

Introducción a la **tecnología** de **conservas vegetales**

Miguel Carrión Calderón | Cristian Rojas



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa
Editora



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa
Editora

Introducción a la tecnología de **conservas vegetales**



Casa 
Editora

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Francisco Salgado Arteaga
RECTOR

Martha Cobos Cali
VICERRECTORA ACADÉMICA

Jacinto Guillén García
VICERRECTOR DE INVESTIGACIONES

Toa Tripaldi Proaño
**DIRECTORA DE COMUNICACIÓN
Y PUBLICACIONES**

AUTORES

Miguel Carrión Calderón
Cristian Rojas

REVISIÓN TÉCNICA

Juan de Dios Alvarado, MSc
Universidad Técnica de Ambato

Felipe Jadán Piedra, PhD
Universidad Técnica de Manabí

Diego Suárez Estrella, PhD
Universidad de Milán

Corrección de estilo

Paulo Freire Valdiviezo

Diagramación y diseño
Departamento de Comunicación
y Publicaciones

Priscila Delgado Benavides

Introducción a
la tecnología de
conservas vegetales

ISBN: 978-9942-822-22-2

e-ISBN: 978-9942-822-23-9



Miguel Carrión Calderón

Doctor en Química Industrial (Universidad de Cuenca)

Especializado en Ingeniería de Alimentos (Universidade Estadual de Campinas, Brasil)

Profesor Jubilado de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca y exprofesor de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay



Cristian Rojas, PhD

Ingeniero en Alimentos (Universidad del Azuay)

Doctor en Ciencias Químicas (Universidad Nacional de La Plata, Argentina)

Profesor Titular de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay.

Contenido

Prólogo	1
Introducción	3
Agradecimiento	5

01 Principios de Ciencia y Tecnología de Alimentos 6

1.1 Introducción	8
1.2 El alimento como un sistema multivariado	8
1.3 Ramas de la tecnología de alimentos	11
1.4 Ideas generales sobre los constituyentes químicos de los alimentos	15
1.5 Composición química del alimento	15
1.5.1 Agua	16
1.5.2 Minerales	17
1.5.3 Carbohidratos	19
1.5.4 Lípidos	20
1.5.5 Proteínas	22
1.5.6 Ácidos orgánicos	23
1.5.7 Vitaminas	24
1.5.8 Enzimas	25
1.6 Aditivos en los alimentos	26
1.6.1 Funciones	26
1.6.2 Clasificación	27

02 Características de los vegetales 48

2.1 Cereales	50
2.1.1 Trigo	50
2.1.2 Arroz	54
2.1.3 Cebada	57
2.1.4 Centeno	58
2.1.5 Avena	59
2.1.6 Maíz	59
2.1.7 Quinua	60



2.2 Leguminosas y vegetales	61
2.2.1 Hortalizas	61
2.2.2 Frutas	69
2.2.3 Hongos	75
2.2.4 Algas	75

03 Envase para la industria de conservas 76

3.1 Características de los envases de alimentos 78

3.2 Envases de vidrio	79
3.2.1 Formas y tamaños	80
3.2.2 Composición química	80
3.2.3 Propiedades del vidrio	82
3.2.4 Manejo del recipiente	83
3.2.5 Resistencia del vidrio	84
3.2.6 Fabricación de vidrio para envases	84
3.2.7 Tapas para envases de vidrio	86

3.3 Envases de hojalata	89
3.3.1 Formatos y tamaños	91
3.3.2 Composición química	92
3.3.3 Corrosión de la hojalata	93
3.3.4 Formación de planchas de hojalata	95
3.3.5 Recubrimiento para hojalata	97
3.3.6 Fabricación de los envases de hojalata	105

3.4 Envases de aluminio	107
3.4.1 Composición química	108
3.4.2 Características	109
3.4.3 Métodos de fabricación	110
3.4.4 Utilización de los envases de aluminio	111

3.5 Envases de materiales plásticos	111
3.5.1 Elección de las materias primas	112
3.5.2 Películas plásticas	116
3.5.3 Envolturas encogibles o retráctiles	121
3.5.4 Fabricación de envases rígidos de plástico	122
3.5.5 Problemas de los envases de plástico	124
3.5.6 Llenado y cierre de recipientes rígidos de plástico	126

3.6 Envases laminados	127
3.7 Envases activos antimicrobianos de alimentos	129
3.7.1 Envasado activo	129
3.7.2 Envasado activo antimicrobiano	130
3.8 Envases de biopolímeros (películas comestibles)	131
3.9 Envases de madera	134
3.10 Bidones	134
3.11 Tendencias en el empacado de alimentos	135

04 Principios de conservación de alimentos 136

4.1 La técnica de la Appertización	138
4.2 Descomposición de los alimentos originada por microorganismos	139
4.3 Industria de conservas alimenticias	140
4.4 Método de Apper	140
4.4.1 Operaciones de preparación	140
4.4.2 Operaciones de transformación gradual	141
4.4.3 Operaciones de acabado	141
4.5 Diagramas de flujo	141
4.6 Requisitos de la materia prima	145
4.6.1 Cultivo selectivo de materia prima	145
4.6.2 Programación del crecimiento y adquisición de materia prima	145
4.6.3 Recolección	145
4.7 La calidad	145
4.7.1 Programa de control de calidad	146
4.7.2 Control de calidad en materias primas	147
4.8 Ejercicios	149

05 Transporte, almacenamiento y calificación de materias primas 150

5.1 Transporte de materia prima	152
5.2 Almacenamiento de vegetales	152



5.3 Almacenamiento y maduración de frutos	153
5.3.1 Actividad climatérica y no climatérica	153
5.3.2 Modificaciones químicas durante la maduración	155
5.3.3 Almacenamiento refrigerado	156
5.3.4 Atmósferas controladas para almacenamiento	161
5.4 Almacenamiento de semillas oleaginosas	164
5.4.1 Daños de las semillas durante su almacenamiento	168
5.5 Almacenamiento de granos de cereales	168
5.6 Calificación y selección de materia prima	169
5.6.1 Clasificación y categorización	170
5.7 Decantación gravitatoria	171
5.7.1 Cálculo de la velocidad límite	171
5.7.2 Influencia del movimiento del fluido	173
5.7.3 Aparatos de decantación	175
5.8 Tamizado	176
5.9 Ejercicios	181

06 Operaciones de Acondicionamiento de Materias Primas 182

6.1 Lavado de vegetales	184
6.1.1 Remojo	184
6.1.2 Lavado por agitación con agua	184
6.1.3 Lavado por aspersión o pulverización	186
6.1.4 Limpieza y desinfección de equipos	187
6.2 Pelado y segmentación	189
6.2.1 Pelado de frutas y hortalizas	189
6.2.2 Segmentación	190
6.3 Escaldado y blanqueamiento	190
6.3.1 Escaldado de productos vegetales	192
6.3.2 Ventajas y desventajas del escaldado y del blanqueamiento	193
6.3.3 Equipos de blanqueamiento	193
6.4 Ejercicios	195

07	Operaciones específicas de transformación	196
7.1	Freimiento y sofreimiento	198
7.1.1	Tipos de aceite para fritura	199
7.1.2	Efecto del calor sobre el aceite	199
7.1.3	Efecto de la fritura en el alimento	200
7.1.4	Incorporación de aceite	201
7.1.5	Fenómenos de transferencia durante la fritura	201
7.1.6	Transferencia de masa y microestructura	202
7.1.7	Métodos de fritura comercial	203
7.2	Extracción de pulpas, jugos y derivados	206
7.2.1	Generalidades	206
7.2.2	Preparación de la fruta y extracción del jugo	207
7.2.3	Clarificación	210
7.2.4	Filtración	211
7.3	Mezclado	216
7.3.1	Caracteres reológicos	217
7.3.2	Granulometría	218
7.3.3	Grado de heterogeneidad de una mezcla	219
7.3.4	Mezclas de líquidos y pastas	220
7.3.5	Velocidad de mezcla	223
7.3.6	Equipos para mezclado	225
7.4	Concentración	226
7.5	Deshidratación	231
7.5.1	Actividad de agua	233
7.5.2	Preparación de los frutos	237
7.5.3	Procesos	237
7.5.4	Duración del secado	237
7.5.5	Métodos de secado	238
7.6	Conservación por acidificación	241
7.6.1	Preparación de líquidos de gobierno	241
7.7	Ejercicios	249



08 Envasado

252

8.1 Introducción	254
8.2 Objetivos de la selección del alimento a envasar	254
8.3 Envasado	257
8.3.1 Envasado en frío	257
8.3.2 Envasado en caliente	257
8.3.3 Envasado en atmósferas modificadas (MAP)	258
8.3.4 Envasado activo	259
8.3.5 Envasado mediante tratamientos no térmicos	259
8.4 Evacuado o exhausting	260
8.4.1 Objetivos del evacuado	260
8.4.2 Grado de vacío	260
8.4.3 Equipos de evacuado a vapor	261
8.5 Cerrado de envases	263
8.5.1 Evacuado y cerrado en caliente	263
8.5.2 Evacuado y cerrado en frío	263
8.5.3 Cerrado de envases de hojalata	264
8.6 Diversas formas de productos en conserva	265
8.6.1 Conservas de arvejas	265
8.6.2 Conservas de durazno	266
8.6.3 Mermeladas	266
8.6.4 Encurtidos y escabeches	267

09 Tratamiento térmico y no térmico

270

9.1 Consideraciones generales	272
9.2 Factores que influyen en el desarrollo de los microorganismos	273
9.2.1 Composición del medio	273
9.2.2 Temperatura	274
9.2.3 Presión osmótica y humedad relativa	274
9.2.4 pH	274
9.2.5 Oxígeno y otros	276

9.3 Procesamiento térmico de alimentos	276
9.3.1 Esterilización	277
9.3.1.1 <i>Destrucción térmica de los microorganismos</i>	277
9.3.1.2 <i>Penetración del calor en alimentos envasados</i>	284
9.3.1.3 <i>Influencia de la temperatura</i>	284
9.3.1.4 <i>Factores que influyen en la penetración de calor</i>	288
9.3.1.5 <i>Curva de razón letal y tiempo de esterilización</i>	290
9.3.1.6 <i>Esterilizadores o autoclaves</i>	291
9.3.1.7 <i>Esterilizadores discontinuos</i>	292
9.3.1.8 <i>Esterilizadores continuos</i>	294
9.3.2 Pasteurización	295
9.4 Procesamiento no térmico de alimentos	297
9.4.1 Alta presión hidrostática	298
9.4.2 Campos magnéticos oscilantes	298
9.4.3 Campos eléctricos pulsantes de alta intensidad	299
9.4.4 Pulsos lumínicos	300
9.4.5 Filtración esterilizante	300
9.4.6 Tecnología de barreras y agentes químicos y bioquímicos	300
9.4.7 Ultrasonido	300
9.4.8 Irradiación de alimentos	301
10 Operaciones de acabado y defectos de las conservas	310
10.1 Almacenamiento para control	312
10.2 Selección final de envases	312
10.3 Etiquetado	313
10.4 Comercialización	313
10.5 Defectos de las conservas y fallas en la esterilización	313
10.5.1 Condiciones microbiológicas de las conservas	313
10.5.2 Alteraciones de las conservas	314
10.5.3 Medidas para evitar el abombamiento de las conservas	320
10.5.4 Otras alteraciones producidas	320
Referencias bibliográficas	321



Prólogo

Uno de los 17 objetivos de Desarrollo Sostenible propuesto por las Naciones Unidas, para enfrentar la actual crisis socioambiental del mundo, en el período 2015-2030, es el objetivo 2, *"Hambre cero: poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y una mejor nutrición, y promover la agricultura sostenible"*. En otras palabras: terminar con todas las formas de hambre y desnutrición de aquí a 2030 y velar por el acceso de todas las personas, en especial los niños y las personas más vulnerables, a una alimentación suficiente y nutritiva durante todo el año.

Frente a este importante y vital reto vale reconocer que a pesar del rápido crecimiento económico y al aumento de la productividad agrícola en las últimas dos décadas, que produjo una reducción casi a la mitad de personas desnutridas, de manera particular en Asia Central y Oriental, y América Latina y el Caribe, el hambre extrema y la desnutrición siguen siendo obstáculos enormes para el desarrollo de muchos países. Se estima que 795 millones de personas sufrían de desnutrición crónica en 2014, más de 90 millones de niños menores de cinco años tienen un peso peligrosamente bajo y una de cada cuatro personas pasa hambre en África. En Ecuador, la cifra de desnutrición en niños es altamente alarmante: seis de cada 10 la sufren.

En este contexto, la producción de alimentos en Ecuador, uno de los países más biodiversos del mundo, tiene enorme relevancia en el plazo inmediato y mediano, precisamente para solventar el hambre en esta época de incontenible explosión demográfica y de alarmante crisis. Aquellos alimentos, como las frutas y vegetales, muy cotizados en los mercados internacionales, en ocasiones generan grandes pérdidas por procesos postcosecha que buscan valor agregado. Esos desperdicios se estiman en el 30 o 40%. Frente a esta desventajosa situación, la tecnología de alimentos vegetales, con la ayuda de di-

versas operaciones unitarias para modificar las propiedades de los alimentos, puede ser usada como herramienta expedita para limitar estas importantes pérdidas, extender la vida útil de este tipo de alimentos vegetales y otorgarles mayor valor agregado.

El presente libro, iniciativa destacada de dos emblemáticos catedráticos, Miguel Carrión Calderón y Cristian Rojas, de la Escuela de Ingeniería en Alimentos de la Universidad del Azuay en Cuenca-Ecuador, aborda de manera concisa y profunda la tecnología de conservas vegetales en diez capítulos. La originalidad del trabajo radica en que trata, de manera holística y multivariada, el procesamiento de los vegetales; desde la composición de macro y micronutrientes de los productos en estudio (cereales, leguminosas, vegetales y frutas), el tratamiento de materias primas, sus procesos de transformación, las operaciones de acabado, el envasado y sus defectos, hasta los tratamientos clásicos y emergentes para la prolongación de la vida útil de un alimento de buena calidad.

En este escueto marco de análisis, consideramos sinceramente que una puerta interesante para la investigación y el desarrollo del país, especialmente en la lucha local y mundial contra el hambre y la desnutrición, considerada desde el área de alimentos vegetales, se abre y visualiza mediante esta importante contribución. La obra está dirigida a profesionales de la industria agroalimentaria, a estudiantes de Ingeniería de Alimentos y afines, y a otras personas interesadas en aplicar correcta y responsablemente la tecnología de conservas vegetales.

Pedro Maldonado-Alvarado, PhD
Escuela Politécnica Nacional

Quito, septiembre de 2019



Introducción

Las frutas y vegetales son los principales productos alimenticios que se consumen de forma natural o en diversos alimentos procesados. Esto se debe a que la población mundial aumenta cada día, pero también se debe a una tendencia creciente, de ciertos grupos de consumidores, a limitar o incluso eliminar la utilización de alimentos de origen animal. Por consiguiente, los consumidores prefieren los productos alimenticios que conservan su valor nutricional y mantienen su color natural, frescura, sabor y textura inalterables. También preferirán aquellos alimentos que contengan menos aditivos químicos. La necesidad de cumplir con estos requisitos plantea nuevos desafíos para los productores y procesadores de frutas y vegetales, lo que ha generado un creciente interés en investigaciones sobre la importancia de dichos productos en la salud de las personas, y además estudios que tienden al desarrollo de nuevas técnicas de procesamiento que preserven las cualidades sensoriales.

La industria de conservas vegetales es posiblemente una de las principales empresas del mundo, debido a que cada vez se transforman grandes cantidades de frutas y vegetales en pulpa, jugo, productos deshidratados, congelados, refrigerados, etc., haciendo posible la conservación de estos alimentos para consumirlos durante cualquier época del año. Debido a que se recomienda el consumo de frutas y vegetales para tener una buena salud, el desafío de la industria de conservas radica en proporcionar un producto nutritivo y saludable. Esto depende fuertemente del conocimiento de las modificaciones de calidad que ocurren durante los diversos procesos de manufactura.

Desde que el francés Nicolas Appert publicara en 1809 los resultados referentes a la conservación de alimentos en recipientes herméticamente sellados y sometidos a la acción del calor en baño maría, y con la posterior introducción de los envases de hojalata, se comenzaron a crear las primeras industrias de

conservas en el mundo. Sin embargo, la posibilidad de procesar alimentos a temperaturas superiores a las de ebullición del agua para obtener productos que se conserven por más tiempo, no tuvo lugar sino hasta la aparición del autoclave. Posteriormente, Louis Pasteur (1866) y Robert Koch (1900) iniciaron los estudios del proceso de destrucción térmica de los microorganismos, permitiendo establecer los principios científicos para el cálculo de reducción de la carga microbiana por acción del calor en los productos de conserva.

El libro presenta de una forma clara y accesible los principales temas que deberían ser tratados en un curso de 'Tecnología de Conservas Vegetales' a nivel de pregrado, por lo que está muy lejos de ser una referencia especializada en cualquiera de los mismos. El documento se ha estructurado en diez capítulos que pueden ser estudiados de forma dinámica y complementaria: Principios de ciencia y tecnología de alimentos; Características de las frutas y vegetales; Envases para la industria de conservas; Principios de conservación de alimentos; Transporte, almacenamiento y calificación de materia prima; Limpieza, lavado y escaldado de materia prima; Operaciones específicas de transformación; Envasado; Tratamiento térmico y no térmico; Operaciones de acabado y defectos de las conservas. Adicionalmente, en algunos capítulos se han incluido ejercicios desarrollados *in extenso* para ilustrar los cálculos involucrados, así como ejercicios complementarios para ser resueltos.

Esperamos sinceramente que esta contribución a la literatura en Ciencia y Tecnología en Alimentos producida en nuestra universidad sea acogida con entusiasmo por parte de estudiantes de las carreras de Ingeniería en Alimentos, Agroindustrias o Industrias Agropecuarias; así como docentes y profesionales que desempeñan su trabajo en plantas procesadoras de alimentos.

Miguel Carrión Calderón
Cristian Rojas

Cuenca, septiembre de 2019



Agradecimiento

Se desea expresar el agradecimiento a la Universidad del Azuay por hacer posible la publicación de la presente obra. De igual forma al Profesor (j) Juan de Dios Alvarado de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos (FCIAL) de la Universidad Técnica de Ambato, al Dr. Felipe Jadán Piedra de la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí y al Dr. Diego Suárez Estrella del Departamento de Ciencias para la Alimentación, la Nutrición y el Ambiente (DeFENS) de la Universidad de Milán, por la invaluable revisión del manuscrito y las sugerencias técnicas para una mejor presentación del libro. Finalmente, al Diseñador Gráfico Adrián Rojas por el valioso aporte en la edición de las tablas y figuras.

Principios de Ciencia y Tecnología **de Alimentos**



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa
Editora

01

1.1 Introducción

La Tecnología de Alimentos es una rama de las ciencias que estudia la aplicación de los procesos y operaciones unitarias en la estabilización o conservación de los alimentos procesados para su consumo mediato que, según el tipo de producto, puede ser al cabo de pocos días o varios años (Alba y Cuéllar, 2008). La estabilización pretende evitar de forma temporal o permanente el deterioro de los productos debido a procesos físicos, químicos, bioquímicos o microbiológicos. Un alimento puede ser estabilizado al natural o luego de ser sometido a modificaciones químicas o fisicoquímicas que mejoren su digestibilidad o sus características organolépticas (Charley, 2012). Entre las modificaciones químicas anotaremos: la hidrólisis de los almidones y la hidrólisis de la sacarosa en las mermeladas; el pelado químico; la proteólisis y lipólisis durante la fermentación de la carne. Entre las modificaciones fisicoquímicas podemos citar: la gelatinización de los almidones y proteínas; formación de geles de pectina; formación de costras en la fritura; la formación y encapsulación del CO_2 durante la elaboración del pan (Belitz, Grosch y Schieberle, 2012), (Darmodaran, Parkin y Fennema, 2010).

1.2 El alimento como un sistema multivariado

Es importante concebir al alimento como un sistema multivariado, sea como materia prima, producto en proceso o producto terminado; sin dejar de lado los atributos sensoriales que constituyen el sistema más complejo a considerar durante el diseño del producto. La tecnología e ingeniería de los alimentos aplica diversos métodos, durante su transformación

mediante procesos estandarizados, para el estudio de una matriz alimentaria (por ejemplo, pelado, escaldado, troceado, fritura, secado, pasteurizado), cuya finalidad es la preservación y prolongación de la vida de anaquel y para su aceptación en el mercado (Hubbard, 2012).

El control de calidad de sistemas de producción y pruebas de autenticidad de productos han tomado gran importancia en la industria de alimentos, debido a que constituyen aspectos importantes para ser competitivos en el mercado actual. Tanto los sistemas de producción como los alimentos pueden ser descritos como matrices complejas, ya que existen varios factores o variables que interactúan simultáneamente y juegan un rol fundamental. En consecuencia, estos factores deberían ser monitoreados y sus efectos (sinérgicos o antagónicos) controlados. Existe también una necesidad en la industria de racionalizar y mejorar la calidad y el control de procesos (Larrañaga, Carballo, Rodríguez et al., 1999), (Lees, 1982).

Los sistemas modernos de producción requieren monitoreos automáticos veloces y en línea, los cuales deberían ser capaces de extraer la información de mayor relevancia de manera que se asegure el funcionamiento óptimo del sistema. Por otro lado, los alimentos adquieren un mayor valor cuando su autenticidad es protegida, controlada y asegurada; de hecho, los consumidores están más orientados hacia la compra de alimentos con un origen certificado. Así, en los últimos años ha habido un mayor interés en la autenticación del origen de los alimentos, debido a que dicho parámetro puede ser a menudo asociado con la calidad del alimento. Por este motivo, la denominación de origen protegida para productos agrícolas ha sido introducida en las disposiciones oficiales europeas (2081/1992) (Lees, 2003).

Las técnicas analíticas tradicionales no siempre se acoplan con estos requerimientos, debido a que resultan costosas y requieren largos tiempos de análisis, mientras que métodos rápidos y económicos son esenciales para asegurar un monitoreo continuo. Consecuentemente, las técnicas analíticas modernas han sido usadas para estos propósitos, ya que permiten caracterizaciones de los alimentos de forma más rápida y no invasiva. A estas técnicas pertenecen la resonancia magnética nuclear (NMR), la espectroscopia infrarroja cercana (NIR), los sensores electroquímicos y análisis de imágenes, entre otros. Una característica común de estas técnicas es la producción de una enorme cantidad de espectros y bases de datos que deben ser analizadas e interpretadas (Lees, 2003), (Marini, 2013).

En resumen, el control de la calidad y autenticidad se enfrenta con sistemas complejos que son descritos por grandes cantidades de datos. Como consecuencia, herramientas específicas de análisis de datos deben ser usadas para asegurar la correcta interpretación. Por consiguiente, las aplicaciones de la estadística en la ciencia de los alimentos son amplias y variadas, comenzando desde el análisis de las fichas de las características o propiedades fisicoquímicas de la materia prima, pasando por el análisis sensorial y el control de la calidad, así como la optimización de nuevos productos y procesos (Saltos, 2001), (Stone y Bleibaum, 2017). Cuando los problemas a resolver resul-

tan complejos, la estadística multivariada brinda las herramientas necesarias para analizar la información descrita por múltiples variables que pueden ser estudiadas simultáneamente y comprendidas de una manera rápida, eficiente y sencilla. En la industria alimentaria existe la necesidad de racionalizar y mejorar los procesos de control de calidad, para que los monitoreos en línea sean capaces de extraer la máxima información posible para asegurar un proceso productivo (Saltos, 2001), (Zuluaga Dominguez, 2011). De hecho, la estadística multivariada ha demostrado ser capaz de manejar grandes cantidades de datos, de procesarlos y de dar resultados útiles que puedan ser interpretados por los operadores. Otra característica fundamental de estos métodos estadísticos es la simplicidad de sus respuestas de salida, es decir, a pesar de que los modelos matemáticos usados para interpretar los datos pueden ser complejos y estructurados, sus respuestas deben ser lo suficientemente claras para garantizar su efectiva aplicabilidad. Por ejemplo, una respuesta binaria (presencia/ausencia, aceptable/no aceptable) puede ser proporcionada al monitoreo en línea con el sistema de autenticación, convirtiendo así a la estadística multivariada en una herramienta completamente confiable para los temas propuestos (Ballabio, 2006), (Marini, 2013). La Figura 1.1 esquematiza el rol que cumple el análisis multivariado de los datos en el ciclo del conocimiento.

