2002). "Effect of dynamic high pressure on microbiological, rheological and microstructural quality of cheddar cheese". *International Dairy Journal*, 12: 435-446
- 103 Lucore, L. A., Shellhammer, T. H., Yousef, A. E. (2000). "Inactivation of *Listeria monocytogenes* Scott A on artificially contaminated frankfurters by high pressure processing". *Journal of Food Protection*, 63: 662-664
- 104 NC Hyperbaric, 2010 (Julio 2010). <http://www.hiperbaric.com/>
- 105 Reglamento (CE) N° 1935/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se derogan las Directivas 80/590/CEE y 89/109/CEE. *Diario Oficial de la Unión Europea*
- 106 www.aesan.msc.es/AESAN
- 107 Soares, N. F. F., Hotchkiss, J. H. (1998a). "Bitterness reduction in grapefruit juice through active packaging". *Packaging Technology and Science*, 11: 9-18
- 108 Soares, N. F. F., Hotchkiss, J. H. (1998b). "Naringinase immobilisation in packaging films for reducing naringin concentration in grapefruit juice". *Journal of Food Science*, 63: 61-65
- 109 OMS/FAO (2004). WHO/FAO, *Report on Fruit and Vegetables for Health*
- 110 http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/fruit_vegetables_report.pdf
- 111 Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., De Ancos, B., Cano, M. P. (2003). "Quantitative bioactive compounds assessment and their relative contribution to the antioxidant capacity of commercial orange juices". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83: 430-439
- 112 Barbosa-Cánovas, G. V., Tapia, M. S., Cano, M. P. (2005). *Novel food processing technologies*. Serie Food Science and Technology. Vol. 141. Marcel Dekker/CRC Press. Boca Ratón, FL, USA
- 113 Sánchez-Moreno, C., De Ancos, B., Plaza, L., Elez-Martínez, P., Cano, M. P. (2011). "Effects of non-thermal Technologies on nutritional quality and health related compounds of vegetable foods". En *Nonthermal processing technologies for food* (cap. 33, pp. 502-536). Blackwell Publishers. EEUU
- 114 Timmermans, R. A. H., Mastwijk, H. C., Knol, J. J., Quataert, M. C. J., Vervoort, L., Van der Plancken, I., Hendrickx, M. E., Matser, A. M. (2011). "Comparing equivalent thermal, high pressure and pulsed electric field processes for mild pasteurization of orange juice. Part I: Impact on overall quality attributes". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12: 235-243
- 115 Vervoort, L., Van der Plancken, I., Grauwet, T., Timmermans, R. A. H., Mastwijk, H. C., Matser, A. M., Hendricks, M. E., Van Loey, A. (2011). "Comparing equivalent thermal, high pressure and pulsed electric field processes for mild pasteurization of orange juice. Part II: Impact on specific chemical and biochemical quality parameters". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. In press DOI: 10.1016/j.ifset.2011.06.003
- 116 Ochoa, M. R., Kessler, A. G., Vullouid, M. B., Lozano, J. E. (1999). "Physical and chemical characteristics of raspberry pulp: storage effect on composition and color". *Food Science and Technology*, 32: 149-154

- 117 Martí, N., Pérez-Vicente, A., García-Viguera, C. "Influence of storage temperature and ascorbic acid addition on pomegranate juice". *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82(2): 217-221
- 118 Tiwari, B. K., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P. J., O'Donnell C. P. (2010). "Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice". *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(3): 598-604
- 119 Indrawati, Van Loey, A.; Hendrickx, M. (2002). "High pressure processing". En Henry, C. J. K., Chapman, C. (eds). *The Nutrition Handbook for Food Processors*. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England: 433-461
- 120 Maiani, G., Periago Caston, M. J., Catasta, G., Toti, E., Goñi Campodron, I., Bysted, E., Granado-Lorenzo, F., Olmedilla-Alonso, B., Knuthsen, P., Valoti, P., Bohm, V., Mayer-Miebach, E., Behnlian, D., Schlemmer, U. (2009). "Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans". *Molecular Nutrition and Food Research*. 53: S194-S218
- 121 Gartner, C., Stahl, W., Sies, H. (1997). "Lycopene is more bioavailable from tomato paste than from fresh tomatoes". *The American Journal of Clinical Nutrition*, 66: 116-22
- 122 Van Het Hof, K. H., West, C. E., Weststrate, J. A., Hautvast, J. G. A. J. (2000). "Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids". *Journal of Nutrition*, 130(3): 503-506
- 123 Odriozola-Serrano, I., Aguiló-Aguayo, I., Soliva-Fortuny, R., Gimeno-Añó, V., Martín-Belloso, O. (2007). "Lycopene, vitamin C, and antioxidant capacity of tomato juice as affected by high-intensity pulsed electric fields critical parameters". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 9036-9042
- 124 Plaza, L., Sánchez-Moreno, C., Elez-Martínez, P., De Ancos, B., Martín-Belloso, O., Cano, M. P. (2011). "Carotenoid and flavanone content during refrigerated storage of orange juice processed by high-pressure, pulsed electric fields and low pasteurization". *LWT-Food Science and Technology*, 44: 834-839
- 125 http://www.asozumos.org/v_portal/informacion/informacionver.asp?cod=1115&te=93&idage=1341&vap=0
- 126 AEAZN, Asociación Española de Autocontrol de Zumos y Néctares (2010). *Memoria anual de actividades*
- 127 <http://www.eqcs.com>