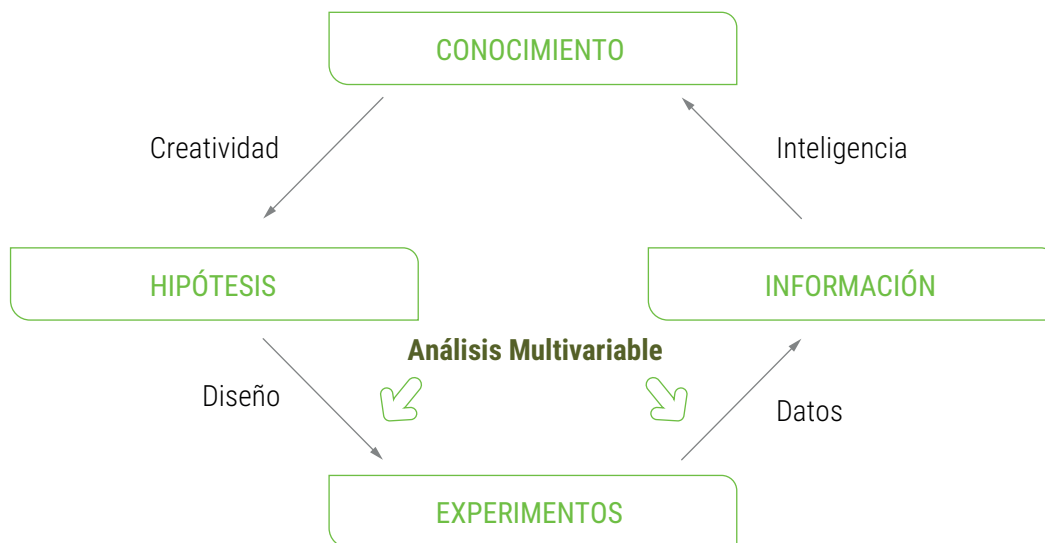


Figura 1.1 Aplicación del análisis multivariado en el ciclo del conocimiento
Adaptado de: Ballabio, D. (2006). *Chemometric Characterisation of Physical-Chemical Fingerprints of Food Products*. Italia: Università degli Studi di Milano

De igual forma, la persona que trabaja con sistemas alimentarios debe conocer claramente las variables que pueden influir en el aumento de la vida útil del producto, lo cual conduce a diseñar procesos óptimos de conservación. También se deben considerar las variables útiles durante el diseño en planta piloto y como extrapolarnos a la producción industrial, sin dejar de lado el estudio de las interacciones entre las mismas, que producen sinergias o antagonismos frente a la respuesta en estudio (López-Gómez y Barbosa-Cánovas, 2005).

Esto requiere que el técnico en alimentos se encuentre entrenado en habilidades complementarias para el diseño de experimentos, interpretación de superficies de respuesta (problemas no lineales) o análisis de polinomios donde se encuentran la información de las diversas varia-

bles. Además, es importante el entrenamiento que el técnico en alimentos tenga acerca de la forma apropiada de manejar un grupo de variables de diversa naturaleza y sea capaz de discernir entre las variables principales y las que no involucren un cambio sustancial de la respuesta en estudio. En la mayoría de los casos se busca un punto óptimo (máximo o mínimo), o un óptimo que combine varias respuestas simultáneamente (métodos de decisión multicriterio) (Rojas, Tripaldi, Pérez et al., 2012), (Saltos, 2010). Por ejemplo, se conoce que la acción de variables como: actividad de agua, temperatura, pH, envasado y esterilización determinan la estabilidad de un producto terminado. De igual forma, variables como cantidad de materia prima A, B y C, tratados a diferentes niveles de las variables X, Y y Z determinan un producto de

características sensoriales particulares para un panel. Desde luego, la manera más eficiente de analizar la información producida es la aplicación de técnicas estadísticas normales y multivariadas en el área de los alimentos, las cuales pueden ser:

1. Muestreo (muestreo no aleatorio y muestreo aleatorio o probabilístico) y control de la calidad (Balzarini, Di Rienzo, Tablada et al., 2012), (Saltos, 2001)
2. Técnicas quimiométricas: análisis de componentes principales, análisis de conglomerados, métodos de regresión: mínimos cuadrados ordinarios (OLS) o parciales (PLS), métodos de clasificación: análisis discriminante lineal (LDA), análisis discriminante cuadrático (QDA), entre otros (Ballabio, 2006), (Marini, 2013), (Rojas et al., 2012).
3. Técnicas de diseño experimental: factoriales, fraccionarios, Plackett-Burman, Doheret, mezclas, entre los más conocidos; así como métodos de optimización: superficie de respuesta, máxima pendiente, simplex, entre los más aplicados (Balzarini et al., 2012), (Romo, 2002), (Saltos, 1993), (Saltos, 2001), (Saltos, 2010), (Sharma, Mulvaney y Rizvi, 2003), (Todeschini, Consonni, Ballabio et al., 2012).
4. Métodos de decisión multicriterio: funciones de utilidad, deseabilidad, dominancia (Rojas, Aguilar y Tripaldi, 2010), (Rojas, Tripaldi y Dután, 2011), (Rojas et al., 2012), (Tinoco, Rojas, Tripaldi et al., 2011).
5. Métodos quimioinformáticos: relaciones cuantitativas estructura-actividad (QSAR) y relaciones cuantitativas estructura-propiedad (QSPR) (Duchowicz y Castro, 2008), (Kar, Roy y Leszczynski, 2017), (Rojas, Duchowicz, Pis Diez et al., 2015).

En términos generales, la optimización de un producto alimenticio implica el ajuste de diversos parámetros operativos del proceso para elaborarlo; así como de los parámetros de las diversas materias primas, embalajes y otros (Marini, 2013), (Moros, 2002), (Saltos, 2001), (Saltos, 2010). Inevitablemente, se tiene un sistema multivariado, sea por los factores considerados en la fabricación del producto (azúcar, sal, agua, ácido, etc.), como de las respuestas que se esperan optimizar (aceptación sensorial, rendimiento, estabilidad, costos y más) (Gacula Jr, 2008), (Saltos, 2001), (Stone y Bleibaum, 2017).

Muchas de estas técnicas de análisis multivariado se han aplicado satisfactoriamente en diversos estudios dentro del área de los alimentos, facilitando su diseño, procesamiento y conservación, así como el control de calidad y autenticidad (Lees, 2003), (Saltos, 2001), (Saltos, 2010).

1.3 Ramas de la tecnología de alimentos

Aunque se suele hablar de la Tecnología de Alimentos como una sola rama, realmente comprende varios tipos de industrias, clasificadas inicialmente, de forma general, y luego, de acuerdo a sus características más específicas. Una posible clasificación de las industrias de alimentos es la siguiente (Alba y Cuéllar, 2008), (Ostrovski, 1980), (Vergara Medero y Acosta González, 1986):

1. Conservas vegetales
2. Lácteos
3. Cárnicos
4. Cereales
5. Peces y mariscos
6. Aceites y derivados
7. Bebidas
8. Repostería y chocolatería

Los productos vegetales se dividen en (Charley, 2012), (Ostrovski, 1980):

- esterilizados: por procesos térmicos, por sustancias químicas; por radiaciones ionizantes.
- pasteurizados: jugos y néctares.
- enfriados y congelados: frutas y hortalizas.
- concentrados: evaporados como los jugos concentrados; azucarados como dulces, jaleas y mermeladas; salados como las salsas.
- deshidratados: vegetales deshidratados y fritos, frutas deshidratadas y/o confitadas.
- acidificados: tipo encurtidos como la col ácida, pepinillos, o tipo escabeche como los pickles.

Los productos cárnicos engloban a (Charley, 2012), (Ostrovski, 1980), (Agenjo, 1980):

- esterilizados: *corned beef*.
- congelados: carne de res, cerdo, de ave.
- fermentados: del tipo secado y curado como el jamón serrano o salame; o del tipo secado ahumado como los embutidos.

La subdivisión de las industrias de lácteos es:

- leche procesada: pasteurizada, esterilizada, concentrada, deshidratada, deslactosada.
- leches ácidas: *yogurt, kumis, kéfir*.
- cremas: naturales, dulces, acidificadas.
- mantequilla.
- quesos: con crema, descremados, ahumados, frescos, madurados, entre los más conocidos.

En cuanto a la industria de farináceos (harinas), se subdivide en (Callejo González, 2002), (Noriega-Editores, 2000):

- molienda de granos: obtención de harinas, tamizado y refinado.
- panificación.
- pastas alimenticias: fideos y masas preparadas (pizza).
- extractivas: almidones o concentrados proteicos.

Las industrias de aceites y derivados comprenden (Giannetto, 1979):

- extractivas: obtención de aceites y grasas.
- de hidrogenación: mantecas.
- de formulación: margarinas.

En lo referente a las industrias de bebidas, se tienen las no alcohólicas y las espirituosas (tienen un 40 % de etanol). También existen las fermentadas con bajo contenido alcohólico que, si bien no constituyen propiamente un alimento, son en todo caso un aperitivo de mesa. En el campo de bebidas tenemos:

- no fermentadas: jugos de frutas, tanto naturales como sintéticos, los jarabes y los de formulación como las gaseosas.
- fermentadas: vinos, sidra, cervezas, de cebada y otros granos (incluye germinación, malteado, fermentación); preparados: licores espirituosos, vinos generosos, cócteles.

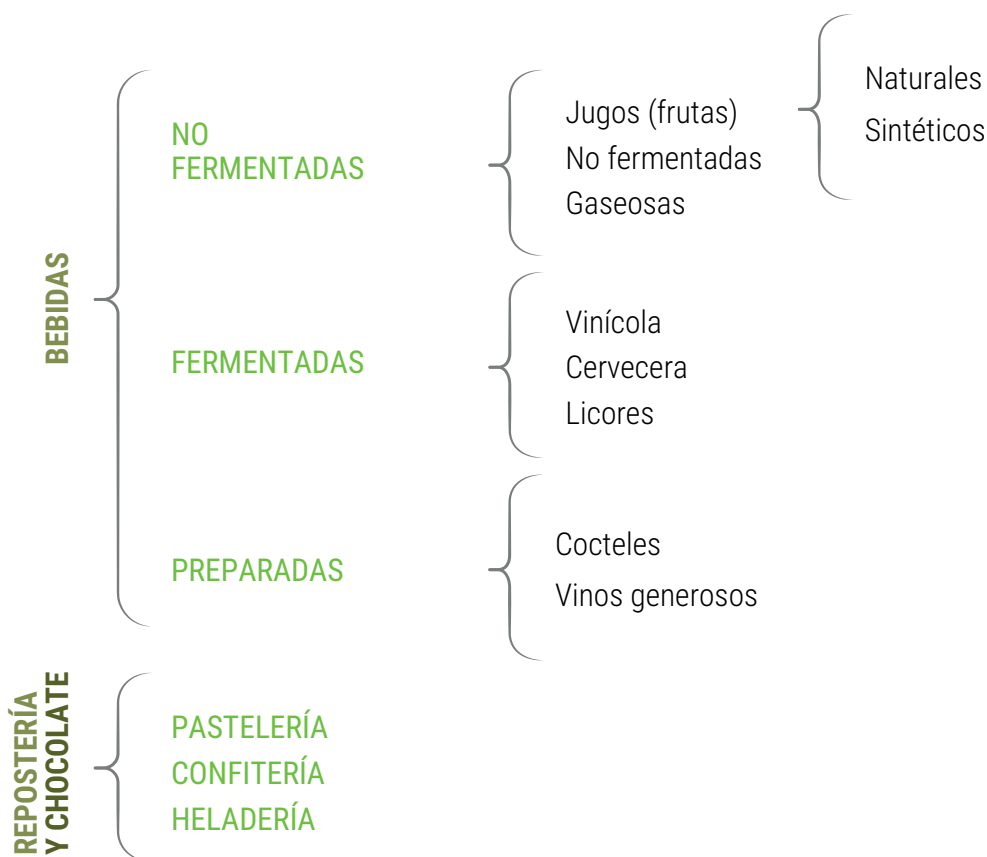
Para terminar, en las industrias de repostería y chocolatería mencionaremos:

- pastelería: cakes, tartas, galletas, hojaldres, entre otras.
- confitería: bombones, caramelos.
- heladería.

Los helados a veces se incluyen dentro de la industria de lácteos, debido a que la materia prima principal para su elaboración es la leche (excepto para tipos de helados exentos de leche).







1.4 Ideas generales sobre los constituyentes químicos de los alimentos

Las técnicas de procesamiento de alimentos exigen el conocimiento previo de ciertos campos afines con ellas y que constituyen sus bases. Tales campos son la química de los alimentos (Badui, 2013), (Baltes, 2007), (Belitz et al., 2012), la biología de los alimentos (que engloba tanto la Botánica como la Zoología) y la microbiología de los alimentos (Bourgeois, Mescle y Zucca, 1994), (Bourgeois y Larpent, 1995). La biología y la microbiología son abordadas, por lo general, separadamente; no así la química, que la trataremos a continuación. Hacemos hincapié en que no consistirá en un

estudio *in extenso* de los constituyentes químicos, por lo que haremos referencia a los tópicos más importantes de la química de los alimentos (Yúfera, 1979).

1.5 Composición química del alimento

Los alimentos son matrices que están constituidos por diversos compuestos los cuales se denominan nutrientes. El organismo humano aprovecha estas sustancias para desempeñar diferentes funciones dependiendo de su naturaleza (Yúfera, 1979). Una rama importante de la ciencia de los alimentos es la química de los alimentos, la cual estudia la composición y propiedades de los mismos, así como los

cambios que ocurren en el alimento durante su manipulación, procesamiento y almacenamiento (Damodaran et al., 2010). A continuación, se revisarán los principales constituyentes de los alimentos, los que vienen normalmente tabulados en las denominadas Tablas de Composición de Alimentos (Moreiras, Carbajal, Cabrera et al., 2018).

1.5.1 Agua

El agua (Damodaran et al., 2010) determina el valor calórico de un alimento y su estabilidad durante el almacenamiento (la humedad elevada contribuye al deterioro microbiano y aumenta la actividad de las enzimas). Existe un gran número de métodos para determinar el contenido de agua en los productos, el más seguro es sin lugar a dudas el de deshidratación hasta un peso constante (a una temperatura de 105 [°C]), por desgracia muy prolongado.

Entre los no menos de cien métodos que existen para determinar el contenido de agua en los alimentos, otro relativamente seguro es aquel que usa el xileno mediante una destilación por arrastre con vapor. A nivel de laboratorio hoy en día se utilizan termobalanzas que permiten obtener valores confiables de humedad en tiempos considerablemente más cortos. Otra tecnología que se encuentra en pleno uso es la utilización de sistemas de espectroscopia en el infrarrojo cercano (NIR), que, a más de la humedad, es capaz de proporcionar en pocos segundos valores de proteínas, cenizas y otros constituyentes (Sun, 2009).

El contenido de humedad de los alimentos oscila entre amplios límites (Tabla 1.1) y depende de la naturaleza del alimento. Por ejemplo, para el azúcar molido no es superior al 0,15 %, en cambio en algunas vegetales alcanza hasta el 95 % (pepinos).

PRODUCTO	%
Harina	12-15
Pan cocido (con corteza)	38-48
Almidón	18-20
Miel de abeja	18-20
Azúcar molido	<0,15
Melaza	18-20
Frutas	75-90
Hortalizas	65-95
Leche	87-88
Mantequilla	14-15
Margarina	<15
Manteca de vaca cocida	1-2

Aceite vegetal	1,00
Huevos	74
Carne de vaca	59-76
Pescado fresco	54-83

Tabla 1.1 Contenido de humedad en diferentes alimentos
Adaptado de: Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

1.5.2 Minerales

Se llama así a todos los minerales que poseen los alimentos y que quedan como producto de la calcinación al rojo sombra (máximo 600 [°C] o se volatilizarían los cloruros) de los materiales orgánicos (Yúfera, 1979). Está claro que los minerales no se encuentran en la ceniza como originalmente estaban en el alimento, pues son el resultado de la combustión, mediante la cual se han transformado en óxidos y sales minerales. Los elementos constituyentes de la ceniza pue-

den dividirse en macro y microelementos, según su concentración; así tenemos que el cloro, el sodio, el fósforo, el calcio, que se consideran generalmente como elementos mayores, en tanto que el azufre, hierro, zinc, arsénico, manganeso, flúor, entre los principales, serían los elementos menores. Los límites entre estos grupos no serían absolutos. En la Tabla 1.2 se muestra el contenido de minerales y en la Tabla 1.3 el contenido de ceniza para algunos alimentos.

PRODUCTO	Ca	P	Fe	Mg	Na	Cl	S
Pan de centeno	129	185	3,0	39	701	1025	104
Pan de trigo	50	175	1,6	30	394	621	54
Carne de res	12	216	3,0	24	84	76	235
Carne de cerdo	6	108	1,5	12	142	38	115
Leche entera	120	93	0,2	12	51	106	34

Tabla 1.2 Contenido de minerales en algunos alimentos [mg/100 g]
Adaptado de: Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

Muchos elementos minerales juegan un papel importante en el metabolismo orgánico, y no solo los que se encuentran en altas proporciones, sino también aquellos cuyas cantidades son mínimas, como el cobre, el cobalto y el mag-

nesio. La determinación del contenido de ceniza en los alimentos pertenece al grupo de análisis importantes, puesto que permite en algunos casos establecer el grado de pureza del producto y su calidad (por ejemplo, en la harina).

PRODUCTO	%
Trigo duro	1,7
Trigo blando	1,6
Centeno	1,8
Cebada	2,5
Harina	
Morena	0,7
Trigo inferior	1,5
Trigo de segunda	1,2
Trigo de primera	0,5
Pan	
De centeno	2,3
De trigo inferior	2,1
De trigo de primera	1,3
Melaza	0,3
Miel de abeja	0,3
Hortalizas	2,0
Mantequilla (salada)	1,0
Margarina de mesa	0,2

Tabla 1.3 Contenido de ceniza total en diversos alimentos
Adaptado de: Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

El peso total de cenizas es obtenido por simple calcinación del material y pesando el residuo, en tanto que un análisis pormenorizado implica el tratamiento de tales residuos con ácidos como el clorhídrico para obtenerlos en solución y así determinar los contenidos de cada elemento por absorción atómica (preferencialmente con horno de grafito) o voltamperometría (Adrian, Potus, Poiffait et al., 2000).

1.5.3 Carbohidratos

Los carbohidratos (Coulter, 1984), (Matissek, Schnepel y Steiner, 1998) se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno. Un grupo importante constituyen los azúcares, como la sacarosa (remolacha azucarera y caña de azúcar), glucosa, fructosa (frutas) o lactosa (leche). Otro grupo no menos importante es el de los

almidones, de trigo (por supuesto en el pan y pastas), patatas, arroz y otros. Los productos de origen animal no contienen muchos hidratos de carbono, excepto el hígado (cerca del 5 % de la materia seca).

La composición de carbohidratos en los alimentos puede determinarse de varias formas: si se trata de sacarosa utilizando un polarímetro, un refractómetro o brixómetros, si se trata de glucosa o lactosa titulando con licor de Fehling, o en el caso de otros azúcares (incluida la sacarosa) por hidrólisis ácida en caliente (2 [h] a ebullición con reflujo, con pH entre 2 y 3), luego neutralización y titulación con licor de Fehling (Kirk, Sawyer y Egan, 2003). La Tabla 1.4 presenta el contenido aproximado de carbohidratos en algunas frutas y vegetales.

PRODUCTO	%	PRODUCTO	%
Achira	31,3	Mandarina	10,0
Ají	8-15	Mango	18,0
Ajo	29,0	Manzana	15,2
Batata	28,6	Membrillo	16,3
Cebolla	9,7	Naranja	13-16
Espinaca	7,3	Pera	14,8
Guisantes	21,0	Toronja	9,6
Habas	13,0	Uva	16,7
Patata (seca)	79,4	Ajonjolí	21,1
Judías	29,7	Calabaza	14,4
Lenteja (seca)	60,7	(semilla)	13,2

Yuca	37,4	Nuez de nogal	14,8
Zanahoria	8,9	Cereza	13,6
Albaricoque	11,0	Ciruela	14,0
Piña	13,0	Durazno	17,0
Banana	25,2	Guayaba	

Tabla 1.4 Contenido de carbohidratos en diversos alimentos
Adaptado de: Kirk, R. S.; Sawyer, R.; Egan, H. (2003). *Composición y Análisis de Alimentos de Pearson*. España: Editorial Acribia, S.A.

1.5.4 Lípidos

Los lípidos o grasas (Belitz et al., 2012), (Coul-tate, 1984), (Damodaran et al., 2010) son com-puestos ricos en carbono cuya combustión en el organismo proporciona una importante can-tidad de energía. Sin embargo, son más lentos de asimilar que los glúcidos y su exceso es per-judicial, debido a que no se digieren e impiden incluso la asimilación de proteínas y glúcidos. Comprenden los aceites y las grasas sólidas, que se diferencian entre sí por su distinta tem-peratura de fusión: a temperatura ambiente los aceites son fluidos y las grasas sólidas. En can-tidades normales son portadores de vitaminas liposolubles (A, D, E, K) o lipoides que son sus-tancias superficialmente activas que sirven de reguladores de la permeabilidad de las paredes celulares.

Las grasas y aceites son ésteres de glicerina y ácidos grasos superiores, cuya fórmula general es $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$. En las grasas (general-mente de origen animal) se encuentran en ma-yor proporción los ácidos palmítico, esteárico (saturados) y oleico (insaturado); en tanto que

en los aceites (por lo común de origen vegetal) se encuentran los ácidos oleico, linolénico y linoleico (insaturados). También existen otros ácidos grasos disponibles en productos como el aceite de ricino: ácido ricinólico (cerca de un 80 % del total de ácidos), o en la grasa animal (vaca): ácido butírico (aproximadamente 5,5 %) y el mirístico (26 %) (Alba y Cuéllar, 2008). En general, las mantecas son más blandas a medida que aumenta el contenido de ácido oleico. Las mezclas de triglicéridos provocan una disminución de la temperatura de fusión con respecto a las de los componentes sepa-rados. Esta circunstancia tiene un importante significado fisiológico, pues la asimilación de las grasas está en dependencia inversa de su temperatura de fusión. Así, la grasa de car-ne-ro de alta temperatura se asimila en un 88 %, mientras que la de vaca, de menor temperatura, se asimila en un 95 % (Baltes, 2007).

Los lípidos son insolubles en el agua por lo que para su asimilación deben emulsionarse, sien-do necesario un tercer componente, el emulsifi-cante (por ejemplo, la lecitina). Algunos alimen-tos de consumo diario son sistemas binarios

(agua/grasa), por ejemplo, la leche, mantequilla, mayonesa, entre otros (Romo, 1993). Durante el almacenamiento las grasas pueden hidrolizarse u oxidarse (ranciamiento), presentando mal olor y sabor. Esto se debe a la presencia de la enzima fosfolipasa que actúa sobre los fosfolípidos. La ranciedad se produce en mayor grado con tem-

peraturas altas, humedad relativa alta del ambiente, luz diurna o luz ultravioleta, o los envases que contienen catalizadores como el cobre, cobalto o manganeso. Se evita la oxidación mediante el uso de antioxidantes como la vitamina E (de hecho, las grasas mismas la poseen, pero se elimina en los procesos de refinado).

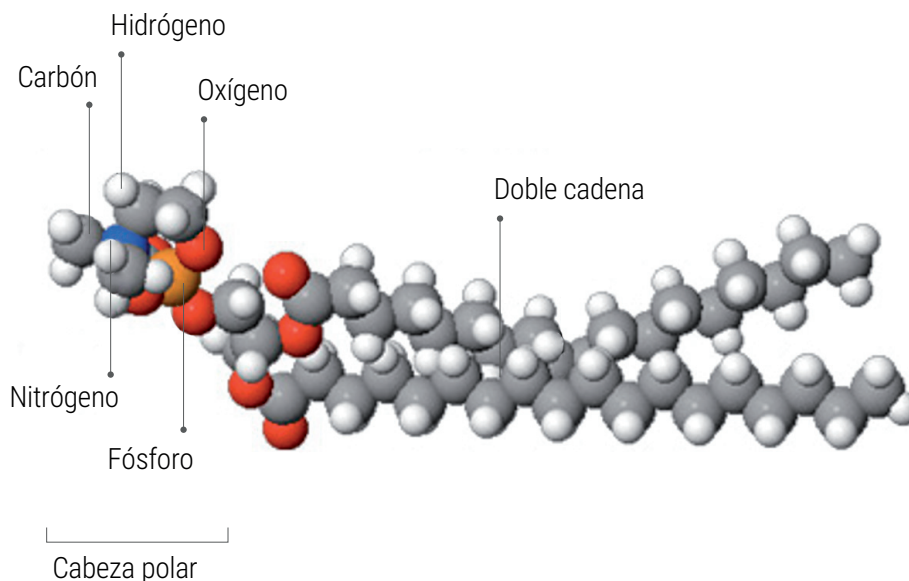


Figura 1.2 Estructura química de los fosfatidos

Adaptado de: Belitz, H.; Grosch, W.; Schieberle, P. (2012). *Química de los Alimentos* (Tercera edición). España: Editorial Acribia, S.A.

Por otra parte, los fosfatidos son ésteres de ácidos grasos y ácido fosfórico, con glicerina y además algunas bases nitrogenadas (Figura 1.2) (Yúfera, 1979). Las lecitinas, cefalinas, y esfingomielinas tienen un importante papel biológico debido a que regulan el metabolismo celular, contribuyen al desarrollo orgánico e influyen en la formación de la sangre: evitan la sedimentación del colesterol y la formación

de cálculos biliares (son emulsionadores de grasas). Los esteroides son ésteres de ácidos grasos con alcoholes superiores; los principales son el colesterol y el ergosterol. Son emulsionantes de grasas, fuente de formación del jugo biliar y de la vitamina D (Yúfera, 1979). En la Tabla 1.5 se encuentra el contenido de grasa de ciertos alimentos.

PRODUCTO	%
Trigo	1,5 - 2,5
Maíz	4,0 - 6,0
Semillas de girasol	26,0 - 40,0
Nueces	42,0 - 67,0
Soya	30,0 - 40,0
Carne de res	4,0 - 25,0
Carne de cerdo	6,5 - 41,5
Pescado	0,6 - 30,0
Leche de vaca	3,0 - 4,5

Tabla 1.5 Contenido de grasa en algunos alimentos
Adaptado de: Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

Para la determinación del contenido de grasa total se usa el sistema de extracción por el éter sulfúrico, en Soxhlet, y posterior evaporación del solvente; los lipoides se pueden separar de ella por su insolubilidad en acetona. También se utiliza la cromatografía de gases para el análisis de grasas (Adrian et al., 2000), (Kirk et al., 2003).

1.5.5 Proteínas

Las proteínas (Añón y Pilosof, 2002), (Cheftel, Cuq y Lorient, 1989), (Matissek et al., 1998) son constituyentes de los alimentos que están formados por carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y a veces azufre. Constituyen el 60 % de la materia seca en los animales y no más del 40 % de la materia seca de los vegetales. Son, a diferencia de los dos grupos anteriores, la materia plástica que forma parte de los tejidos del

cuerpo humano. Son polímeros de α -aminoácidos, como la glicina, alanina, triptófano, arginina, entre otros. Se encuentran ampliamente difundidos en el reino animal, aunque algunos vegetales también poseen cantidades considerables de proteínas. El músculo se encuentra constituido por epimisio, perimisio, endomisio, fibras musculares y miofibrillas (Agenjo, 1980), (Badui, 2013).

La determinación de proteínas se realiza a través del contenido de nitrógeno total, por medio de mineralización y transformación en amonio iónico; el método se llama Kjeldalización (es un método proximal). El valor del porcentaje de nitrógeno multiplicado por 6,25 nos da el porcentaje de proteínas (Kirk et al., 2003). En la Tabla 1.6 se presentan los contenidos de proteína para algunos alimentos.

PRODUCTO	%
Carne de res	20,0
Pescado fresco	18,0
Aves	16,0 - 20,0
Leche de vaca	3,0
Leche (base seca)	28,5
Queso	22,5
Huevos (con cáscara)	12,5
Huevos secos	52,0
Pan	12,0
Mijo	12,0
Arroz	7,6
Pastas alimenticias	11,0
Guisantes	22,4
Soya	40,0

Tabla 1.6 Contenido de proteínas de diversos alimentos

Adaptado de: Baltes, W. (2007). *Química de los Alimentos*. España: Editorial Acibia, S.A.
Kirk, R. S. Sawyer, R.; Egan, H. (2003). *Composición y Análisis de Alimentos de Pearson*.
España: Editorial Acibia, S.A.

1.5.6 Ácidos orgánicos

Los ácidos presentes en los alimentos (Coulta-
te, 1984) son sustancias orgánicas que, libres
o en forma de sales ácidas o neutras, contribu-
yen a dar un sabor característico al producto;
asimismo, elevan su valor nutritivo y ayudan a
la conservación. Entre ellos tenemos: 1) ácido
fosfórico (no orgánico) que integra los fosfá-
tidos, cereales o leche; 2) ácido málico que se
encuentra en casi todos los frutos (la forma le-

vógira), de manera especial en las frutas pomá-
ceas como la pera y la manzana, y se emplea en
repostería; 3) ácido tartárico que en su forma
dextro se encuentra en muchas plantas, sobre
todo en la uva (1,5 %); 4) ácido cítrico presente
en limones (7 % o más), naranjas y otras frutas
cítricas; 5) ácido oxálico presente en la acedera
y en el tomate de árbol; 6) ácido acético que se
obtiene como subproducto de la fermentación
alcohólica (en vinos frutales) y se usa como me-

dio de conservación hasta en un 1,8 %; 7) ácido láctico (D-láctico) que se obtiene de la fermentación láctica de la leche, azúcar, col fermentada (2 %), pan de centeno (1 % o más) y en la carne luego del faenamiento (0,7 %). Varios de estos ácidos pueden considerarse como aditivos secuestradores de metales, según lo veremos más adelante en este mismo Capítulo.

1.5.7 Vitaminas

Las vitaminas (Belitz et al., 2012), (Damodaran et al., 2010) son constituyentes menores pero esenciales de los alimentos. Las vitaminas son fundamentales para el normal crecimiento, mantenimiento y funcionalidad del cuerpo humano. El requerimiento de vitaminas se cumple mediante una dieta equilibrada. Por tal motivo, es importante su preservación durante el almacenamiento y procesamiento de los alimentos.

En efecto, existe pérdida de vitaminas con algunos métodos de conservación de frutas y hortalizas, por ejemplo, durante el escaldado y cocción (en el caso de vitaminas hidrosolubles). También se ha observado pérdida de vitaminas durante el almacenamiento de frutas y hortalizas (Belitz et al., 2012). Existen dos tipos de vitaminas, las liposolubles (solubles en grasas) y las hidrosolubles (solubles en agua). Entre las vitaminas liposolubles se tienen (Tabla 1.7): vitamina A (retinol), vitamina D (calciferol), vitamina E (α -tocoferol), vitamina K₁. En el grupo de vitaminas hidrosolubles encontramos a la vitamina B₁ (tiamina), vitamina B₂ (riboflavina), Vitamina B₆ (piridoxina), niacina, vitamina B₅ (ácido pantoténico), biotina, ácido fólico, vitamina B₁₂, vitamina C (ácido ascórbico).

VITAMINA	FUENTE	CONSECUENCIA DE CARENCIAS
B ₁ (tiamina)	Cereales, vegetales, levaduras	Beri-beri, edemas, parálisis
B ₂ (riboflavina)	Leche, huevos, hígado, levaduras	Malestar gastrointestinal, lesiones oculares
B ₃ (PP o niacina)	Germen de trigo, hortalizas, frutas, levaduras	Pelagra, aftas, diarreas, grietas
B ₅ (ácido pantoténico)	Levaduras, huevos, jalea real	Lesiones degenerativas en el hígado
B ₆ (piridoxina)	Vegetales verdes, cereales, soya, patata, levadura	Trastornos cutáneos y nerviosos
B ₈ (H o biotina)	Levaduras, guisantes, zanahorias, espinacas	Cansancio, depresión, náuseas

B ₉ (ácido fólico)	Espinacas, guisantes, hígado, zanahoria, patatas	Anemia, diarreas, malformación ocular y del paladar
B ₁₂ (cianocobalamina)	Levaduras, vegetales, arroz integral, huevos, pescado, leche	Anemias perniciosas y hemorrágicas y neuralgias
C ₁ (ácido ascórbico)	Tomate, col y cebolla	Escorbuto: postración y hemorragias
C ₂ (P)	Pimiento, cítricos, ají	Escorbuto hemorrágico
A (retinol)	Zanahoria, ajo, cebolla, natas	Xeroftalmia, ceguera crepuscular
D (calciferol)	Aceites, vegetales frescos y leche	Raquitismo infantil, osteomalacia, anemia
E (tocoferol)	Germen de cereales, ensalada, guisantes	Trastornos genitales
K (fitomenadiona)	Espinacas, hígado, tomates, coles	Hemorragias espontáneas

Tabla 1.7 Principales vitaminas presentes en los alimentos

Adaptado de: Belitz, H.; Grosch, W.; Schieberle, P. (2012). *Química de los Alimentos* (Tercera edición). España: Editorial Acribia, S.A.

Damodaran, S.; Parkin, K.; Fennema, O. (2010).

Fennema Química de los alimentos. España: Editorial Acribia, S.A. Badui, S. (2013). *Química de los Alimentos* (Quinta edición). México: Pearson Educación de México, S.A de CV.

1.5.8 Enzimas

Las enzimas (Badui, 2013), (Mendoza y Calvo, 2010) son compuestos proteicos con actividad catalítica, por ejemplo, las amilasas que tienen la función de catalizar la reacción de hidrólisis de los enlaces 1 - 4 entre las unidades de glucosa al digerir el glucógeno y el almidón para formar fragmentos (dextrinas o maltosa) y glucosa libre. Las enzimas se extraen a partir de organismos animales, organismos vegetales

y microorganismos siguiendo un proceso de fermentación. Estos compuestos son ampliamente utilizados en la elaboración de vino, cerveza, queso, pan o productos cárnicos madurados (salame, jamón y otros). Los productos naturales tienen enzimas que provocan ciertas transformaciones durante el almacenamiento, tales como cambios de color en las semillas o cambios en la matriz cárnica cuando se produce la proteólisis, dando lugar a la formación de aminoácidos libres.

Algunas enzimas actúan desdoblando las macromoléculas, mientras que otras producen un sinnúmero de reacciones metabólicas, por lo que el proceso de acción de las mismas en muchos casos se llama fermentación. La actividad de las enzimas es comparable a la de los catalizadores inorgánicos debido a que poseen especificidad de reacción: el cambio de un grupo prostético por otro puede inactivarla o reforzarla. También el calentamiento o desnaturalización hace que se pierda o se reduzca la actividad enzimática, así como a los cambios de pH y condiciones específicas del medio (Mendoza y Calvo, 2010). Las α y β amilasas actúan desdoblando el almidón, en tanto que sobre la celulosa solo actúan las segundas. Por este motivo, los rumiantes pueden digerir alimentos con alto contenido de celulosa. La maltasa descompone la maltosa en glucosa; la sacarasa actúa sobre la sacarosa; la lactasa sobre la lactosa; las lipasas sobre las grasas, hidrolizándolas y oxidándolas; mientras que las proteasas, tales como las endo y las exo proteasas, desdoblan las proteínas (Mendoza y Calvo, 2010). Algunas enzimas que deben ser inactivadas durante el proceso de conservación de vegetales son: oxidasas, catalasas y peroxidasas (responsables del pardeamiento de vegetales); polifenoloxidasas en los jugos (modifican el color y sabor); pectinasas presentes en las cáscaras de algunas frutas (actúan alterando las pectinas y deteriorando la textura); clorofilasas (hidrolizan la clorofila y modifican el color verde de los productos).

1.6 Aditivos en los alimentos

Los aditivos químicos son productos que guardan estrecha relación con los alimentos y que deben ser estudiados como parte de la química

de los alimentos. Se definen los aditivos como sustancias sin valor nutritivo que se añaden intencionalmente a los alimentos para modificar sus propiedades o su conservación y facilitar los procesos de elaboración (Vicente, 2014). No obstante, esta no es una definición muy justa, pues hay sustancias como ciertos ácidos orgánicos o las pectinas que no pueden ser considerados como aditivos. Por esta razón, se define a un aditivo como *un producto natural o sintético, que sin ser componente normal de los alimentos es añadido a ellos para modificar sus propiedades o su conservación y facilitar los procesos de elaboración* (Hanssen y Marsden, 1986), (Multon, 1999), (Vicente, 2014). Un ejemplo de un componente natural utilizado en productos donde normalmente no está presente es la gelatina (proteína animal) que se agrega a las mermeladas para su gelificación. El empleo indiscriminado de aditivos en alimentos supone riesgos que han obligado a una estricta reglamentación legal de su uso. En general, siempre que se pueda, es preferible no usarlos (Serrano, López y Carmen, 2012).

1.6.1 Funciones

Al ser una sustancia añadida intencionalmente al alimento, busca cumplir las siguientes funciones (Belitz et al., 2012), (Hanssen y Marsden, 1986), (Lück y Jager, 2000), (Vicente, 2014):

1. *Conservar las características del alimento*: al procesar un alimento se modifican sus características intrínsecas, tales como, color, sabor, aroma y consistencia. Los compuestos emulsionantes brindan una textura consistente, evitando la separación entre las fases líquida y grasa del producto; mientras que los espesantes y estabilizantes brindan una textura uniforme.

2. *Conservar y/o mejorar el valor nutricional:* cuando un alimento se somete a procesos mecánicos o térmicos pierde algunos de sus componentes nutricionales, entre ellos las vitaminas (termolábiles). Para compensar esa pérdida se adicionan estos componentes como aditivos para conservar el valor nutritivo. En otros casos, se adicionan con la intención de brindar un valor nutritivo que no tiene el alimento. Por ejemplo, minerales, aminoácidos y vitaminas que se adicionan a cereales, harinas, leche, margarinas y otros varios productos.

3. *Conservar el valor organoléptico:* durante el procesamiento de alimentos se observa una disminución de las características sensoriales del producto: sabor, color, olor y textura; lo cual se compensa con la adición de saborizantes o potenciadores de sabor, colorantes, aromatizantes y mejoradores de textura, respectivamente. Por otra parte, los antioxidantes ayudan a evitar que las frutas (principalmente manzanas y bananas) se oscurezcan luego de su pelado y exposición al aire. También se usan para conservar el sabor de los aceites y grasas (evitan el enranciamiento).

4. *Prolongar la vida útil:* la contaminación bacteriana es un tópico delicado y que puede suceder durante toda la cadena productiva del alimento. Es importante evitarla debido a que desencadena intoxicaciones o enfermedades en los consumidores. Actualmente, la situación alimentaria mundial busca maximizar la vida de anaquel del producto, por lo que se requieren utilizar buenos métodos de conservación. Los conservantes o preservantes minimizan la probabilidad de contaminación y alteración del producto por bacterias, hongos y levaduras. Estos aditivos inhiben el crecimiento de dichos microorganismos y evitan los cambios fisicoquímicos indeseables.

5. *Regular la alcalinidad y acidez:* en la fabricación de pickles se adiciona ácido acético para obtener características deseadas y reducir el pH. Asimismo, durante la elaboración del pan, los productos derivados de la acción de levaduras sobre los azúcares reaccionan con la levadura química (polvo de hornear), permitiendo crecer a las masas.

1.6.2 Clasificación

Una primera forma de clasificarlos consiste en la manera en la que llegan a formar parte del producto alimenticio; así, pueden ser aditivos directos o indirectos (Lück y Jager, 2000), (Vicente, 2014), (Yúfera, 1979):

Aditivos directos: se consideran a las sustancias químicas que se añaden intencionalmente a un alimento para cumplir un propósito puntual. Este tipo de aditivos vienen identificados claramente en la etiqueta del producto como 'ingredientes'. Por ejemplo, en alimentos bajos en calorías se adicionan edulcorantes tales como aspartame, sucralosa o estevia. Estos compuestos tienen la función de endulzar el alimento pero no aportan calorías con respecto a usar sacarosa.

Aditivos indirectos: constituyen aquellos compuestos que se incorporan al alimento en cantidades mínimas y de forma indirecta durante el procesamiento, empaque o almacenamiento. Por ejemplo, trazas de compuestos que migran del envase al alimento. Las industrias tienen que demostrar a la administración de su país o del país al que se exporta el producto, que los materiales que están en contacto directo con los alimentos han sido probados como seguros e inocuos. En el Capítulo 3 se discutirán las características básicas que deben cumplir los empaques de uso en alimentos.

La clasificación de los aditivos desde el punto de vista químico no sería de mucha utilidad. En todo caso, es preferible hacerlo en función de las aplicaciones en los alimentos. A grandes rasgos clasifican en (Badui, 2013), (Baltes, 2007), (Belitz et al., 2012), (Coulter, 1984), (Damodaran et al., 2010), (Multon, 1999):

1. conservantes
2. colorantes
3. edulcorantes
4. aromatizantes
5. potenciadores de sabor
6. espesantes y gelificantes
7. acondicionadores y secuestradores
8. levaduras químicas

y algunos más, con variados usos. Es importante indicar que dicha clasificación no es estricta y puede cambiar de un libro a otro. Existen aditivos que se usan en algunos países con ciertas restricciones mientras que en otros están prohibidos por los organismos de control.

El uso armonizado de los aditivos se encuentra regulado por el ministerio o departamento de salud en cada país (FDA en el caso de USA), de tal forma que sean utilizados aditivos seguros e inocuos para el consumidor. Esto es válido tanto por la toxicidad aguda como crónica, especialmente por los de efectos mutagénicos, cancerígenos y teratógenos (malformaciones en el feto). Las regulaciones varían de un país a otro, es así que en ciertos países se continúan usando aditivos que son completamente prohibidos en otros. No obstante, en la actualidad se está desarrollando una legislación muy restrictiva que regula su empleo.

Es importante indicar que existen aditivos que son nocivos y peligrosos para la salud. Sin embargo, existen personas poco escrupulosas

que, con plena conciencia del mal que pueden ocasionar, echan mano de toda clase de compuestos y no vacilan en adulterar los productos con tal de acrecentar sus ganancias. Ellos encontrarán 'asesores' de su misma estructura moral que les indicarán o facilitarán el empleo de tales medios ilícitos. También existen otras personas que, desconociendo las graves consecuencias del uso de sustancias prohibidas, las utilizan de buena fe con la convicción de poder preparar un buen producto que, pretendidamente, no ocasionaría perjuicio alguno para la salud del consumidor.

1.6.2.1 Conservantes

Con este nombre se conocen a aquellas sustancias químicas que actúan sobre los microorganismos presentes en los alimentos, sea con acción microbicida o microbiostática (Baltes, 2007), (Matissek et al., 1998). Consideramos un deber señalar, aunque brevemente, los trastornos que originan en el organismo algunas sustancias de empleo relativamente frecuente entre los fabricantes de alimentos (en especial de embutidos) y que por esta razón su uso no está permitido por las reglamentaciones de algunos países.

Entre los principales agentes conservantes se hallan el ácido benzoico (E 210) y los ésteres del ácido p-hidroxibenzoico (PHB) (E 215, E 217, E 219). El primero se utiliza como sal sódica, muy soluble en agua, pero la forma activa es el ácido libre que actúa a pH bajo (en USA está prohibido su uso). Esta sustancia se elimina en su mayor parte por el riñón y su ingesta periódica causa serios trastornos en este órgano. Los ésteres alquílicos del ácido p-hidroxibenzoico tienen cierta analogía con el anterior, pero al ser ácidos más débiles permanecen sin disociarse a pH cercano a 7, por lo que son efectivos en

medios en los que el ácido benzoico no lo es. Se los considera menos tóxicos que este último, aunque también afectan al riñón.

Entre otros ácidos débiles y sus sales que tienen acción conservante hemos de señalar: sórbico (E 200), propiónico (E 280), acético (E 260), sulfuroso, que tienen acción conservante. El ácido sórbico y los sorbatos poseen un amplio espectro frente a hongos y levaduras, no así con las bacterias, actuando mejor en la forma no disociada en pH más o menos neutro; se usan para adicionar a productos lácteos. Los ácidos grasos como el propiónico y sus sales (que liberan el ácido en pH bajo), tienen actividad microbicida notable. Los propionatos, frente a los hongos, son más activos que el benzoato sódico, aunque no con levaduras y bacterias. El ácido propiónico retrasa el enmohecimiento de los quesos y es un componente natural formado a partir de la fermentación láctica. También impide la formación de moho en el pan, pasteles y tartas. Se metaboliza como todos los ácidos grasos, es poco tóxico y relativamente seguro para usarse como conservante. Se produce en cantidades importantes en el rumen de los animales.

El ácido acético es otro compuesto ampliamente usado como conservante, sea en forma de vinagre natural o de formulación (con 4 % o más de ácido, pero en el producto final está entre 0,5 y 1,5 %). Es más eficaz contra levaduras y bacterias que frente a los hongos, para los cuales las sales de dicho compuesto si lo son. Actúa mejor a pH bajo, por lo que se usa en productos muy ácidos como encurtidos y escabeches. Por otra parte, desde épocas remotas se menciona el uso de la sulfitación (SO_2) en la producción del vino. Actualmente la sulfitación se aplica también a otros alimentos, sea como dióxido o como sulfitos, bisulfitos que generan ácido sulfuroso en medios ácidos, siendo tal forma la

de mayor actividad antimicrobiana (sobre todo para hongos y bacterias). Durante la sulfitación existen reacciones con azúcares reductores y otros compuestos carbonílicos, tales como aldehídos, cetonas y quinonas, por lo que actúa como inhibidor del pardeamiento (enzimático y no enzimático) de vegetales. Se usa en manzanas y patatas troceadas y otros vegetales antes de su deshidratación, enlatado, fabricación de puré u otros derivados. La concentración límite es de 200 [mg/kg] (partes por millón [ppm]), entre otras razones por su sabor irritante.

Los nitritos (E 249, E 250) se usan para el curado de las carnes, con el objeto de restituir su color rojo natural mediante la formación del colorante nitrosomioglobina. Su uso es frecuente en la industria de cárnicos, pero son sustancias de alta toxicidad por la posible formación de nitrosaminas (compuestos cancerígenos). El salitre (nitrato de potasio, E 252) tiene en todo caso menor restricción, pues por acción microbiana se reduce a nitrito y las mínimas cantidades generadas son rápidamente captadas por la mioglobina, no así la adición directa del nitrito, que mantendría un exceso peligroso como para formar tanto el colorante como aquellas nitrosaminas. En USA se admiten hasta 0,5 [ppm]. Los nitritos evitan el crecimiento del *C. Botulinum*. También los antibióticos como la clorotetraciclina, la oxitetraciclina y la aureomicina se han usado para proteger la carne, sobre todo de pollo, durante el almacenamiento en frío. Asimismo, la nisina (activa contra bacterias gram-positivas) se ha usado en la conservación de los quesos.

En la conservación de pescado se ha usado el ácido fórmico (E 236), la urotropina y el ácido bórico (E 284), este último se utiliza también en el tratamiento superficial de los jamones durante el curado. Si bien el ácido bórico o el

bórax (E 285) no son muy nocivos, algunos países europeos lo permiten solo en proporciones limitadas y en determinados casos, por lo que su empleo se está abandonando por completo. Durante su eliminación pueden afectar al riñón, sobre todo en personas que tienen cierta afección renal inicial. El uso de altas cantidades puede llegar a producir envenenamiento.

1.6.2.2 Colorantes

Colorante es la designación para referirse a cualquier sustancia química que tiene la característica de impartir color al alimento. Distinguiremos entre colorantes naturales y sintéticos. De hecho, varios colorantes naturales como los carotenoides pueden usarse sin una real restricción. No obstante, hay que tener cuidado con otros colorantes naturales que no siempre son idóneos. En las industrias de alimentos se hacen uso de diversos colorantes con el objeto de restituir la coloración que se pudiera haber perdido por efecto del almacenamiento o de los procesos químicos. De esta manera se busca restituir el color del alimento fresco o para volverlo más atractivo para el consumidor. Por otro lado, se pueden imitar colores alimenticios por mezclas entre colorantes.

Desde el descubrimiento del primer colorante sintético, ha aumentado el uso de estas sustancias en la industria de los alimentos, farmacéutica y de cosméticos. Un problema del uso de los colorantes como aditivos es el enmascarar alimentos de baja calidad, además de ser vehículos de compuestos tóxicos que se usan en la fabricación de los mismos. En Estados Unidos los colorantes admitidos se dividen en dos grupos: 1) los certificados: al que pertenecen todos los de carácter sintético y 2) sin certificar: que corresponden a los naturales y algunos sintéticos cuya estructura corresponde a los que se

encuentran en la naturaleza (idéntico al natural). Entre los colorantes orgánicos naturales tenemos:

1. Derivados del benzopireno

a. *Antocianinas (E 163)*: consideradas como el grupo más relevante de colorantes debido a que se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza y son solubles en agua. Se caracterizan por brindar un color rojo, púrpura o azul en productos como flores, frutas y hortalizas, mientras que otros están presentes en uvas negras que constituyen la fuente comercial de antocianinas como aditivos para alimentos. Son rojos y estables en pH ácido y pasan a azul en medio alcalino. No son recomendados en gelatinas debido a que forman complejos con las proteínas y precipitan, pero funcionan bien para bebidas refrescantes, productos de confitería, alimentos deshidratados, entre los más destacados.

b. *flavonoides*: son pigmentos fenólicos no nitrogenados solubles en agua, etanol y metanol, que aportan un color amarillo en diferentes tonalidades a partir de las 13 subclases que existen, dentro de las cuales se encuentran aproximadamente 5000 compuestos.

2. Derivados de hidratos de carbono

En este grupo se tiene al Caramelo (E 150) que es un producto sólido marrón oscuro o un líquido que se obtiene a partir del calentamiento controlado de los hidratos de carbono, tales como azúcar invertida, lactosa, dextrosa, hidrolizados de almidón, sacarosa y jarabe de malta. Se presentan como polvo y tienen gran solubilidad en agua e insolubles en la mayoría de solventes orgánicos.

3. Derivados isoprenicos

a. *β-caroteno (E 160)*: presenta un color rojo-violáceo metalizado y es el responsable de dar color a alimentos como zanahorias, mantequilla, quesos, granos de cereales, alfalfa y otros. Es el primer colorante obtenido por síntesis a escala industrial. Es insoluble en agua y solventes polares, pero es parcialmente soluble en solventes orgánicos. Se le atribuye cierto valor nutricional dado que es provitamina A.

b. *β-apo-8'-carotenol (E 160e)*: es un aldehído distribuido abundantemente en la naturaleza, por ejemplo, mandarinas, naranjas, espinacas; y posee actividad de provitamina A. En solución presenta un color rojo-naranja.

c. *Annato, Bixina y norbixina (E 160b)*: el carotenoide bixina es el constituyente principal de las semillas de annato. En solución alcalina el colorante mayoritario es la norbixina. Presenta diversas tonalidades de amarillo y es usado en productos como la mantequilla, helados, especies y aceites de freír.

d. *Cantaxantina (E 161g)*: químicamente es el *β-caroteno-4-4'diona* que fue aislado inicialmente del hongo comestible *Cantharellus cinnabarinus*, pero también se encuentran en alimentos tales como salmón, algas y otros. Presenta un color marrón-violáceo y no tiene actividad de provitamina A. Es ampliamente usado en sopas, salsas de tomate y bebidas de frutas.

4. Otras sustancias

a. *Clorofilas, complejos cúpricos de clorofilas y clorofilinas (E 140, E 141)*: en los vegetales las clorofilas son las responsables del color verde. El colorante E 141, que es mucho más estable, se obtiene al reemplazar el magnesio por cobre. Se utilizan ocasionalmente en helados, chicles, bebidas refrescantes, aceites y otros alimentos procesados.

b. *Curcumina (E 100)*: es el colorante de la planta denominada cúrcuma y se usa también como aromatizante. Constituye el componente principal del curry y se usa en productos tales como sopas, mostaza y productos cárnicos. Ha mostrado tener acción teratogénica en experimentos con animales.

c. *Ácido carmínico o cochinilla (E 120)*: tiene como principio activo la carmina y se obtiene por extracción hidroalcohólica de la cochinilla^a. El colorante mayoritario del extracto es el ácido carmínico y su color va desde naranja hasta rojo, el cual depende del pH. Es estable a la presencia de oxígeno y luz UV y se usa ampliamente en la industria de los embutidos para dar color rosa a las emulsiones.

d. *Rivoflavina (E 101)*: presenta gran estabilidad a la temperatura y se obtiene por procedimientos biotecnológicos o síntesis. No es muy usado como aditivo debido a que imparte sabor amargo.

^a Cuerpos desecados del insecto *Coccus cacti*.

e. *Betalainas* (E 162): químicamente son glúcidos que se los extraen de plantas como la remolacha, acelgas, hierba carmín, entre los principales. Son inestables frente al oxígeno y la luz UV. Los más difundidos son el aglicón y la betacianina de la remolacha que se utilizan principalmente en bebidas, salsas y productos de pastelería.

Colorantes Artificiales: la mayor parte de colorantes artificiales son sustancias químicas que se producen industrialmente y no provienen de fuentes naturales. Su uso es un indicativo de que en el alimento no se han utilizado frutas u hortalizas, por lo que constituyen alimentos de bajo valor nutritivo (gaseosas, gelatinas, caramelos, bebidas energizantes, entre otros). En este sentido, es mejor evitar este tipo de alimentos, debido a que pueden producir ciertos efectos (por ejemplo, hiperactividad en personas sensibles). Sustancias colorantes sintéticas o artificiales como la tartracina (E 102), el amaranto (E 123), la eritrosina (E 127), el carmín de índigo (E 132), son permitidos como aditivos

debido a que son similares a los naturales. En el teñido de coberturas de alimentos se permiten colorantes como la fucsina (rojo C-1), la auramina (amarillo C-1), el verde brillante (verde C-2), el violeta de metilo (violeta C-1) o la supranolcianina B (azul C-4).

1.6.2.3. Edulcorantes

Son compuestos naturales o sintéticos sin valor nutricional cuya función es la de brindar dulzor a los alimentos, sustituyendo total o parcialmente el uso de azúcares naturales con elevado aporte calórico (Belitz et al., 2012), (Shallenberger, 1993), (van der Wel, van der Heijden y Peer, 1987). El aumento de la tasa de obesidad ha marcado una tendencia hacia una nutrición baja en calorías; por esta razón, hay interés considerable por el desarrollo de nuevos edulcorantes. Asimismo, resultan ser importantes para personas que padecen diabetes, particularmente la de tipo II.

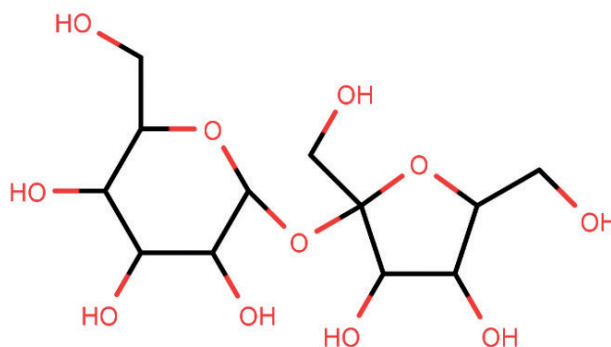


Figura 1.3 Estructura molecular de la sacarosa

Adaptado de: Rojas, C.; Duchowicz, P. R.; Pis Diez, R.; Tripaldi, P. (2015). Applications of Quantitative Structure-Relative Sweetness Relationships in Food Chemistry. En *Chemometrics Applications and Research. QSAR in Medicinal Chemistry*. Mercader, A. G.; Duchowicz, P. R.; Sivakumar, P. M. (Editores). USA: CRC Press, pp. 317-339.

La sacarosa (Figura 1.3) o simplemente azúcar (nombre químico *α -D-glucopiranosil β -D-fructofuranósido*) es el edulcorante más económico y con amplia distribución en la naturaleza, cuya producción es de las más grandes alrededor del mundo (Cooper, 2006). Las fuentes principales para su producción son la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) (Hugot y Jenkins, 1972) y la remolacha azucarera (*Beta vulgaris ssp. vulgaris var. altissima*) (Asadi, 2006). Se distingue de otros edulcorantes por su sabor agradable incluso a concentraciones elevadas y es la sustancia de referencia como edulcorante, cuyo dulzor es 1 (o 100 %, según la escala que se utilice) (Damodaran et al., 2010). Debido a que el sabor dulce es una de las propiedades más importantes de un edulcorante, el dulzor relativo (Relative sweetness, RS) es el punto de referencia para medir la potencia de los edulcorantes. El RS se define como la relación de la concentración de un estándar de sacarosa y la concentración de otro edulcorante. En otras palabras, una solución de sacarosa tiene una percepción de dulzor de 100 y el dulzor de otro edulcorante es comparado en relación a la primera. En consecuencia, corresponde a los gramos de sacarosa que hay que disolver en agua para obtener un líquido con igual dulzor que la dilución de 1 gramo de edulcorante en el mismo volumen.

Los edulcorantes artificiales, según indica el CAE (Código Alimentario Español), son sustancias sápidas sintéticas que sin tener cualidades nutritivas poseen un poder edulcorante superior al de la caña de azúcar, remolacha o cualquier hidrato de carbono al que tratan de sustituir.

La búsqueda de edulcorantes nuevos y más potentes es una tarea complicada. En primera instancia, la relación entre la estructura química y la percepción del dulzor no ha sido completamente elucidada, además, se investigan algunos otros criterios, por ejemplo, solubilidad, estabilidad en un amplio rango de pH y temperatura, efectos de regusto, efecto edulcorante similar al de la sacarosa, bajo costo y su seguridad para la salud humana. Por otro lado, debido al alto costo que involucra la determinación del RS y la importancia de entender la relación entre los edulcorantes y sus estructuras, ha sido necesario la construcción de relaciones cuantitativas estructura-actividad/propiedad (QSAR/QSPR) para modelar el dulzor y así desarrollar y sintetizar nuevos y más potentes edulcorantes (Rojas, Duchowicz, Pis Diez, et al., 2015), (Rojas, Tripaldi y Duchowicz, 2016), (Rojas, Ballabio, Consonni et al., 2016).

COMPUESTO	RS	COMPUESTO	RS
Estaquiosa	0,22	Sorbitol	0,60
Rafinosa	0,25	D-galactosa	0,63
L-ramnosa	0,32	D-xilosa	0,67
D-ramnosa	0,33	D-glucosa	0,69
α -D-galactosa	0,36	L-arabinosa	0,69
α -D-lactosa	0,36	L-fucosa	0,69
β -D-maltosa	0,38	α -D-glucosa	0,69
Lactitol	0,40	D-manitol	0,70
Lactosa	0,40	D-psicose	0,70
Xilobiosa	0,40	D-ribosa	0,70
Isomaltulosa	0,43	Eritritol	0,70
D-trehalosa	0,45	Glicerol	0,80
Lactosacarosa	0,45	Maltitol	0,90
Trehalosa	0,45	D-tagatosa	0,92
Maltosa	0,46	6'-methoxy-2',3'-dihydro-4H-spiro[1,3-benzodithiine-2,1'-indene]-5'-ol	1,00
Isomaltulosa (Palatinosa)	0,48	2-(4-methoxyphenyl)-4H-3,1-benzoxathidine	1,00
β -D-lactosa	0,48	N-[6-(2,4-dihydro-3,1-benzoxathin-2-yl)-2-hydroxy-3-methoxyphenyl]-4-nitrobenzamide 9-methoxy-6a,11a	1,00

Isomaltitol (Isomalt)	0,50	dihydro-6H-[1]benzofu- ro[3,2-c]chromen-8-ol	1,00
Xilosa	0,52	5'-methoxy-2',3'-dihy- dro-4H-spiro[1,3-benzo- dithiine-2,1'-inde- ne]-4'-ol	1,00
α -D-manosa	0,53	L-sorbosa	1,00
Galactitol (Dulcitol)	0,58	Xilitol	1,00
D-manosa	0,59	Sacarosa	1,00
Lactulosa	0,60		

Tabla 1.8 Diversos compuestos con dulzor menor a igual a la sacarosa
Adaptado de: Rojas, C., Tripaldi, P., Duchowicz, P. R. (2016). A New QSPR Study on Relative Sweetness. *International Journal of Quantitative Structure-Property Relationships*, 1, pp. 76-90.

La investigación de la primera relación QSAR/ QSPR fue realizada en el año 1966 por Deutsch y Hansch. Desde entonces, muchas investigaciones han sido aplicadas utilizando la teoría QSAR/ QSPR para entender, modelar y predecir el RS a partir de la estructura química de los edulcorantes (Kar et al., 2017), (Rojas, Duchowicz, Pis Diez, et al., 2015), (Rojas, Tripaldi, et al., 2016), , (Rojas, Todeschini, Ballabio et al., 2017). En la actualidad existen cientos de compuestos naturales y artificiales que tienen poder edulcorante igual o inferior al de la sacarosa (Tabla 1.8) y otros con gran poder edulcorante (Tabla 1.9). A continuación, describiremos los edulcorantes de uso más frecuente:

Sacarina (E 954): es una imida del ácido o-bencen-sulfónico (Figura 1.4) que se usa en forma de sal sódica o cálcica. La intensidad de sabor que se desea obtener depende de la concentración; sin embargo, a elevadas concentraciones tiene un sabor indeseable amargo. Ha sido muy cuestionada e incluso prohibida en algunos países debido a que presumiblemente induce la aparición de

cáncer.

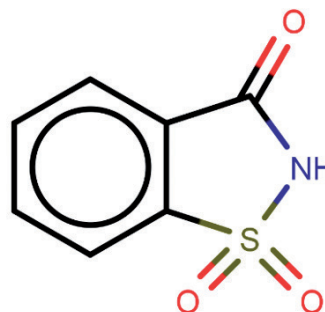


Figura 1.4 Estructura molecular de la sacarina
 Adaptado de: Rojas, C.; Duchowicz, P. R.; Pis Diez, R.; Tripaldi, P. (2015). Applications of Quantitative Structure-Relative Sweetness Relationships in Food Chemistry. En *Chemometrics Applications and Research. QSAR in Medicinal Chemistry*. Mercader, A. G.; Duchowicz, P. R.; Sivakumar, P. M. (Editores). USA: CRC Press, pp. 317-339.

Ciclamato (E 952): es la sal sódica o cálcica del ácido ciclohexilsulfámico. Tiene gusto menos agradable y un poder edulcorante menor que la sacarina, aunque no desarrolla sabor amargo. También ha sido cuestionado su uso por la toxicidad y poder carcinógeno (principalmente en la vejiga). Así, estudios recientes han demostrado que el uso del ciclamato de sodio en ratas preñadas puede causar un retardo en el desarrollo fetal e hipertrofia en el páncreas exocrino de los fetos (Martins, dos Santos, Scannavino et al., 2010).

Monelina: es una proteína dulce que se obtiene de la pulpa del fruto *Dioscoreophyllum cumminsii*. Está constituida por dos cadenas peptídicas que por separado no brindan dulzor.

Taumaninas (E 957): la taumanina I y II se encuentran en los frutos del *Thaumatococcus daniellii* y son dos proteínas que presentan dulzor. Se utilizan en la elaboración de productos lácteos y chicles. Presentan acción sinérgica con el acesulfamo, esteviósido y la sacarina.

Curculina y miraculina: la curculina es una proteína dulce proveniente de los frutos de *Curculigo latifolia*. El sabor dulce de este compuesto desaparece en unos minutos y reaparece al enjuagarse la boca. La miraculina es una glicoproteína de los frutos del *Synsepalum dulcificum* que no tiene sabor por sí sola. Su sabor dulce se refleja en presencia de soluciones ácidas, por lo que se la usa con zumos de frutas ácidas.

Esteviosido: se lo utiliza ampliamente como edulcorante en la mayoría de países debido a su procedencia natural. Se lo extrae de las hojas de *Stevia rebaudiana*.

Dihidrochalconas: algunas son derivadas de las flavonas y poseen un dulzor relativamente puro, cuya sensación aumenta paulatinamente. Se usa en la elaboración de gomas de mascar, caramelos y refrescos. El más usado es la Neohesperidina dihidrochalcona (E 959).

Glicirricina: es un β - β' -glucoronido-glucoronido del ácido clicirrético que se encuentra presente en el regaliz o *Glycyrrhiza glabra*. Se lo emplea en la elaboración de dulces, aunque sus efectos, similares a los de la cortisona, dificultan su uso.

Filodulcina: es un derivado de la 3,4-dihidroisocumarina que tiene características sensoriales similares a la dihidrochalcona y la glicirricina. Su sensación se presenta de forma lenta, al igual que su disminución.

Osladina: es un compuesto muy dulce que se lo obtiene del rizoma del *Polypodium vulgare*. Sin embargo, no es aplicable como edulcorante debido a su toxicidad.

Dulcina: también conocida como 4-etoxifenilurea. Tiene sabor muy parecido a la sacarina, por lo que se usa en mezcla con ésta; sin embargo, no es relevante debido a su alta toxicidad.

Guanidinas: son derivados del ácido guanidinoacético (Figura 1.5) y constituyen de los compuestos más dulces que existen.

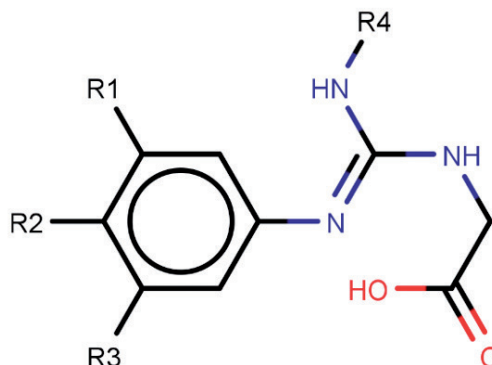


Figura 1.5 Estructura química general de derivados de la guanidina

Adaptado de: Rojas, C.; Duchowicz, P. R.; Pis Diez, R.; Tripaldi, P. (2015). Applications of Quantitative Structure-Relative Sweetness Relationships in Food Chemistry. En *Chemometrics Applications and Research. QSAR in Medicinal Chemistry*. Mercader, A. G.; Duchowicz, P. R.; Sivakumar, P. M. (Editores). USA: CRC Press, pp. 317-339.

Oximas: la trans-oxima del perilla aldehído presenta sabor dulce. No se usa debido a su insolubilidad en agua.

Suosano: es un compuesto más dulce que la sacarina y dulcina. Químicamente es el *N*-(*p*-nitrofenil)carbamoil- β -alanina.

(+)-*Hernaldulgina*: es un sesquiterpeno dulce que se encuentra en la *Lippia dulcis* Trev. *Verbenaceae*. Su nombre químico es 6-(1,5-dimetil-1-hidroxi-hex-4-enil)-3-metil-ciclohex-2-enona (Figura 1.6). Es menos agradable que la sacarosa debido a que tiene sabor ligeramente amargo.

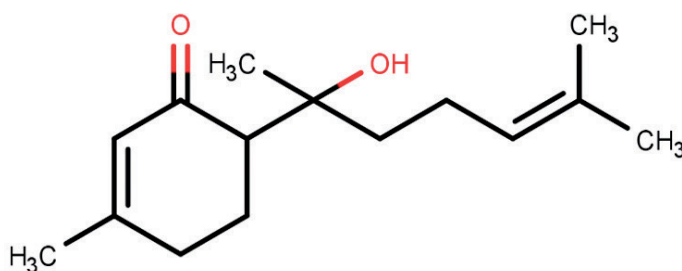


Figura 1.6 Estructura molecular de la (+)-Hernandulgina.

Adaptado de: Rojas, C.; Duchowicz, P. R.; Pis Diez, R.; Tripaldi, P. (2015). Applications of Quantitative Structure-Relative Sweetness Relationships in Food Chemistry. En *Chemometrics Applications and Research. QSAR in Medicinal Chemistry*. Mercader, A. G.; Duchowicz, P. R.; Sivakumar, P. M. (Editores). USA: CRC Press, pp. 317-339.

COMPUESTO	RS	COMPUESTO	RS
β -D-fructosa	1,5	Esteviósido E	225
4-Cl-sacarosa	5,0	Liquiritin	250
1'-Cl-sacarosa	20	Filodulcina 11	250
6'-Cl-sacarosa	20	Isoflavan	300
6,1',6'-3Cl-sacarosa	25	Mogrósido V	300
1',4'-2Cl-sacarosa	30	Filodulcina_7	300
Ciclamato sódico	30	Filodulcina_8	300
4,1',6'-3F-sacarosa	40	Esteviósido B	325
(-)-Hematoxilina	50	Esteviósido D	325
1',6'-2Cl-sacarosa	78	Flavan	350
DHQ-3-SIFA	80	Filodulcina 4	350
Mogrósido II	84	Esteviósido A	350
Periandrin I	85	Sacarina sódica	423
Esteviósido C	85	Sacarina	450
Dulcósido A	88	Ciclamato sódico	450
1',4',6'-3Cl-sacarosa	100	Sacarina cálcica	500
Naringina DHC	100	Glicirrinato potásico	500
Periandrin	100	Sacarina potásica	500
Filodulcina 2 y 6	100	Siamenósido I	560
Esteviósido F	113	(+)-Filodulcina	600
Esteviolbiósido	113	4-F-1',4',6'-3Cl-sacarosa	600
Rubusósido	114	Polipodósido A	600
(+)-Hematoxilina	120	Sucralosa	600
4,1'-2Cl-sacarosa	120	4,1',6'-3Cl-sacarosa	650

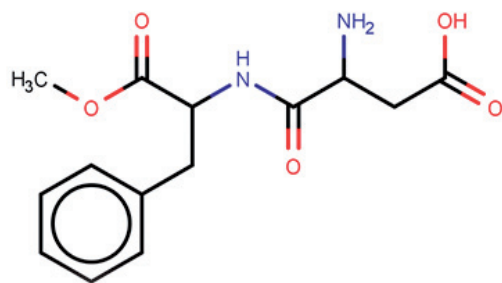
Mogrósido IV	125	Filodulcina 1	700
Filodulcina 5	150	4,1',6'-3Br-sacarosa	800
Glicirrinato tripotásico	150	4'-F-4,1',6'-3Cl-sacarosa	1000
4,4',6'-3Cl-sacarosa	160	Hernandulcina	1000
4,6,1',6'-4Cl-sacarosa	200	Neohesperidina dihidrochalcona	1800
Acesulfame K	200	Alitamo	2000
Glicirrinato amónico	200	Perillartina	2000
Aspartame	200	4,1',4',6'-4Cl-sacarosa	2100
Glicirrinato disódico	200	Osladin	3000
Dulcin	200	2-amino-4-nitro-propoxybenzene	4000
Glicirricina	205	Neotame	8000
4,1',4'-3Cl-sacarosa	220	2-(3-Hydroxy-4-methoxyphenyl)-4H-3,1-benzoxathiine	9000

Tabla 1.9 Diversos compuestos con dulzor superior a la sacarosa

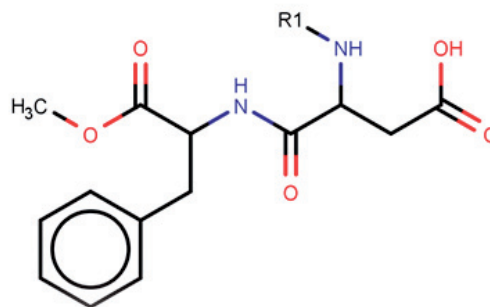
Adaptado de: Rojas, C., Tripaldi, P., Duchowicz, P. R. (2016). A New QSPR Study on Relative Sweetness. *International Journal of Quantitative Structure-Property Relationships*, 1, pp. 76-90.

Aspartame (E 951): presenta dulzor al igual que varios ésteres dipeptídicos del ácido L-aspartico (Figura 1.7). Su dulzor relativo depende de la concentración y su uso está ampliamente difundido. No es recomendable en alimentos que deban calentarse o en bebidas que requieran tiempo de almacenamiento prolongado. La

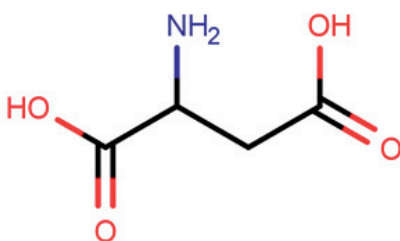
sustitución del grupo amino libre por un grupo carbamoilo (p-cianofenil) genera el superaspartamo, el cual se usa como edulcorante en bebidas no alcohólicas y en mezclas de alimentos deshidratados.



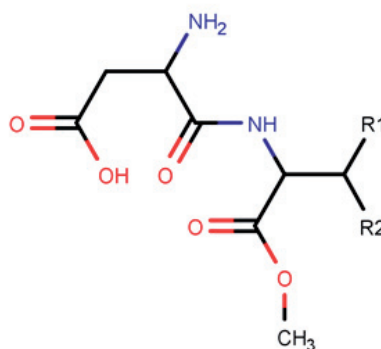
Aspartame



Derivados del aspartame



Ácido aspártico



Derivados de la amida del ácido aspártico

Figura 1.7 Estructura química de algunos edulcorantes derivados del aspartame y ácido aspártico. Adaptado de: Rojas, C.; Duchowicz, P. R.; Pis Diez, R.; Tripaldi, P. (2015). Applications of Quantitative Structure-Relative Sweetness Relationships in Food Chemistry. En Chemometrics Applications and Research. QSAR in Medicinal Chemistry. Mercader, A. G.; Duchowicz, P. R.; Sivakumar, P. M. (Editores). USA: CRC Press, pp. 317-339.

1.6.2.4 Aromatizantes

El término 'aroma' no es muy fácil de definir, podría decirse que es similar a *flavor* (Belitz et al., 2012), (Damodaran et al., 2010). Por consiguiente, es un conjunto de contribuciones de varias sustancias orgánicas volátiles presentes en los alimentos. Los aromatizantes proporcionan olor (e incluso sabor) a los alimentos a los que se incorporan. La mayor parte de los alimentos que consumimos contienen sustancias aromáticas naturales. En los productos elaborados se añaden estas sustancias para compen-

sar las pérdidas que se producen durante los procesos de elaboración (platos precocinados). Los aromatizantes más antiguos son las especias. Los aromas son productos desarrollados por empresas de alta tecnología en las que se cuidan al detalle todos los procesos de elaboración. Con frecuencia, al preparar alimentos se hace uso de materiales que aportan aromas especiales, en pequeñas cantidades y con alto poder aromatizante. En la Tabla 1.10 se detallan los principales compuestos orgánicos volátiles presentes en diversos alimentos.

COMPONENTE	ALIMENTO	COMPONENTE	ALIMENTO
Isoeugenol	Espicias	Butirato de metilo	Chocolate
Acetoína	Mantequilla	Cinamato de alilo	Melocotón, albaricoque
Diacetilo	Mantequilla	2-isobutil-3- metoxipirazina	Pimiento
Metil aldehído	Almendras	Oct-1-ena-3-ona	Champiñón
Etilvainillina	Vainilla	2,6-nonadienal	Pepino
Vainillina	Vainilla	2,4-decadienal	Pollo
Cumeraldehído	Curry	Etil-2-metil butirato	Manzana
Heliotropina	Chocolate	3-hexenal	Tomate fresco
Metilmercaptano	Café	Sulfuro de dimetilo	Tomate cocido
Sulfuro de alilo	Ajos	2-etil-3-metoxipirazina	Patata
Furfurilmercaptano	Café	γ -decalactona	Melocotón
Isotiocianato de alilo	Mostaza	2-isobutiltiazola	Tomate fresco
Maltol	Caramelo	Acetato de amilo	Plátano
Ácido butírico	Queso	Furfural	Diversas legumbres cocidas
δ -decalactona	Coco	Linalool	Diversas frutas
Furoato de metilo	Carne - café	Ácido butírico	Varios
Antranilatos de metilo o butilo	Uvas	Etanol	Varios
		Hexanol	Varios

Tabla 1.10 Compuestos orgánicos volátiles presentes en algunos alimentos.
Adaptado de: Cheftel, J.-C.; Cheftel, H.; Besançon, P. (1989). Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. (Primera edición). Volumen II, España: Editorial Acribia, S.A.

Debido a que la mayoría de aromatizantes son compuestos orgánicos volátiles, la cromatografía de gases es comúnmente usada para el análisis de impurezas como parte del control de calidad durante el proceso de manufactura, brindando detalles de sus perfiles en pocos minutos; así como permitir su separación y determinación cuantitativa. Actualmente, se usan modelos QSPR para entender el mecanismo molecular de retención en diversas columnas y, por lo tanto, diseñar nuevas columnas con propiedades definidas (Kar et al., 2017), (Rojas, Duchowicz, Tripaldi et al., 2015a), (Rojas, Duchowicz, Tripaldi et al., 2015b). Asimismo, se pueden usar modelos matemáticos basados en la teoría QSPR para el estudio del perfil aromático de los alimentos y como herramienta de control de calidad de los mismos (Fatemi y Malekzadeh, 2014), (Rojas, Tripaldi, Pérez-González et al., 2018), (Rojas, Duchowicz y Castro, 2019). Algunos aromatizantes son naturales, por ejemplo, la canela, ajo, pimentón, comino; mientras que otros son esencias artificiales o sintéticas, o sus mezclas con aromatizantes naturales. Siempre se intenta obtener el aroma natural de ciertos productos, pero hasta hoy se han conseguido solo en pocos casos mediante el uso de métodos modernos como la cromatografía gas-líquido acoplada a espectrofotómetros de masas para tener mayor conocimiento de la composición de dichos compuestos aromatizantes. Los aromas pueden ser:

Naturales: son los obtenidos por procedimientos físicos, incluido la destilación y extracción por disolventes o por procedimientos enzimáticos o microbiológicos.

Idéntico al natural (IN): son los que se obtienen por síntesis química o aislamiento por procesos químicos. El resultado es una sustancia química idéntica a la sustancia presente de manera natural en los productos.

Artificiales: al igual que los IN, se obtienen por mecanismos químicos; sin embargo, su molécula no es químicamente idéntica al natural.

1.6.2.5 Potenciadores de sabor

Llamados también resaltadores o exaltadores del sabor. Estas sustancias no aportan un sabor propio pero tienen una sinergia con los componentes de sabor presentes en los alimentos, es decir, tienen una propiedad por la cual intensifican el sabor *sui generis* de los mismos, así como de enmascarar posibles sabores indeseados. En el caso de sopas instantáneas mejoran la sensación en el paladar, además de otros aditivos que se adicionan para mejorar la textura. Pueden dividirse en dos grupos: aquellos usados en alimentos dulces (el maltol o etil maltol) y los que se usan para alimentos salados (glutamato y ácidos como el inosínico y guanilínico) (Badui, 2013), (Baltes, 2007), (Coultate, 1984).

1. *Glutamato monosódico (GMS):* Es una sal sódica proveniente del aminoácido L-glutámico (E 621) encargado de producir un sabor conocido como *umami*, que en japonés significa sabroso-delicioso. Es el responsable de mejorar el sabor en sopas y otros alimentos. A concentraciones de 0,2 a 0,5 %, el GMS tiene un sabor agradable ligeramente salado-dulce. Tiene gran aplicación en productos congelados y deshidratados; así como en conservas a base de carne donde potencia principalmente el aroma. El GMS ha sido muy utilizado en la cocina oriental. De hecho, las personas sensibles con el consumo de tres gramos de este producto desarrollan el llamado 'síndrome del restaurante chino', que tiene como particularidad la presencia de somnolencia, dolor de cabeza, dolor de estómago y sensación de hormigueo.

2. *Maltol (E 636):* Es una sustancia que se ori-

gina a partir de la fructosa, por la rotura de los azúcares debido al contacto con el calor. Tiene olor a caramelo y temperatura de fusión de 163 [°C]. Potencia el sabor dulce en alimentos ricos en hidratos de carbono, por lo que se usa comúnmente en alimentos como mermeladas, jaleas y zumos de fruta. Por otro lado, permite disminuir el contenido de azúcar hasta un 15 % sin pérdida del sabor. El etil maltol también es usado como aditivo en alimentos.

3. *Ácidos inosínico y guanilínico*: El ácido inosínico (sal disódica del 5'-inosinmonofosfato o IMP, E 630) y el ácido guanilínico (sal disódica del 5'-guanosinmonofosfato o GMP, E 626) tienen una actividad entre 10 a 20 veces mayor que el GMS. En alimentos líquidos también muestran una sensación de aumento de la viscosidad, como la que se observa en sopas. Así también, proporcionan una sensación de frescura y naturalidad al producto. Se alcanzan efectos sinérgicos por combinación del GMS e IMP o del GMS y GMP.

1.6.2.6 Espesantes

También conocidos como surfactantes, estabilizantes o gelificantes (Baltes, 2007), (Charley, 2012), (Damodaran et al., 2010). Son sustancias capaces de formar geles, incrementar la viscosidad y estabilizar las espumas, emulsiones y suspensiones. Además, estabilizan la mezcla de líquidos inmiscibles evitando la sinéresis. Estos compuestos reducen la tensión superficial permitiendo que dos fases se estabilicen. Asimismo, actúan encapsulando los aromas en productos deshidratados e inhibiendo la cristalización en productos azucarados (helados). A esta clase de aditivos pertenecen los glicoles (etilenglicol), gomas, agar, almidón, almidones modificados, carboximetilcelulosa (CMC), pectinas (que no deberían ser consideradas como

aditivos). Se debe indicar que el uso de algunos polisacáridos está restringido, sobre todo la CMC, debido a su capacidad de absorción de grandes cantidades de agua, lo que puede llevar al fraude por parte de los productores de alimentos, permitiendo adiciones líquidas y de espesante a fin de conseguir productos aparentemente iguales a los normales sin diluciones. Como ejemplos de algunos espesantes y gelificantes tenemos:

1. *Pectina (E 440 I) y pectina amidada (E 440 II)*: son los mayores constituyentes de las paredes de las células vegetales. Estos polisacáridos naturales se obtienen como subproducto de las industrias de zumos de maracuyá, limón, naranja y de la industria de la sidra. Su principal característica es la de formar geles en medio ácido y altas concentraciones de azúcar, por lo que son ampliamente utilizadas en la manufactura de jaleas y mermeladas. Una desventaja en el uso de las pectinas es la inhibición en la captación de metales (hierro, calcio, zinc) útiles para el organismo; sin embargo, algunos estudios reflejan contradicciones. La amilopectina se utiliza ampliamente como espesante, estabilizante y adhesivo.

2. *Derivados del almidón*: son productos espesantes y aglutinantes cuya propiedad principal es la de formar geles cuando interactúan con el agua. Los almidones de maíz son los de mayor uso pues se consideran en general aditivos totalmente seguros e inocuos. Debido a que el objeto de este estudio no es brindar un detalle extremadamente minucioso sobre los espesantes, nos limitaremos a enlistar algunos de estos derivados de uso frecuente:

- Dextrinas
- Almidón pregelatinizado
- Almidón levemente hidrolizado
- Almidón extrusionado
- Almidones entrecruzados
- Almidones oxidados
- Éteres de almidón
- Ésteres de almidón

Dentro de estos grupos se encuentran: almidón oxidado (E 1404), fosfato de almidón (E 1410), glicerol de dialmidón (E 1411), fosfato de dialmidón (E 1412), fosfato de dialmidón fosfatado (E 1413), fosfato de dialmidón acetilado (E 1414), almidón acetilado (E 1420), adipato de dialmidón acetilado (E 1422), glicerol de dialmidón acetilado (E 1423), almidón hidroxipropilo (E 1440), fosfato de dialmidón hidroxipropilo (E 1442), glicerol de dialmidón hidroxipropilo (E 1443), entre otros.

La amilosa se la utiliza como recubrimiento para evitar la adhesividad de ciertas frutas; así como en postres debido a su buena capacidad de formar geles y salsas instantáneas. Este compuesto también se puede usar para mejorar el envasado del café y té instantáneo.

3. Gomas vegetales: son otros espesantes que se usan en preparación de productos de alta viscosidad. Estos materiales, si bien no forman geles, incrementan la viscosidad del producto debido a su gran capacidad de absorber agua. En general son indigeribles por el organismo humano, aunque parcialmente son degradadas por la flora bacteriana intestinal. No se conocen efectos adversos de sus usos, aunque en algún caso, como la goma Baraya, puede ocasionar efectos alérgicos.

a. Goma guar o guarano (E 412): se obtiene del endospermo de la semilla leguminosa *Cyamopsis tetragonolobus* y es un galacto-

manano que tiene la característica de hidratarse rápidamente con agua fría, formando una solución fuertemente viscosa y tixotrópica. La solubilidad de la goma se facilita por calentamiento, pero puede degradarse en presencia de altas temperaturas. Se usa en concentraciones iguales o menores al 1 % y presenta sinergia con el almidón para la formación de soluciones viscosas. Se la utiliza en la industria de panificación y en productos donde se requiere prevenir la sinéresis (quesos, helados, productos cárnicos, aderezos y salsas).

b. Goma garrofín o algarrobo (E 410): es un heteropolisacárido proveniente de semillas de *Ceratonia siliqua*. Las soluciones son pseudoplásticas (alta viscosidad), lo que depende de la concentración y peso molecular. Se la utiliza ampliamente en postres helados para ligar agua. También se usa en la elaboración de quesos crema, alimentos para bebé, sopas y en productos cárnicos como ligante y estabilizante.

c. Goma arábica (E 414): es un heteroglicano (polisacárido) que proviene del exudado de la corteza de árboles de *Acacia*, por lo que se la conoce como goma acacia o goma mimosa. Tiene buena solubilidad en agua y forma soluciones de viscosidad mínima. Se la usa en productos de confitería para prevenir la cristalización del azúcar, mientras que en productos de repostería previene la absorción de humedad. En productos congelados ayuda a que los cristales de hielo que se formen sean pequeños. De esta misma forma se usa en bebidas para estabilizar las emulsiones y espumas.

d. Goma tragacanto (E 413): es un exudado seco que proviene de diferentes especies de *Astragalus*. Está constituida por una parte soluble en agua (tragacantina) y otra inso-

luble (basorina), se caracteriza por alcanzar altas viscosidades a concentraciones de 0,5 %. Entre sus propiedades se tiene que es pseudoplástica, produce textura cremosa, da cuerpo, forma películas, es espesante, entre otras. Se la utiliza en salsas y aderezos, postres helados, rellenos de frutas para tartas heladas.

e. Carragenanos (E 407): son extraídos del alga *Chondrus crispus* y son una compleja mezcla de por lo menos 5 polímeros diferentes. Las propiedades dependen de los cationes asociados. Por ejemplo, si el catión es el sodio será soluble en agua y no formará geles, mientras que si es potasio desarrollará geles firmes. Tienen interacción sinérgica con otros geles; a bajas concentraciones brindan un incremento de la viscosidad, mientras que a altas concentraciones incrementan la firmeza de los geles.

f. Alginatos (E 401 a E 405): comercialmente se los extraen del alga gigante *Macrocystis pyrifera*. Químicamente están constituidos por los ácidos D-manopiranosilurónico (M) y L-gulopiranosilurónico (G). Sus soluciones son muy viscosas y sus propiedades dependen de los electrolitos presentes, de la relación M/G y del peso molecular. Forman geles a temperatura ambiente en presencia de calcio u otros cationes metálicos di- o trivalentes. Se usan en repostería, helados, salsas para ensaladas, postres cremosos y como estabilizante de la espuma en la cerveza.

g. Goma xantana o xanthan (E 415): es una goma semisintética obtenida por diferentes especies de bacterias, cuyas características son las de ser muy soluble en agua caliente o fría, estabilidad en un amplio rango de pH, forma soluciones de alta viscosidad. Esta goma genera soluciones traslúcidas, incluso

a altas concentraciones y presenta sinergia con las gomas guar y garrofín. Se usa para mejorar la palatabilidad de bebidas, para estabilizar la turbidez en zumos de naranja, en el procesamiento de aderezos y salsas. Asimismo, se usa como espesante y estabilizante en productos enlatados.

h. Agar (E 406): se lo extrae de algas rojas con agua caliente a pH ligeramente ácido. Se usa principalmente en microbiología como medio de cultivo. Se puede separar en dos fracciones, agarano y agarpectina. La característica fundamental de sus geles es la estabilidad a temperaturas por encima de la inicial de gelificación, dando lugar a uno de los geles más fuertes conocidos. Su uso principal es en confites, particularmente en la elaboración de productos tipo gomitas y en productos bajos en calorías. Así también, se lo usa para inhibir la sinéresis en postres helados, en la estabilidad de quesos para fundir, en productos de panadería y repostería.

i. Goma ghatti: es un heteropolisacárido del exudado de *Anogeissus latifolia*. Es sensible a pH alcalino pero tiene gran capacidad de hidratación con agua fría y produce viscosidad moderada. Se lo usa como emulsificante en mantequilla y bebidas. Presenta mayores usos en otras industrias, tales como petroleras, papel, ceras, entre las más importantes.

j. Goma karaya (E 416): es un heteropolisacárido que proviene del exudado de *Sterculia urens*. Es una goma muy poco soluble en agua, genera soluciones altamente viscosas y con la peculiaridad de tener olor a vinagre debido a la liberación de ácido acético. Posee relativa estabilidad a pH bajo. Es poco utilizada en la industria de los alimentos, salvo algunas excepciones.

4. Celulosa y sus derivados: La celulosa (E 460) es un polisacárido estructural ampliamente difundido en la naturaleza, que se obtiene comercialmente de la madera y del algodón (fuente más pura). Se encuentra constituido por cadenas de D-glucopiranosas unidos por enlaces glucosídicos β (1,4). No se usa como aditivo directo; sin embargo, su derivado carboximetilcelulosa (E 466) es utilizado por su capacidad de captar agua en la elaboración de tortillas de maíz, en la elaboración de salsas, zumos y néctares, productos de panificación y helados. Otros derivados de amplio uso en la industria de los alimentos son:

- Celulosa microcristalina (MCC, E 460 I)
- Celulosa en polvo (E 460 II)
- Metilcelulosa (E 461)
- Hidroxipropilcelulosa (E 463)
- Hidroxipropilmetilcelulosa (E 464)

1.6.2.7 Acondicionadores

Son sustancias que se usan para modificar y estabilizar el pH del medio. A esta categoría pertenecen los ácidos orgánicos: acético (E 260), cítrico (E 330), láctico (E 270), málico (E 296), tartárico (E 334), propiónico (E 280), fumárico (E 297), sórbico (E 200), succínico (E 363) y adípico (E 355) (Belitz et al., 2012), (Cheftel, Cheftel y Besançon, 1989), (Charley, 2012). Además, se tiene el ácido fosfórico (E 338), que no pertenece a la categoría de los orgánicos y que es ampliamente usado en bebidas gaseosas. Con excepción del ácido fumárico, todos son solubles en agua. Algunos acondicionadores cumplen además otras funciones, tales como conservadores, saborizantes, potenciadores de sabor, secuestradores de metal, entre otros.

Pertenecen también a este grupo las sustancias alcalinizantes, que se caracterizan por el uso para el control del pH, la producción de CO_2 , en el pelado químico de vegetales, estabilizante del color en las aceitunas, para la obtención de proteínas a partir de la soya, como gasificante en panadería. Asimismo, se utilizan para la nixtamilación de maíz para favorecer la cocción, gelatinizar el almidón, permitir la biodisponibilidad de la niacina y triptófano (entre los más importantes).

El uso combinado de un ácido débil con su sal permite regular el pH. Estas mezclas se conocen como *buffers* o tampones. Se utilizan para estabilizar el pH en un rango establecido para evitar la alteración de proteínas, pigmentos y otros compuestos durante el procesado y almacenado.

1.6.2.8 Secuestradores de metal

Se los conoce también con el nombre de quelantes (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Damodaran et al., 2010). Estos compuestos contribuyen a la estabilización del aroma, textura y color por enlace coordinado de iones metálicos a una o más moléculas de quelantes. En algunos casos, son constituyentes naturales de los alimentos, tales como los ácidos dicarboxílicos, hidroxiácidos, ácidos polifosfóricos, aminoácidos, péptidos y proteínas. La formación del complejo metal/secuestrador se desarrolla cuando el secuestrador posee la configuración electrónica y el sitio estérico apropiado para el metal. Así también, hay otros factores que favorecen la integración del complejo, tales como pH, solubilidad y fuerza iónica, principalmente. Por otro lado, el secuestro de metales pesados incrementa la acción de las sustancias antioxidantes. Asimismo, inhiben la oxidación de las vitaminas y del ácido ascórbico. El uso de estos

aditivos mejora considerablemente la calidad de alimentos donde se utilizan antioxidantes. Estos compuestos se usan en la industria alimentaria para evitar la posible acción de iones como el hierro, calcio, cobre y otros cationes divalentes. Entre los secuestradores más usados se tienen:

- Ácidos cítrico, tartárico, succínico, málico, oxálico y fosfórico
- Acetatos de Na (E 262 I), K (E 261) y Ca (E 263)
- Sorbitol (E 420 I)
- Gluconato de Na y K
- Oxiestearina
- Fosfatos, tripolifosfatos y hexametafosfatos
- Pirofosfato y trifosfato de Na
- Fitato de Ca
- Ácido tartárico y sus sales de Na y K
- Tiosulfato de Na
- Ácido cítrico y sus sales de Na, K y Ca.
- Ésteres monoisopropílico, monoglicérido, trietilico y monoestearílico.
- Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA, E 385) y sus sales de Na y Ca.

Estos aditivos se utilizan en mezclas con antioxidantes, vitaminas y carotenoides. El EDTA es el secuestrador más utilizado como aditivo en alimentos. Así, en enlatados vegetales evita cambios en el color y en la textura. Estos cambios se dan por la interacción del Fe, Mg y Ca que se liberan durante el escaldado y que interaccionan con los pigmentos y las pectinas. Por otra parte, evita el oscurecimiento de la papa al

ser utilizado en mezcla con el ácido cítrico o pirofosfatos. De la misma manera, en productos derivados marinos que tienen altas concentraciones de Mg evita la cristalización como fosfato de magnesio. Finalmente, el abuso del EDTA puede generar la reducción de la biodisponibilidad de algunos elementos químicos necesarios, tales como el hierro, zinc y calcio.

1.6.2.9 Levaduras químicas

Son otro tipo de aditivos que dan lugar a masas esponjosas al ser incorporadas a las harinas, sin necesitar la acción de células de levadura (Baltes, 2007). Son mezclas capaces de producir CO_2 cuando, presentes en una harina, se ponen en condiciones de humedad y temperatura apropiadas. Las buenas levaduras químicas deben mantener el desprendimiento de CO_2 a las temperaturas de horneado a fin de que no se reduzca la masa al término de la cocción. Se preparan mezclando carbonato o bicarbonato de sodio con ácidos o sales ácidas. Los ácidos más utilizados son: el ácido tartárico, el tartrato ácido de potasio, el fosfato diácido monocalcico, el pirofosfato diácido disódico, la δ -gluconolactona, entre otros; estos acidulantes atacan al carbonato de sodio a distintas temperaturas, por lo que con mezclas de ellos se obtienen productos adecuados para los distintos usos. Así por ejemplo, la δ -gluconolactona se hidroliza progresivamente a las temperaturas de horneado, generando ácido glucónico que libera de un modo lento y paulatino el CO_2 del carbonato.

Características **de los vegetales**



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa
Editora

02

2.1 Cereales

2.1.1 Trigo

Las formas primitivas de trigo conocidas como *einkorn* se han cultivado desde hace más de 10000 años, comenzando casi inmediatamente un proceso de selección con una reducción considerable de las variedades antiguas hace 4000 - 5000 años, para dar paso a los trigos modernos. Es un cereal que se desarrolla en casi todos los terrenos. El trigo es del género *Triticum*, compuesto por varias especies, de las cuales el más cultivado es el *Triticum vulgare*, que tiene la característica de ser resistente a las plagas. Algunas variedades se obtienen por hibridacio-

nes (Callejo González, 2002), (Mendoza y Calvo, 2010). Todas las especies de trigo cultivadas se autopolinizan. La altura de las plantas varía, normalmente, entre 60 [cm] y 1,50 [m], según la variedad. La inflorescencia es una larga espiga con espiguillas secundarias dispuestas en forma alternada. Los granos se separan fácilmente y son, generalmente, de color café o ámbar, aunque también hay variedades de color rojo o blanco. El trigo se cultiva en alturas que van desde el nivel del mar hasta los 3000 [msnm]. Existen dos tipos bien definidos, los de invierno y los de otoño (Callejo González, 2002).

VARIEDAD	ESTABILIDAD	FUERZA
Manitoba Canadá	80 - 100	85 - 100
Gaenet	90 - 100	80 - 75
Durum Canadiense	70 - 90	25 - 35
Hard Winter USA	60 - 90	40 - 70
Ruso	50 - 85	30 - 70
Rosafé-Plata	60 - 85	40 - 60
Barusso-Plata	65 - 90	40 - 60
Australiano	25 - 55	15 - 35
Indio	70 - 95	25 - 35
Cuenca Danubio	30 - 65	25 - 40
Soft White Pacific	30 - 50	15 - 25
Inglés	25 - 55	10 - 25

Tabla 2.1 Clasificación de los trigos

Adaptado de: Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS:Editorial MIR.

Los cereales suelen ser atacados por plagas como ácaros, gorgojos, polillas y hongos, entre las más comunes. Para evitar su ataque durante el almacenamiento se pueden usar ciertos agentes químicos, pero se debe limpiar el grano de tales agentes antes de ser procesado. Según su destino industrial, conforme a las características reológicas de la masa que generen, se los clasifica por su estabilidad y por su fuerza (Tabla 2.1).

El grano o semilla: la semilla es de forma ovoide (Figura 2.1) y compuesta por tres partes: el germen o embrión, destinado a originar la nueva planta (representa el 2 % del grano); el endosperma, que contiene la harina y constituye el 85 % del grano; y la cubierta protectora, que lo envuelve con varios tegumentos, representa el 12 % del grano y está compuesta de los siguientes tegumentos, desde dentro hacia fuera (Badui Dergal, 2012), (Callejo González, 2002):

- a. El pericarpio, parte externa o cutícula, sigue al mesocarpio y al endocarpio
- b. la testa o cubierta de la semilla, o epispermo, con el pigmento que da color al grano
- c. la capa miscelar o hialina
- d. la aleurona, constituida por células cuadradas con paredes gruesas que contienen proteína (aunque no gluten) y constituye alrededor del 7 % del grano.



Figura 2.1 Granos de trigo

Antiguamente, con el grano machacado o molido se elaboraba el pan, hoy en cambio, se separa el endosperma de las cubiertas protectoras y del germen, obteniéndose harina blanca con un rendimiento del 68 a 72 %. Los nutricionistas no comparten esta forma de refinado, pues alegan que se pierde calidad nutritiva, ya que en las colas de molienda (salvado, sémolas y otros) se pierden fibras, sales minerales y vitaminas. Es por ello que se usan estos residuos para alimentación humana y del ganado.

Componentes químicos de la semilla: La Tabla 2.2 muestra la composición proximal del trigo y sus harinas. Se pueden mencionar los siguientes componentes de la semilla (Badui Dergal, 2012), (Callejo González, 2002):

1. *Almidón:* es el componente principal del endosperma que se extrae de la harina amasándola con agua y lavándola dentro de una pieza de muselina, quedando retenido el gluten y pasando un líquido lechoso, que por sedimentación dejará el almidón. Está constituido por amilosa lineal y amilopectina ramificada. El almidón gelatiniza absorbiendo agua cuando se calienta la suspensión entre 55 a 75 [°C]. Otros carbohidratos presentes son la celulosa, manosas, dextrinas, pentosanos.
2. *Lípidos:* son componentes menores del grano (alrededor del 10 al 15 % del germen). A pesar de ello, son importantes por ser vectores de vitamina E y de ácidos grasos esenciales. Influyen en la reología de la masa alterando la textura del gluten por hidrólisis; la oxidación de sus ácidos grasos libres causa deterioro y olor desagradable.
3. *Proteínas:* según investigaciones recientes hay cinco proteínas presentes en la harina de trigo divididas en componentes mayores y menores:

a. componentes mayores proteicos (cerca del 8 % del grano): prolamina (la gliadina) y glutelina (la glutenina), que con el agua forman el gluten luego de ser sometidas a un esfuerzo mecánico.

b. componentes menores: albúmina, globulina y proteosa.

Se deben también mencionar a las lipoproteínas presentes en el gluten. El contenido proteico del endosperma varía según la variedad de trigo y oscila entre 7 y 14%, y aun que la mayoría

son insolubles en el agua tienen una alta capacidad de hidratación. Debido al bajo contenido de lisina y triptófano, las proteínas de la harina de trigo son de bajo valor biológico, actuando la lisina como aminoácido limitante. La adición de proteínas de huevo a la harina incrementa su porcentaje. Además de los componentes mencionados, las semillas poseen sustancias minerales, enzimas y vitaminas. La Tabla 2.3 muestra los contenidos de aminoácidos en harinas de trigo.

COMPONENTE	PROMEDIO
Proteína cruda %	14,3
Lípidos %	1,9
Fibra cruda %	2,9
Cenizas %	2,0
Vitaminas [mg/100 g]	
Tiamina	0,50
Riboflavina	0,16
Niacina	5,78
ácido pantoténico	1,24
Piridoxina	0,48
Colina	82,80
α -tocoferol	1,58
Minerales %	
Calcio	0,06
Fósforo	0,41
Hierro	0,006

Hidratos de carbono	
Almidón %	63,8
Azúcares totales %	3,2
Pentosanos %	7,4

Tabla 2.2 Composición aproximada promedio del trigo y sus harinas

Adaptado de: Callejo González, M. J. (2002). *Industrias de Cereales y Derivados*. España: Ediciones Mundi-Prensa.

Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

AMINOÁCIDO	[g/100 g] en base seca
Alanina	0,39
Arginina	0,53
Ácido aspártico	0,58
Cistina	0,30
Ácido glutámico	4,85
Glicina	0,45
Histidina	0,26
Isoleucina	0,60
Leucina	0,98
Lisina	0,29
Metionina	0,24
Fenilalanina	0,69
Prolina	1,64
Serina	0,76
Treonina	0,40
Triptófano	0,14

Tirosina	0,46
Valina	0,64

Tabla 2.3 Composición promedio de aminoácidos en harinas de trigo.

Adaptado de: Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

Charley, H. (2012). *Tecnología de los Alimentos. Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de los Alimentos (Segunda Edición)*. México: Editorial Limusa.

2.1.2 Arroz

El arroz (Figura 2.2) es originario de Asia y se clasifica como *Oryza sativa*. Es la gramínea más utilizada en el mundo para la alimentación humana. Es una planta herbácea anual de la cual se explotan diversas variedades, con la característica de que su cultivo requiere irrigación intensa, teniendo que drenarse los campos para la cosecha. Existen más de cincuenta variedades de arroz; sin embargo, actualmente las más conocidas y cultivadas son: Índica (grano largo, sutil y cristalino), Japónica (grano corto, redondo y perláceo translúcido) y Javánica (grano muy largo). Además de estas variedades existen otras muy antiguas como el arroz negro chino y el rojo. Las variedades *Índica* y *Javánica* son las más antiguas y las que presentan mayor contenido de sustancias aromáticas. En general, las variedades de granos más o menos amarillos son las más perfumadas mientras que los arroces de la variedad *Japónica* tienen aromas menos intensos (Callejo González, 2002), (Maldonado-Alvarado y Ruales Nájera, 2018), (Mendoza y Calvo, 2010).



ARROZ BLANCO



ARROZ AMARILLO

Figura 2.2 Granos de arroz

A diferencia de otras gramíneas, el arroz generalmente se prepara sin o con poca sazón por lo que las propiedades aromáticas del grano mismo son muy importantes. Por esta razón el aroma se ha considerado como el mejor criterio para detectar la aceptación por parte de los consumidores (Fukuda, Takeda y Yoshida, 2014), (Rojas et al., 2018). Como en todo cereal, el principal componente del arroz es el almidón (83 % en el moreno y 90 % en el blanco) que tiene del 16 al 25 % de amilosa.

En el pericarpio hay celulosa y hemicelulosa hacia las partes externas del grano, separables también por perlado. La proteína está presente en mayor concentración en el embrión y en la aleurona (que por desgracia se eliminan en el pulido), y en menor proporción en el endosperma. Predomina la glutelina, con pequeñas cantidades de globulina y prolamina. Al igual que en el trigo, también se estima aquí a la lisina como aminoácido limitante (Callejo González, 2002), (Maldonado-Alvarado y Ruales Nájera, 2018).

COMPONENTES %	ARROZ MORENO	ARROZ PULIDO	AFRECHO	EMBRIÓN
Proteína	10,1	7,2 - 9,0	14,0	15,7
Grasa	2,4	0,34	11,7	12,9
Extracto libre de nitrógeno	86,6	90,8	--	57,7
Fibra	0,9	0,1	11,1	3,6
Cenizas	1,2	0,5	13,1	7,0

Tabla 2.4 Composición aproximada del arroz en base seca
Adaptado de: Callejo González, M. J. (2002). Industrias de Cereales y Derivados. España: Ediciones Mundi-Prensa.
Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

La grasa se encuentra en el embrión (13 %) y en la aleurona. Los glicéridos contienen grandes cantidades de ácidos oleico y linoleico. Su alto valor nutritivo se debe a la presencia de vitaminas del grupo B, tanto en el germen como en la

aleurona. El arroz moreno contiene del 1 al 1,3 % de sustancias minerales y el pulido del 0,3 al 0,5 % (el sodio prácticamente desaparece en el pulido). En general, el pulido del arroz consiste en la eliminación de la vaina, el embrión y la

parte exterior del grano, con los cambios indicados en la Tabla 2.4. Llevando a cabo un pulido intermedio que conserve componentes útiles, especialmente tiamina, se minimiza el riesgo de beri-beri. La grasa del germen que queda en el arroz moreno es un inconveniente porque se enrancia en breve plazo, debiendo realizarse un tratamiento con vapor para inactivar las lipasas (Callejo González, 2002), (Maldonado-Alvarado y Ruales Nájera, 2018), (Yúfera, 1979).

El arroz precocido tiende a perder nutrientes solubles en agua, como las vitaminas del tipo B y las sustancias minerales. Desde el descubrimiento de las causas del beri-beri se enriquece el arroz pulido con vitaminas B₁ y PP, luego se le recubre con una película de zeína (proteína del maíz), ácido abiético y ácidos grasos para impedir que se pierdan estos compuestos durante el lavado en agua fría. En la Tabla 2.5 se encuentran valores referenciales del contenido de vitaminas en el arroz.

VITAMINA	ARROZ MORENO	ARROZ PULIDO	AFRECHO	EMBRIÓN
Tiamina	2 - 4,8	0,4 - 0,8	24	65
Riboflavina	0,6	0,15 - 0,3	2	5
Niacina	46 - 47	15 - 25	336	33
Ácido pantoténico	13 - 17	6,4 - 8,0	27,7	30
Biotina	0,12	0,04 - 0,06	0,6	0,6
Ácido fólico	--	0,16	1,5	4,3
Piridoxina	10,3	3,3 - 4,5	25	16
Inositol	--	125	4627	3725
Ácido <i>p</i> -aminobenzoico	--	0,15	0,75	1,0
Colina	--	0,9 - 1,0	--	3,0

Tabla 2.5 Vitaminas en el arroz y subproductos [µg/g]

Adaptado de: Charley, H. (2012). *Tecnología de los Alimentos. Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de los Alimentos* (Segunda edición). México: Editorial Limus.

2.1.3 Cebada

La cebada *Hordeum vulgare* (Mendoza y Calvo, 2010) es un cereal de amplio uso para la producción de la cerveza, también constituye un valioso material para consumo. Unas variedades sirven para elaborar la malta debido a su uniformidad de germinación y su alto poder diastásico. El grano de este cereal está constituido por tres partes fundamentales (Badui Dergal, 2012), (Callejo González, 2002):

- envoltura o salvado: rico en celulosa que contiene glutelina, hordeína, taninos y resina amarga;
- endosperma: que contiene el almidón y proteínas (leucosina y edestina);
- germen: con grasa rica en lecitina.



Figura 2.3 Granos de cebada

Los granos de cebada (Figura 2.3) seleccionados para alimentación se someten a sucesivas operaciones que van separando desde la vaina a capas inferiores de afrecho y dan la cebada perlada al final de seis etapas. La cascarilla se elimina por aventado. La cebada obtenida luego de la tercera etapa se conoce como cebada mondada. La composición proximal de la cebada se presenta en la Tabla 2.6.

COMPONENTE %	CEBADA ENTERA	CEBADA PERLADA
Proteína	13,20	9,40
Grasa	2,10	0,90
Fibra	5,10	0,40
Ceniza	2,80	1,00
Calcio	0,04	0,00
Hierro	0,45	0,24

Tabla 2.6 Composición porcentual de las cebadas
Adaptado de: Kirk, R. S.; Sawyer, R.; Egan, H. (2003). Composición y Análisis de Alimentos de Pearson. España: Editorial Acribia, S.A.

Por otra parte, los contenidos vitamínicos de las distintas formas (según datos de Quaker Oats Co. de Chicago) se encuentran en la Tabla 2.7:

VITAMINA [mg/100 g]	CEBADA ENTERA	CEBADA MONDADA	CEBADA PERLADA	CASCARILLA
Tiamina	0,44	0,20	0,09	0,44
Riboflavina	0,12	0,07	0,05	0,27
Niacina	6,3	4,1	2,5	7,5

Tabla 2.7 Vitaminas presentes en la cebada

Adaptado de: Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

Kirk, R. S.; Sawyer, R.; Egan, H. (2003). *Composición y Análisis de Alimentos de Pearson*. España: Editorial Acribia, S.A.

2.1.4 Centeno

Se clasifica como *Secale cereale L.* y se cultiva especialmente en Europa. Se usa en la fabricación de licores de alto grado alcohólico (whisky) y su harina se utiliza en en panificación. El centeno (Figura 2.4) se muele como al trigo, pero usando cilindros de rotura acanalados, pues el afrecho se adhiere muy fuertemente al endosperma. Hay tres tipos de harina que pueden obtenerse: la de primera o clara, la de segunda o media (de mayor fuerza para panificación) y la de tercera o integral que es oscura (Badui Dergal, 2012), (Mendoza y Calvo, 2010). Las propiedades panificadoras del centeno se han estudiado extensamente, poniéndose en evidencia la capacidad de formación de masas elásticas, porosas y uniformes, por sus grados de gelatinización y de actividad amilolítica (Callejo González, 2002), (Charley, 2012).



Figura 2.4 Granos de centeno

El poder amilolítico está vinculado con la actividad de las α -amilasas. Si ésta es muy grande hay mucha dextrinificación, disminuye la retención de agua y el pan se vuelve gomoso; si en cambio es muy baja, la masa resulta seca y quebradiza. Los carbohidratos del centeno contienen pentosanos (sustancias mucilaginosas) que contribuyen con la estructura de los panes obtenidos con esta harina.

2.1.5 Avena

Pertenece al género *Avena* de la cual se conocen unas 6000 variedades. Procede de los países Mediterráneos y del Cercano Oriente, donde inicialmente se cultivaba como alimento para caballos, pues el grano está dentro de una vaina que representa el 25 % del total y es indigerible para los humanos. No obstante, se las consume ampliamente en forma de hojuelas (Figura 2.5) luego de un tratamiento adecuado. Para la obtención de la harina se separan las vainas y el grano es molido. La harina posee propiedades antioxidantes por lo que se agrega en alimentos para bebés (Callejo González, 2002), (Mendoza y Calvo, 2010).



Figura 2.5 Hojuelas de avena

2.1.6 Maíz

El maíz (Figura 2.6) es una de las más importantes contribuciones del Nuevo Mundo a Europa, además de la patata y varios frutos. Los primeros colonizadores blancos lo llamaron grano indio, en tanto que los ingleses se referían a él como *sweet corn* (grano dulce). Conocido como *Zea mays*, es una planta anual cultivada en inúmeras variedades (Callejo González, 2002), (Mendoza y Calvo, 2010).



Figura 2.6 Granos de Maíz

El maíz se cosecha tierno o maduro. Si se lo recoge maduro, se lo muele y se lo convierte en alimento para el hombre o en forraje para animales o aves. También la harina hidrolizada puede servir para obtener glucosa o licores como el whisky. En tanto que recogiendo tierno, es muy blando y azucarado y puede ser conservado o expendido directamente para consumo casi inmediato (de lo contrario se echa a perder). De su harina puede separarse almidón de buena calidad y de su germen se extrae un excelente aceite, casi sin aroma, utilizado para frituras.

2.1.7 Quinua

La quinua es una planta andina muy antigua y de desarrollo anual. A pesar de no ser realmente un cereal (puesto que es una dicotiledónea), la hemos incluido en este grupo porque su modo de utilización es similar al de los cereales y por su importante valor nutricional. Crece hasta los 4000 [msnm], con temperaturas que varían entre los -5 y 40 [°C]. Su cultivo se remonta al año 5000 a.C. Fue un alimento considerado sagrado por los Incas. Existen dos variedades: la quinua amarga o real y la quinua dulce, cuyo color es blanco con bajo contenido de saponina (Bojanic, 2011), (Mendoza y Calvo, 2010).

La cantidad de energía que produce la quinua se asemeja a la de otros cereales (Tabla 2.8). Tiene la característica de ser altamente digerible y posee bajo contenido de lípidos (la mayoría insaturados), además de un buen balance de aminoácidos esenciales. También aporta fibra y buena cantidad de calcio, fósforo y vitaminas. Por otro lado, no contiene gluten, por lo que es ideal en la dieta de personas celíacas. El grano de quinua tiene saponinas que aportan un sabor amargo, además de romper los glóbulos rojos, lo que limita su consumo (Bojanic, 2011), (Callejo González, 2002), (Mendoza y Calvo, 2010).

COMPONENTE	VALOR
Energía	370 [kcal]
Fibra total	3,45 [g]
Carbohidratos	71 [g]
Proteínas	13 [g]
Lípidos totales	6,10 [g]
Calcio	100 [mg]
Fósforo	448 [mg]
Hierro	9,20 [mg]
Magnesio	270 [mg]
Potasio	697 [mg]
Tiamina	0,24 [mg]
Riboflavina	0,23 [mg]
Niacina	1040 [mg]

Tabla 2.8 Valor nutricional aproximado de la quinua real por cada 100 [g]

Adaptado de: Mendoza, E.; Calvo, C. (2010). *Bromatología. Composición y Propiedades de los Alimentos*. México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Callejo González, M. J. (2002). *Industrias de Cereales y Derivados*. España: Ediciones Mundi-Prensa.

2.2 Leguminosas y vegetales

Las hortalizas o vegetales de huerta, las frutas de consumo directo, las leguminosas, los frutos secos, los tubérculos y otros como hongos y levaduras son, en conjunto, grandes grupos de vegetales que se usan frecuentemente en la dieta de las personas. A partir de estas materias primas se pueden obtener productos derivados muy variados, tales como jugos de frutas, encurtidos, mermeladas, aceites y el azúcar (Kirk et al., 2003), (Yúfera, 1979).

2.2.1 Hortalizas

2.2.1.1 Bulbos

El ajo: (*Allium sativum* L.) es un condimento de inigualables propiedades, por lo cual es muy utilizado en la cocina e industria. Posee una sustancia de acción antibacterial (alicina), aunque relativamente inestable, irritante para la piel y de fuerte olor característico. El precursor es la aliina, sustancia que se libera cuando las células se rompen y se convierte en alicina por acción de la enzima aliinasa, que posteriormente se transforma en disulfuro de alilo. El fuerte olor se debe precisamente a la presencia de este disulfuro y al disulfuro de propilo. El ajo (Figura 2.7) tiene también un 10 % de un polifructósido dulzón (Astiasarán y Martínez, 2000), (Seymour, 1981), (Yúfera, 1979).



AJO



CEBOLLA

Figura 2.7 Ajo y cebolla

La cebolla: (*Allium cepa* L.) es un excelente condimento, por lo cual es cultivada en grandes cantidades. El aceite esencial, que le confiere el olor, está constituido principalmente por disulfuro de alilo y propilo (al igual que el ajo). En base seca posee un 64,23 % de azúcares solubles, de los cuales el 11,34 % son reductores,

1,98 % de nitrógeno proteico, 4,45 % de compuestos pécticos. La cebolla fresca (Figura 2.7) posee del 0,017 al 0,040 % de vitamina C, principalmente en las capas centrales (Astiasarán y Martínez, 2000), (Callejo González, 2002), (Kirk et al., 2003).

2.2.1.2 Verduras de flor

La alcachofa (*Cynara scolymus*), el brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) y la coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) poseen ácidos y sus sales, como el málico y el cítrico, así como dextrosa y levulosa (en la coliflor), inulina (en

la alcachofa). El brócoli tiene vitamina C y ácido pantoténico. Los corazones de la alcachofa se conservan envasados, mientras que el brócoli y la coliflor (Figura 2.8) se conservan cocidos o encurtidos (Astiasarán y Martínez, 2000), (Seymour, 1981), (Yúfera, 1979).



BRÓCOLI



COLIFLOR

Figura 2.8 Brócoli y coliflor

2.2.1.3 Hojas y tallos

Son muchas las verduras de este tipo: repollo o col, lechuga (Figura 2.9), col de bruselas, apio, achicoria, perejil, espinaca, acelga, entre los más destacados. El repollo es consumido en ensaladas, cocido o preparado como col ácida

y su composición ha sido objeto de muchos estudios. Contiene pigmentos como clorofila, carotenos, xantofila, fosfátidos, glicéridos de ácidos esteárico, palmítico, linoleico y linolénico, esteroides y otros más (Astiasarán y Martínez, 2000), (Seymour, 1981), (Yúfera, 1979).



REPOLLO



LECHUGA

Figura 2.9 Repollo y lechuga

Las demás hojas y tallos también se consumen al natural como ensaladas (lechuga y perejil) o cocidas como la espinaca y la acelga. La lechuga tiene gran cantidad de agua (aproximadamente 95 %) al igual que calcio, hierro y vitaminas como la C, la B₁, B₂ y niacina. La espinaca y la acelga son fuente de vitamina C, vitamina A, calcio y hierro.

2.2.1.4 Raíces

Son alimentos carbohidratados de gran demanda. Entre los principales se tienen a las remolachas, zanahorias, rábanos, nabos, batatas (Astiasarán y Martínez, 2000), (Edmon, 1981), (Yúfera, 1979).

Las zanahorias: (*Daucus carota L. var. sativus DC*) son amarillas, blancas, negras, púrpuras, rojas o anaranjadas (Figura 2.10). Son ricas en carotenos, pero estos forman complejos con las proteínas, lo que dificulta su aprovechamiento, a menos que se triture el vegetal.



ZANAHORIA



REMOLACHA

Figura 2.10 Zanahoria y remolacha

La remolacha: (*Beta vulgaris*) se presenta una variedad usada en mesa para ensaladas (Figura 2.10) y otra variedad usada para la industria azucarera (con valores de sacarosa de 12 a 18 %) especialmente en países donde no se cultiva la caña azucarera (Asadi, 2006), (Edmon, 1981).

2.2.1.5. Retoños

Los espárragos: (*Asparagus officinalis* L.) conocidos ya por los romanos, son tallos tiernos con hojas terminales verdes o blanquecinas (Figura 2.11). El reparto de los componentes varía a lo largo de ellos, los carbohidratos aumentan hacia la base y disminuyen hacia la punta; mientras que las proteínas varían en forma inversa (Astiasarán y Martínez, 2000), (Edmon, 1981).



Figura 2.11 Espárragos

2.2.1.6 Tubérculos

Las patatas: (*Solanum tuberosum*) son originarias de América del Sur y existen en variedades de distintas formas y colores. Durante el desarrollo aumenta el contenido en almidón y disminuye el tamaño de sus gránulos, pero en el almacenamiento el almidón va transformándose en azúcar y luego, por respiración, va oxidándose a CO₂ y agua (perdiendo sólidos). La proteína principal es una globulina (tuberina) y otra la tuberinina. Contiene un glucoalcaloide tóxico, la solanina, que por hidrólisis se transforma en

solanidina, que es espumógena y hemolítica. Los rayos UV aumentan la cantidad de solanina disponible en las patatas (Desrosier, 1983), (Ponce, 2014), (Seymour, 1981).

Otros tubérculos son (Figura 2.12): el melloco (*Ullucus tuberosus*), la mashwa (*Tropaeolum tuberosum*), el aguaturma (*Helianthus tuberosus* o girasol del Brasil), la oca (*Oxalis tuberosa*), con alto contenido de carbohidratos que se transforman, por exposición a la luz solar, en azúcares de bajo peso molecular (Ponce, 2014).



PATATA



AGUATURMA



OCA



MELLOCO



MASHWA

Figura 2.12 Tubérculos andinos

2.2.1.7 Frutos

De varias hortalizas se consumen los frutos, por ejemplo las berenjenas, los pimientos y sobre todo los tomates (Figuras 2.13 y 2.14) (Desrosier, 1983), (Edmon, 1981), (Meyer y Paltrinieri, 1989), (Seymour, 1981), (Yúfera, 1979).

Los pimientos y ajíes: (*Capsicum annuum*) son muy importantes por el alto contenido de vitamina C (266 a 342 [mg/100 g]). La sustancia que le confiere su gusto picante es la capsaicina.



PIMIENTOS



AJÍES

Figura 2.13 Diversos tipos de pimientos y ajíes

Los tomates: (*Solanum lycopersicum*) son de gran consumo tanto frescos (ensaladas o zumos) como procesados (enlatados, salsas, zumos pasteurizados). Con los tomates la genética logró grandes triunfos obteniendo variedades

de diversos tamaños y maduración uniforme, ello permite que sean cosechados mecánicamente. En la Tabla 2.9 se presenta el contenido de algunos constituyentes del tomate.

COMPONENTE	[mg/100 g]
Licopeno	7,85
Caroteno	0,73
Xantofila	0,02
Éster de xantofila	0,10

Tabla 2.9 Componentes del tomate maduro

Adaptado de: Yúfera, E. (1979). Química Agrícola III. Alimentos (Primera edición). España: Editorial Alhambra S.A.



Figura 2.14 Tomates

Cucurbitáceas: entre ellas tenemos el pepino (*Cucumis sativus*), la calabaza (*Cucurbita pepo*), el zapallo (*Cucurbita máxima*), el melón (*Cucumis melo*). Son fuente de vitaminas y sales minerales. Durante el almacenamiento, por efectos de la respiración, pierden sólidos solubles y alcanzan su mayor concentración de azúcares alrededor de los 40 días de maduración (Edmon, 1981), (Parsons, 1983), (Seymour, 1981).

Legumbres: son las semillas de las leguminosas que se consumen de diversas formas: tiernas, frescas, cocidas, desecadas, conservadas en lata o como harina. En algunos casos se consumen también las vainas, cuando aún las semillas están verdes y aquellas carnosas, tal como en el caso de las chauchas (vainas de algunas judías) y las habas. Son objeto de gran demanda los guisantes, judías, lentejas, garbanzos y la soya (Edmon, 1981), (Kay, 1985), (Seymour, 1981).

La soya: (*Glycine max*) proviene del sureste asiático y es muy apreciada por la calidad de sus proteínas. Fructifica en vainas cortas y velludas que contienen de dos a cuatro semillas redondeadas (Figura 2.15) de distintos colores, según la variedad. Se prepara harina de las semillas descascaradas y el *soy bean meal* por molido de las tortas una vez extraído el aceite.

Las proteínas de la soya están constituidas por globulinas: glicinina y phaseolina (probablemente) y dos albúminas: legumenina (predominante) y legumelina. El componente que le sigue en importancia es la grasa, de la cual se obtiene un aceite refinado para el consumo humano. Este aceite, de tipo semisecante, contiene ácidos linoleico (51,5 %), linolénico, oleico (33,4 %), palmítico (6,8 %), lignocérico, araquídico y esteárico (Edmon, 1981), (Seymour, 1981).



Figura 2.15 Granos de soya

Los lípidos comprenden los fosfolípidos lipositol y lecitina. La semilla de soya contiene enzimas de diversos tipos: lipasas, proteasas y un factor antitripsina que debe ser inactivado antes de la ingesta, así como cenizas ricas en fosfato y potasio. Con la soya se prepara una emulsión cremosa blanca, de aspecto y consis-

tencia similares a los de la leche de vaca, conocida como 'leche de soya'. Su composición es variable, dependiendo de la composición del grano empleado (Tabla 2.10), del método, de la cantidad de agua y de la concentración a la que se prepara (Desrosier, 1983).

COMPONENTE	%
Agua	7,65
Proteína	40,65
Grasa	20,38 ^a
Sacarosa	5,26
Hidratos de carbono no aprovechables	18,30
Cenizas	6,08
Fosfátidos	3,08
Almidón	trazas

Tabla 2.10 Composición aproximada de la soya
Adaptado de: Kirk, R. S.; Sawyer, R.; Egan, H. (2003). *Composición y Análisis de Alimentos de Pearson*. España: Editorial Acribia, S.A.

Para preparar la leche de soya se someten los granos a remojo de 10 a 24 [h], se los tritura y al líquido denso lechoso obtenido se le agregan de 2 a 3 volúmenes de agua; se dejan luego actuar las enzimas proteolíticas para que aumente la solubilidad de las proteínas y luego se hierve y se filtra (Desrosier, 1983). A veces se agrega

una pequeña cantidad de extracto de vainilla, leche de vaca, sal o azúcar para mejorar su gusto y olor. La composición promedio de esta leche se encuentra en la Tabla 2.11.

^a La grasa puede subir a 30 % o más.

COMPONENTE	%
Agua	92,00
Lípidos	1,60
Proteína	3,15
Cenizas	0,50
Carbohidratos (por diferencia)	2,75

Tabla 2.11 Composición de la leche de soya

Adaptado de: Desrosier, N. W. (1983). Elementos de Tecnología de Alimentos.
México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.

2.2.2 Frutas

Se llaman así a los frutos de consumo directo de sabor agri dulce o dulce. Comprenden principalmente las bayas, drupas, pepónides, hesperidios, siconos (Alba y Cuéllar, 2008), (Astiasarán y Martínez, 2000), (Davies y Albrigo, 1999), (Edmon, 1981), (Meyer y Paltrinieri, 1989), (Yúfera, 1979). Se conservan generalmente congeladas, desecadas, en jarabes azucarados por enlatado, en forma de jugos y mermeladas (Desrosier, 1983). En la Figura 2.16 se muestran los principales tipos de frutas.

2.2.2.1 Bayas

Son aromáticas, ricas en vitamina C y tienen distribuidas las semillas en el pericarpio carnoso. Comprenden las frambuesas, fresas, grosellas, moras. También pertenecen a este grupo las uvas producidas para consumo directo o para

vinificación. De sus semillas se extrae un aceite comestible rico en vitamina F (ácido linoleico).

2.2.2.2 Cítricos

Son frutas agri dulces de alto contenido en vitamina C y consumidas ampliamente como frutas al natural o jugos. Se extraen de sus cáscaras algunas esencias usadas en perfumería y preparación de licores (por ejemplo las mistelas), y de la cubierta blanca (albedo) se obtiene una sustancia gelificante por excelencia: la pectina. En este grupo tenemos a las naranjas, toronjas, pomelos, limas, limones, mandarinas, entre otros.

2.2.2.3 Drupas

Son frutas de pericarpio carnoso que rodea a una semilla provista de cáscara leñosa. En este grupo se encuentran los duraznos, damascos,

ciruelas, cerezas, guindas. Se consumen frescas o desecadas, en almíbar, mermeladas, jaleas y en néctares.

2.2.2.4 Pepónides

Constituyen frutas grandes de cáscara gruesa, carnosas y con varias semillas ubicadas hacia el centro. Tenemos a los melones (*Cucumis melo*) que tienen alrededor del 10 % de azúcares y son interesantes por el alto contenido en vitamina C, y las sandías (*Citrullus lanatus*) con un 9 % de azúcares, manitol y vitamina C. Las semillas tienen aceite con 68,38 % de vitamina F.

2.2.2.5 Pomáceas

Son frutos formados por ampliación del receptáculo que se torna carnoso y rodea los carpelos. Comprende a las manzanas, peras y membrillos. Las manzanas son frutas de gran consumo al natural y en forma de zumo, mer-

melada, puré o en bebidas alcohólicas como la sidra; de los sobrantes se obtiene la pectina málica. El ácido principal es el L-málico. Las peras (*Pyrus communis* L.) se consumen como fruta de mesa y desecada, también se emplea en la elaboración de la sidra mezclada con la manzana (10 %). Contiene gran cantidad de pectina y ácidos málico y cítrico en cantidades iguales. Los membrillos (*Cydonia oblonga*), de gusto astringente, se consumen principalmente como jaleas y mermeladas debido a que son muy ricos en pectina.

2.2.2.6 Frutos tropicales

Se incluyen entre ellos el avocado o aguacate, la piña, la banana, la granada, el maracuyá, el taxo, la granadilla, los dátiles y los higos (Desrosier, 1983), (Edmon, 1981), (Nagy, 1980), (Seymour, 1981).



FRAMBUESA



NARANJA



MANDARINA



MEMBRILLO



MANZANA



PERA



DURAZNO



MELÓN



BANANA



PIÑA



MARACUYÁ



AGUACATE

Figura 2.16 Frutas tropicales

El aguacate, avocado o palta (*Persea americana mill*) es una fruta grande de cáscara rugosa, color verde o púrpura, a veces muy oscura. El pericarpio es carnosos y aceitoso y la semilla grande. Durante la maduración aumenta principalmente la cantidad de aceite (del 0,5 % llega hasta el 25 % en el fruto maduro) que es comestible. Las bananas comprenden distintas variedades, pero hay dos tipos principales: la *Musa paradisíaca* L., que se consume directamente, y otra de mayor tamaño, la *Musa sapientum* L., que se consume cocida. Se preparan actualmente bananas desecadas enteras y en polvo, incluso liofilizadas y en harina, y también pulpa de banana. La piña (*Ananas comosus* Merr.) es una fruta de amplia demanda que se consume directamente o conservada en rodajas (sin cáscara ni corazón) en almíbar o en zumo. De la cáscara se aísla una enzima proteolítica, la

bromelina, que se emplea como ablandador de carnes y clarificante. Durante la maduración sube la proporción de sacarosa (del 2 al 8 %) y la acidez, mientras que bajan ligeramente los azúcares reductores. Los ácidos principales son el cítrico y el L-málico.

2.2.2.7 Nueces

En estos frutos el pericarpio es leñoso y se comen las semillas (Figura 2.17). Son ricas en aceite poco secante y ligeramente aromático, además poseen alto contenido en vitaminas del grupo B. Comprende las almendras, nueces de nogal, maníes, cocos, nueces del Perú, pistachos (Astiasarán y Martínez, 2000), (Yúfera, 1979).



ALMENDRA



CACAO TOSTADO



NUECES



MANÍ

Figura 2.17 Frutos secos

Existen dos variedades de almendras (*Prunus dulcis*): la dulce que es comestible y la amarga que es tóxica por contener un glucósido cianogénico. Durante la maduración disminuye el contenido acuoso (80 al 28 %) y aumenta notablemente el contenido de aceite. El cacao (*Theobroma cacao L.*) crece en la zona tropical del globo terrestre y es la materia prima princi-

pal para la fabricación del chocolate y la cocoa. Las semillas son sometidas a fermentación en los cacaotales, secándolas posteriormente para que ingresen al mercado con el nombre de almendra de cacao. La composición química del cacao fermentado y desecado se presenta en la Tabla 2.12.

COMPONENTE	%
Agua	6,0
Grasa	50,0
Teobromina	1,6

Almidón	5,0
Albúmina	11,0
Taninos	6,0
Celulosa	11,0
Minerales	3,4
Otras sustancias	6,0

Tabla 2.12 Composición del cacao fermentado

Adaptado de: Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

Desrosier, N. W. (1983). *Elementos de Tecnología de Alimentos*. México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.

Por las regiones en que crece el cacao se divide en tres grupos:

1. Americano (38 % del cacao mundial): Trinidad, Granada, Cuba, Ecuador, entre los principales.
2. Africano (60 %): Accra, Sto. Tomé y otros.
3. Asiático (2 %): Java, Ceilán y otros.

La almendra del cacao debe ser almacenada en condiciones que impidan su deterioro, sobre todo por la *Ephestia elutella* del chocolate, que es una mariposa parecida a una polilla de ropa, de corto ciclo de vida (7 a 14 días) y que deposita hasta 250 huevos de un tamaño menor a 0,3 [mm]. De los huevos salen las larvas que devoran los productos de cacao.

Se conocen dos especies de las nueces del nogal: la marrón o persa (*Juglans regia* L.) que se consume en grandes cantidades y cuando esta verde tiene alta proporción de vitamina C, y la negra (*Juglans nigra* L.) que contiene la proteína juglansina. El maní (*Arachis hypogaea*

L.) es originario de América tropical y se consume en grandes cantidades tostado o como aceite comestible. Las tortas residuales se usan para alimento de animales. Sus proteínas (las globulinas arachina y conarachina) son interesantes para la alimentación humana. La harina, libre de aceite por presión, constituye un buen alimento, pues contiene cuatro veces más proteínas que la de trigo, nueve veces más sustancias minerales y ocho veces más aceite. Las tortas de maní presentan el peligro de las aflatoxinas, provenientes de contaminación por *Aspergillus flavus*. Por otro lado, existen personas que presentan alergia a los componentes del maní, presentando hipersensibilidad que se manifiesta con urticaria, sarpullido, hinchazón facial, rinitis, asma, dolor abdominal, descenso de la presión arterial; y en casos severos, paro cardíaco y asfixia.

Finalmente, el coco (*Cocos nucifera* L.) es otra nuez de consumo directo y su aceite se utiliza especialmente en jabonería. En su maduración se presentan tres etapas: a) acumulación de

azúcar invertido y aminoácidos en la parte líquida o leche, con ausencia de la parte carnosa; b) pérdida de agua con aparición de sacarosa en el líquido y aumento de pulpa que retiene azúcar

reductor; c) se incrementa el aceite y baja la densidad del líquido. La composición aproximada de la grasa de coco se resume en la Tabla 2.13.

COMPONENTE	%
Ácido láurico	45,4
Ácido mirístico	18,0
Ácido palmítico	10,5
Ácido caprícho	8,4
Ácido oleico	7,5
Ácido caprílico	5,4
Ácido hexadecenoico	1,3
Ácido caproico	0,8
Ácido araquídico	0,4

Tabla 2.13 Composición del cacao fermentado

Adaptado de: Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

Charley, H. (2012). *Tecnología de los Alimentos. Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de los Alimentos*. México: Segunda Edición; Editorial Limusa.

2.2.3 Hongos

Los hongos comestibles son especies de Basidiomycetes y Ascomycetes. Existen también variedades tóxicas, por ejemplo, la *Amanita muscaria* y la *Amanita phalloides*. La primera posee el alcaloide tóxico muscarina; mientras que la segunda el péptido α -amanitina. Los hongos comestibles (mushrooms, champiñones) constituyen un amplio grupo de hongos saprófitos sin clorofila. La parte comestible es la que porta las esporas. Comercialmente los más importantes son el *Agaricus campestris* L. y el *Boletus edulis* Bull (muy consumido en Europa). Se incluyen también las Trufas, las Volvaris y otras más (Desrosier, 1983), (Rollán, 2007). Las atmósferas cargadas de CO_2 no son saludables para los hongos. Se desarrollan mejor y se vuelven más compactos en aquellas ricas en oxígeno. El 63 % de su nitrógeno es proteico, los hongos frescos poseen alrededor del 2,5 al 2,7 % de proteína, además bases nitrogenadas como lecitina y adenina. Contienen muchas enzimas, como por ejemplo, las polifenoloxidasas, pirofosfatasa y otras. Actualmente, los hongos constituyen un platillo apreciado (Rollán, 2007).

2.2.4 Algas

Las algas se han utilizado como alimento desde épocas antiguas, particularmente en la cultura japonesa. Asimismo, se explotan algas para obtener productos como el alginato, el agar-agar y otros. Se han usado como alimento tanto las algas microscópicas como las macroscópicas: las primeras se desarrollan como suspensiones en el agua y las segundas lo hacen en las plataformas continentales, donde las mareas las depositan en las playas. Las algas poseen clorofila, por lo que son capaces de producir por fotosíntesis compuestos como glúcidos, lípidos, proteínas y vitaminas. Los principales estudios sobre sus usos en la alimentación se realizaron sobre las algas del género *Chlorella*. Variando las condiciones de crecimiento, se pueden cambiar las proporciones de sus componentes. Se han encontrado sustancias como las clorofilas α y β , el β -caroteno, tiamina, ácido ascórbico y vitamina K (CYTED, 2010).



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa 
Editora

Envase para la industria de **conservas**



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa
Editora

03

3.1 Características de los envases de alimentos

Es importante considerar el envase que se utilizará para cada producto en la industria de alimentos, ya que el material que se use para brindarle protección de agentes externos a los alimentos, afecta ya sea de manera directa o indirecta la calidad de los mismos. Además, en la actualidad toda industria debe considerar el tema de la contaminación que generan los residuos sólidos, principalmente los envases, siendo este un precedente relevante para la aplicación de estos recursos. Para que un envase pueda ser usado como contenedor de un alimento, manteniéndolo idóneo para el consumo, debe cumplir con ciertos requerimientos (Cabalero Abellán, 2018), (Potter y Hotchkiss, 1999):

1. *Ajuste perfecto*: de tal forma que produzca un cierre hermético al aplicar la tapa al cuerpo, con lo cual el contenido quede aislado del ambiente exterior. Para ello las tapas poseen un anillo o cinta de material empatante. Sin embargo, no todos los envases se cierran con tapa, por ejemplo, las fundas plásticas se cierran mediante termosellado y son totalmente herméticas.

2. *Resistencia térmica*: es decir, la capacidad de un envase para resistir variaciones o cambios bruscos de temperatura, como los que se producen cuando el envase y su contenido son sometidos a tratamientos térmicos de calentamiento y enfriamiento durante la esterilización por el calor. Si el material del cual están hechos los envases o sus revestimientos se deteriora por acción de la temperatura, podría verse afectada la hermeticidad o presentarse reacciones indeseables que tendrían como efecto final la alteración del alimento.

3. *Resistencia mecánica*: se refiere a la capacidad de resistir las presiones internas y externas sin que se pierda el correcto ajuste. Cuando se realiza una esterilización térmica en un autoclave, el envase tiene que resistir la presión a la que es expuesta. Inicialmente, la temperatura del alimento es baja y no hay diferencia entre la presión interna y la externa; sin embargo, cuando el envase está en el período de enfriamiento el ambiente externo tiene menor temperatura y presión, por lo que dentro de él habrá una presión interna operando contra las paredes.

4. *Resistencia química*: los componentes del alimento (principalmente los ácidos) o los gases disueltos (como el oxígeno), si se hallasen presentes, no deberían actuar sobre el envase, pues su acción alteraría el alimento pudiendo incluso hacerlo tóxico.

5. *Alta conductividad térmica*: permitirá que se transfiera fácilmente el calor entre el exterior y el alimento, tanto en el calentamiento como en el enfriamiento. Para la esterilización es importante que el producto permanezca corto tiempo a alta temperatura y sufra un brusco enfriamiento para destruir la carga microbiana gracias al shock térmico recibido.

6. *Facilidad de manejo*: se refiere a que los envases no requieran de una manipulación en extremo meticulosa, delicada y cuidadosa, pues este hecho incrementaría considerablemente el costo de producción y el riesgo de daños en el envase.

7. *Ligereza*: significa que deben tener peso reducido, sobre todo por asuntos de transporte y de comercialización.

8. *Bajo costo*: es un aspecto fundamental desde el punto de vista industrial. Si la mayoría de envases son desechables, el consumidor no pagará con agrado un alto costo que ello implique.

Existen en el mercado un sinnúmero de envases que se usan actualmente en alimentos: de hojalata, vidrio, plástico, papel de aluminio, celofán, cartón encerado, entre otros. Ninguno de dichos envases cumple con todos los requerimientos anotados previamente; sin embargo, los de hojalata se ciñen más o menos a todas estas condiciones.

3.2 Envases de vidrio

El vidrio (Krochta, 2007), (Potter y Hotchkiss, 1999), (Rodríguez Peula, 2013) es considerado como uno de los materiales más antiguos empleado para la elaboración de recipientes para alimentos. Debido a su composición química, es inerte a temperatura ambiente frente a los productos químicos que constituyen los alimentos; sin embargo, su desventaja radica en que son demasiado frágiles y pesados a pesar de su gran resistencia. Los envases de vidrio son transparentes o se pueden fabricar con materiales que presentan selectividad a la luz, por ejemplo, el vidrio opalescente que tiene poca transmisión producida por su reflexión y dispersión. Estos envases no se deforman, resisten presiones internas muy altas y soportan pesos verticales. Asimismo, el vidrio no es permeable a gases, humedad, aromas o malos olores.

En los envases de vidrio se utilizan con frecuencia tapas de metal (generalmente de hojalata), tapones de corcho e incluso plástico, pese a que estos últimos no se adaptan muy bien a los tratamientos térmicos. Por consiguiente, la hermeticidad depende en gran medida de la correcta impregnación del material empaquetante en las tapas.

La resistencia térmica y la resistencia mecánica no son precisamente el mejor atributo del vidrio^a. Otras ventajas para el uso de recipientes de vidrio son: en primer lugar, estos envases pueden ser reusables, pues solo se necesita cambiar la tapa luego de un proceso de higienización y desinfección adecuado; en segundo lugar, ciertos productos (mermeladas) que se envasan calientes no requieren esterilización posterior; la hermetización puede ser realizada incluso en forma manual; tercero, pueden mantenerse por un tiempo prudencial en el mismo recipiente aquellos productos que no se consumen totalmente (compotas o mermeladas); cuarto, comercialmente a través del vidrio se expone a la vista del consumidor el producto, lo que hace que sea apetecible.

Con los envases de vidrio la primera cuestión a considerar es si el recipiente debe ser o no recuperable. Por lo general, si las botellas son para el envasado de líquidos de bajo valor, como la leche, bebidas carbonatadas y la cerveza, los que se suelen consumir casi inmediatamente; los envases recuperables son los más indicados y baratos. Ello exige una gran producción o una estandarización de los envases. No sucede lo mismo con productos de alto valor como el whisky o productos donde la reutilización no es factible, como el caso del aceite de oliva. Se debe elegir desde el inicio el envase más idóneo para evitar realizar cambios de formato y estructura de los mismos, lo que resulta muy complicado y costoso (Muñoz Sánchez, 2013), (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Rodríguez Peula, 2013).

^a Existen vidrios de resistencia térmica elevada como el pyrex, pero su elevado costo lo limita como material para envases de alimentos.

3.2.1 Formas y tamaños

Los envases más difundidos en la industria de conservas son cilíndricos, con leves transiciones del fondo al cuerpo y de este al cuello (Figura 3.1). Esta forma garantiza alta estabilidad térmica y solidez mecánica. Tanto los envases de menor tamaño como los botellones soportan bien diferencias térmicas relativamente

bruscas sin quebrarse. El gollete del envase es una circunferencia regular; sin embargo, se tolera una ovalidad que no supere 1 [mm]. Los envases de vidrio se fabrican, generalmente, con un diámetro de gollete variable. La superficie lateral exterior tiene un ligero reborde que asegura un empaquetamiento más firme (Rodríguez Peula, 2013).



Figura 3.1 Diferentes tipos de envases de vidrio

Adaptado de: Rodríguez Peula, M. (2013). *Envasado y Empaquetado de Productos Alimenticios*. España: IC Editorial.

Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

3.2.2 Composición química

El vidrio se define como una solución neutra de silicatos formada mediante calor y fusión, con subsecuente enfriamiento para prevenir la cristalización. Esta solución compleja está constituida principalmente de sílice (SiO_2 : 68 - 73 %), óxido de calcio (CaO : 10 - 13 %) óxido de sodio (Na_2O : 12 - 15 %), alúmina (Al_2O_3 : 1,5 - 2

%) y óxido de hierro (FeO : 0,05 - 0,25 %) (Cruess, 2012). El SiO_2 se puede sustituir con óxido bórico (B_2O_3) para disminuir la temperatura de fusión durante la producción del vidrio. Parte de los silicatos pueden ser reemplazados por borato o fosfato. Los recipientes de vidrio para alimentos consisten en silicatos de sodio y calcio, con pequeñas cantidades de óxido de aluminio

y silicato de bario; eventualmente con boratos. Estos y otros elementos que se incluyen en las mallas que conforman la red de silicatos son denominados modificadores, tales como (Piergiovanni y Limbo, 2010):

1. Fundentes: sodio y potasio.
2. Estabilizantes: calcio y bario.
3. Coadyuvantes.

La dureza del vidrio se incrementa si se incluye en la formulación el óxido de magnesio. Otros compuestos se usan para facilitar el afinado, obtener colores variados (como veremos más adelante) o para ocultar el color verde y conseguir un vidrio incoloro. La sílice se encuentra

en forma de arena fina que tiene entre 96,6 y 99,8 % de SiO_2 , representando alrededor del 80 % de la mezcla. En algunas ocasiones se pueden reemplazar por pequeñas proporciones de óxido bórico (B_2O_3), tal es el caso de los vidrios borosilicatados como el Pyrex, o por pentóxido de fósforo (P_2O_5). Los elementos sodio, calcio, potasio, bario y magnesio se usan bajo la forma de carbonatos; mientras que el aluminio se usa en forma de hidróxido. El porcentaje de sodio, expresado como Na_2O , es del 15 % y el de calcio, expresado como CaO , del 10 %. La Tabla 3.1 y la Tabla 3.2 muestran la composición de Wright y de Phillips, respectivamente, en la manufactura de vidrios para recipientes (Cruess, 2012):

COMPONENTE	%
Sílice	72,70
CaO	10,40
Na_2O	13,60
K_2O	0,40
Al_2O_3	2,00
BaO	0,50
FeO	0,06
SO_3	0,30
F	0,20

Tabla 3.1 Composición de Wright para envases de vidrio

Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

COMPONENTE	%
Sílice	70,4 - 75,0
Alúmina	0,5 - 3,1
CaO	4,6 - 9,7
MgO	0,3 - 4,3
BaO	0,1 - 0,6
Óxidos de Na y K	15,0 - 17,0

Tabla 3.2 Composición de Phillips para envases de vidrio

Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

Evidentemente, el rango en los porcentajes de muchos de los componentes se debe a que los óxidos de metales alcalinos y alcalinotérreos son procedentes de carbonatos no muy puros. Los recipientes modernos se hacen de vidrios más resistentes a los choques térmicos y mecánicos que aquellos de hace varios años, por consiguiente, las botellas y tarros pueden tener ahora menor espesor de pared y ser más livianos. Los metales comunican al vidrio algunas propiedades que pueden ser necesarias o interesantes, por ejemplo, el bario permite obtener un vidrio macizo de alto índice de refracción, el plomo imparte peso y brillo, el zinc le da resistencia térmica, el hierro ferroso brinda una coloración verde y el férrico café oscuro, el cromo le da un tono verdoso y el óxido de manganeso le pinta de rosado, el cobalto de azul y el sulfuro de cadmio de amarillo; en tanto que el carbón

le da un matiz ámbar (Piergiovanni y Limbo, 2010).

3.2.3 Propiedades del vidrio

A pesar de su consistencia, el vidrio no es una sustancia sólida, sino un fluido de alta viscosidad, en el cual no se observa ni punto de fusión ni de solidificación (estado denominado 'estado vítreo') y su fluidez varía con la temperatura. En teoría, dependiendo de la fuerza de los enlaces interatómicos, el vidrio debería poseer gran resistencia mecánica, pues si la resistencia frente a la compresión es relativamente alta, no lo es en comparación a la tracción. Esto ha conducido a varias investigaciones referentes a las fracturas, concluyendo que el vidrio siempre se rompe bajo los esfuerzos de tracción y aparentemente las fracturas se originan en la superficie del vidrio en espacios donde una pequeña

imperfección o ralladura mínima crean puntos críticos, donde la fractura se inicia y a partir de la cual se propaga (Caballero Abellán, 2018), (Cruess, 2012), (Ostrovski, 1980), (Piergiorgio y Limbo, 2010). Además de la mínima resistencia a los choques mecánicos, también posee sensibilidad a los choques térmicos y tiene una conductividad térmica 30 veces más baja que la del hierro. Estas dos características parecen ser en gran parte contradictorias, ya que para aumentar la resistencia mecánica se debe aumentar su espesor, con lo que se reduce la transmisión de calor y aumenta igualmente el peso (constituyendo otra deficiencia). Una propiedad interesante del vidrio llamado 'blanco' es la transparencia, ventaja que le permite una mejor presentación de los productos; aunque resulta un inconveniente para alimentos sensibles a la luz (aceite de oliva o cerveza). Para estos alimentos se usan vidrios coloreados (Muñoz Sánchez, 2013), (Piergiorgio y Limbo, 2010), (Rodríguez Peula, 2013).

3.2.4 Manejo del recipiente

Se debe exigir la mejor calidad al fabricante de envases, pero también controlar y minimizar las roturas por tensiones durante el envasado, manipulación, almacenamiento y transporte. Deben considerarse las fuerzas que actúan sobre los envases en cada subproceso, tales como los choques térmicos, mecánicos, presiones internas y pesos verticales. Para ello es evidente que se deben medir ciertos parámetros, tales como volumen del contenido, temperaturas, presiones y el espacio de cabeza. En consecuencia, es muy importante tener presente los siguientes aspectos (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Madrid, Genzano y Vicente, 1994):

1. El estado de la superficie del vidrio y su influencia en la resistencia a la rotura.
2. La dimensión del recipiente (grosor y distribución), ya que se encuentra relacionada con la cantidad de tensiones que se desarrollarán en determinada zona del recipiente al someterlo a una fuerza específica.
3. Manejabilidad del envase, que es influida por la clase y cantidad del producto que contiene, que en parte determina la fuerza y el tiempo en que actuarán las fuerzas en las distintas partes del recipiente.

La elaboración de un diagrama de control eficiente para la cadena de envasado y una demostración minuciosa de todas las roturas dará referencia si las precauciones tomadas han tenido éxito. Por ejemplo, se comprobará si las roturas se produjeron (Piergiorgio y Limbo, 2010), (Rodríguez Peula, 2013):

1. Durante el desembalado.
2. Previo al lavado.
3. Posterior al lavado.
4. Posterior al llenado y cerrado.
5. Después del evacuado.
6. Después del etiquetado.
7. Durante la colocación en las cajas.
8. Durante el transporte.
9. En el almacén.

La rotura de un recipiente vacío no involucra más que la pérdida de su valor. Pero la rotura de un envase lleno en la cadena de envasado provoca mayores complicaciones, ya que exige la limpieza de la máquina y las cintas transportadoras, con lo que reduce el rendimiento de la misma.

3.2.5 Resistencia del vidrio

Antes de optar por la utilización de envases de vidrio se deben considerar las siguientes propiedades (Rodríguez Peula, 2013):

1. Es quebradizo, por lo que se rompe súbitamente sin sufrir ninguna deformación temporal o permanente.
2. La consecuencia de la rotura se debe a un estrés causado por las fuerzas de tensión y nunca por las de compresión.
3. Para la rotura del vidrio se considera la fuerza teórica, que se puede calcular tomando en cuenta la fuerza de sus enlaces químicos. Estos cálculos indican que esta fuerza debe superar los 100000 [kg/cm²]. En la práctica la resistencia de los envases de vidrio es de 200 a 1000 [kg/cm²].
4. Las fracturas del vidrio siempre se originan en la superficie y se propagan hacia el interior.

3.2.6 Fabricación de vidrio para envases

3.2.6.1 La mezcla

Los elementos alcalinotérreos usados en el vidrio, como ya se indicó, provienen de carbonatos, tales como cenizas sódicas (carbonato de sodio), piedra caliza (carbonato de calcio) y en algunos casos el calcio se obtiene de la cal viva (óxido de calcio); mientras que los otros componentes como la sílice y el aluminio se obtienen del caolín, de la alúmina hidratada o del feldespato, así como la arena de sílice que es esencialmente dióxido de silicio. La proporción de cada materia prima requerida para la mezcla es calculada cuidadosamente. Un ingrediente muy importante es el vidrio triturado, que proviene de recipientes deteriorados o de segunda mano. Phillips estableció que este material puede constituir hasta el 75 % de la mezcla, pero

se debe usar como mínimo el 50 %. Las materias primas son usualmente almacenadas en grandes contenedores, de los cuales son transportados por bandas automáticas, en líneas separadas, hasta el mezclador (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Rodríguez Peula, 2013). El mezclador es accionado a motor y puede ser tipo barril o marmita, los ingredientes se mezclan por 4 [min] (en la mayoría de los casos) pero puede prolongarse el mezclado hasta por 15 [min] cuando están presentes óxidos de bario y de zinc. Posteriormente, la mezcla es transportada a los hornos de fusión.

3.2.6.2 Fusibilidad de los materiales

La fusión se refiere al proceso térmico en el que un material sólido se convierte en fase líquida. Para este proceso, el material sólido debe alcanzar la temperatura de fusión que es aquella en la que las dos fases se encuentran en equilibrio (Castells, 2012). En consecuencia, la carga proveniente del mezclador se coloca en un horno con la ayuda de una tolva. El horno es un tanque profundo de aproximadamente 10 [m] de largo por 5 [m] de ancho, recubierto de ladrillo refractario para soportar las altas temperaturas. El ladrillo refractario es el responsable de algunos defectos del vidrio, pues su recubrimiento va gradualmente disolviéndose en la masa vítrea a través del tiempo. Existe un considerable número de refractarios ácidos, básicos y neutros, pero siempre se desgastan por erosión y corrosión. De hecho, además del efecto de la alta temperatura, durante la fusión, se desarrollan procesos de descomposición o combinación química, difusión y disolución. El horno está constituido por una primera sección donde se realiza la fusión y el afinado de las materias primas entre 1500 - 1600 [°C]. El afinado se refiere a la homogeneización debida a las corrientes convectivas que se originan por

las diferencias de temperaturas entre los diversos puntos de la masa líquida. En la segunda sección del horno, el vidrio se deja en reposo hasta que su temperatura desciende hasta 1000 - 1200 [°C], luego pasa a un compartimiento en forma semicircular del cual se distribuyen a los canales que alimentan las máquinas. La alimentación de las máquinas se realiza por pistones que aspiran el vidrio en el volumen adecuado para una pieza, expulsándola a continuación sobre el molde. Se debe tener en cuenta que la medida de la cantidad de vidrio es volumétrica, conociéndose industrialmente como 'gota' a la masa de vidrio utilizado para una pieza (Figura 3.2). Una vez que el pistón expulsa la gota es cortado al ras del orificio y cae en el molde (Cruess, 2012), (Muñoz Sánchez, 2013), (Rodríguez Peula, 2013).



Figura 3.2 Formación de botellas de vidrio por soplado

Adaptado de: Rodríguez Peula, M. (2013). *Envasado y Empaquetado de Productos Alimenticios*. España: IC Editorial.

Los principales factores que afectan la fusibilidad del vidrio son (Castells, 2012):

- La sustitución de la conformación tetraédrica (silice) por otra triangular (óxido bórico). La excesiva presencia de SiO_2 (materia prima principal) contribuye en el aumento del punto de fusión
- Variación de la relación oxígeno/silicio: mayor proporción de oxígeno provoca un descenso de la temperatura de fusión
- Sustitución del SiO_2 por óxidos co-formadores de retículo, por ejemplo, TiO_2 o Al_2O_3 . Estos compuestos co-formadores por sí solos no tienen la capacidad de formar vidrio
- Tamaño del catión: con cationes pequeños se logra un vidrio menos viscoso, por lo que se prefiere el uso del sodio.

3.2.6.3 Formación de los envases

Uno de los métodos de formación de botellas u otros envases consiste en poner el vidrio fundido en un gran tambor giratorio del cual es succionado hacia los moldes metálicos de una máquina formadora que gira rápidamente. Otro procedimiento, quizás más común, consiste en hacer fluir el vidrio fundido dentro de alimentadores mecánicos los cuales lanzan gotas de vidrio de un volumen exactamente medido y consistencia adecuada a moldes huecos en los cuales se sopla aire comprimido para impartirle la forma deseada (Figura 3.2). Durante este breve intervalo el vidrio se endurece lo suficiente para permitir extraer el envase sin que se deforme o se doble. El envase aún caliente y rojo es depositado delicadamente en un transportador que lo conduce a la estufa (Muñoz Sánchez, 2013), (Rodríguez Peula, 2013).

3.2.6.4 Recocido o templado

Constituye uno de los pasos más importantes en la manufactura de envases de vidrio para conservas, pues de ello depende en alto grado la resistencia a la ruptura durante el enfriamiento y a la ruptura mecánica por manipulación. Al removerse del molde final, algunas partes de los envases estarán más calientes que otras y existirá una gradiente de temperatura entre la superficie y el interior. Si se enfría simplemente a la temperatura del cuarto, algunas partes del envase quedarán con tensiones y serán susceptibles de ruptura, por tal motivo se debe realizar el recocido. Este proceso se realiza recalentando los recipientes a una temperatura constante (cerca de los 540 [°C]) y manteniéndolos por unos pocos minutos hasta que el vidrio tenga una temperatura uniforme y esté libre de tensiones (Cruess, 2012), (Piergiovanni y Limbo, 2010). A la temperatura de recocido, el vidrio está en un estado de blandura tal que las tensiones decrecen casi en forma instantánea. El punto más bajo de recocido se llama 'punto de tensión', por debajo del cual el vidrio puede ser enfriado rápidamente sin que se produzca una tensión permanente. Además de las tensiones que pueden presentar los envases, si el recocido no fuera adecuado, existen otros defectos frecuentes como burbujas y estrías debidas a gases no eliminados (Muñoz Sánchez, 2013), (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Rodríguez Peula, 2013).

3.2.7 Tapas para envases de vidrio

Existe gran variedad de cierres para envases de vidrio, cada uno adaptable a una determinada boca o apertura. Para tapar los envases se utilizan tapas de dimensiones apropiadas, sea de hojalata o de aluminio barnizada, corcho y en ciertos casos de diversos materiales plásticos. Cada tapa está provista de un anillo de

mastique que sirve de junta entre la tapa y el gollete del envase y garantiza la hermeticidad. Las capacidades de los envases van desde 125 [mL] hasta 10 [L] (Alba y Cuéllar, 2008), (Cheftel, Cheftel, et al., 1989). Existen otros envases, como los que se utilizan para jugos de frutas, que son botellas ordinarias de cuello estrecho y se llenan con volúmenes mayores a los 750 [mL] y se cierran con tapas de rosca o tipo *twist off* (como las usadas para salsas). También existen los recipientes con tapas de ajuste a presión como los usados en mermeladas. Finalmente, podemos citar los frascos con tapas de lámina metálica termosellable, usados sobre todo en productos deshidratados (Alba y Cuéllar, 2008), (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Cruess, 2012).

Las tapas metálicas llevan en el interior una junta para asegurar la hermeticidad del cierre, la cual es aplicada en estado sólido o inyectada en forma líquida sobre el sitio de uso. La junta tiene forma de disco para el caso de recipientes de diámetros pequeños (tapones para botellas de agua mineral o cerveza) y forma de anillo para frascos de diámetros mayores (frascos para mermeladas y confituras). Se emplea la hojalata y chapa negra cuando el tapón debe resistir una presión interior, tal es el caso de las bebidas gaseosas y cervezas que se tratan térmicamente con el recipiente cerrado. Por otro lado, el aluminio se usa principalmente para botellas de agua mineral sin gas, leches y recipientes de yogurt (Alba y Cuéllar, 2008), (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Cruess, 2012); mientras que las tapas de material plástico son empleados para recipientes donde existe o no presión dentro de él. Las principales características que deben poseer las tapas son (Muñoz Sánchez, 2013), (Potter y Hotchkiss, 1999), (Rodríguez Peula, 2013):

1. Deben ser impermeables a la entrada o salida de materiales sólidos, líquidos o gaseosos del recipiente.
2. El material de constitución del mismo no debe desprender aromas extraños, por lo que se debe elegir el material más idóneo e inerte para su elaboración.
3. Debe abrir fácilmente y en muchas ocasiones es primordial que pueda volverse a cerrar después de abierto.
4. Debe tener un diseño tal que mejore la apariencia del producto al consumidor.

Con respecto a las fugas, se pueden producir a través del material del tapón, el cierre o por la línea de contacto entre el envase y el cierre. Un cierre se considerará hermético solo si la junta se encuentra totalmente comprimida. Uno de los puntos primordiales en la fabricación de recipientes de vidrio es conseguir que el cierre mantenga dimensiones y tolerancias adecuadas, así como una resistencia perfecta (Alba y Cuéllar, 2008), (Potter y Hotchkiss, 1999). Con el fin de obtener un grado de compresión deseado sobre el material de la junta, se precisa aplicar un peso vertical sobre la misma. Tal peso se consigue directamente por la rosca del tapón o por la grapa de cierre. La mejor técnica se lleva a cabo combinando un peso vertical

que comprime la junta con el efecto de la grapa del cierre o de la rosca (según el tipo de cierre empleado), manteniéndola en esta posición. Este procedimiento de pesos verticales origina grandes tensiones en determinadas partes del recipiente, por lo que es necesario considerarlo al fabricar los envases. Si se emplea la presión originada por la rosca o por cierres similares para comprimir la junta, se producen igualmente grandes tensiones en la superficie del vidrio. Por esta razón, para que la apertura de la tapa no implique dificultad, el paso de rosca debe poseer una altura adecuada. La fuerza utilizada para desenroscar la tapa debe ser inferior a la requerida para enroscarla (Alba y Cuéllar, 2008), (Cruess, 2012), (Potter y Hotchkiss, 1999).

3.2.7.1 Tipos de cierre

Existe una gran variedad de cierres cuyo uso depende de la región en la que se utiliza, recurriéndose en la mayoría de los casos a los catálogos de los principales fabricantes para obtener información más detallada de todos y cada uno de las tapas disponibles para cierre (Potter y Hotchkiss, 1999), (Rodríguez Peula, 2013).



Figura 3.3 Diversos tipos de cierre en envases de vidrio

Adaptado de: Rodríguez Peula, M. (2013). *Envasado y Empaquetado de Productos Alimenticios*. España: IC Editorial.

La Figura 3.3 muestra algunos de los tipos de cierre en envases de vidrio, de entre los cuales se destacan (Rodríguez Peula, 2013):

a. Cierres a presión normal

1. Tapón normal de corcho: es de corte recto o inclinado y tiene a veces la parte superior de mayor diámetro o con piezas de madera o plástico embutidas.
2. Tapón de rosca a prueba de robos del contenido: su recubrimiento interno está comprimido por una presión vertical. La rosca se forma por la presión íntima con los relieves de la rosca del recipiente. El dispositivo posee un anillo que se rompe al desenroscar.
3. Tapón de aluminio sin recubrimiento interno: se emplea comúnmente para botellas de leche.
4. Tapón metálico a rosca.

b. Cierres a vacío

5. Cierres de media vuelta en lugar de rosca (*Twist Off*): están constituidos por medias ranuras de gran paso de rosca.

c. Cierres a presión.

6. Tapón tipo corona: es el cierre más importante para soportar presiones internas y es el más generalizado para las botellas de cerveza y agua mineral carbonatada. Se coloca a presión y se abre con ayuda de un abrebotellas. Está confeccionado en hojalata con un recubrimiento interno de plástico que forma parte del cuerpo de la tapa.
7. Alfa Cap: está fabricado en aluminio con un recubrimiento interno de plástico o papel aluminio. El tapón está dotado de una lengüeta para poder abrirlo a mano prescindiendo del abridor.

8. Tapón exterior a rosca con múltiples ranuras.

También se puede citar el tipo de cierre que funciona bajo vacío. En este tipo de cierre la junta es comprimida contra la superficie de la boca del recipiente por la diferencia de presiones entre la ambiental del exterior y el vacío del interior del mismo. Ciertos cierres a vacío funcionan también a modo de válvulas, permitiendo escapar el aire o el vapor cuando la presión del interior sea mayor a la externa, cerrándose nuevamente al restablecerse la diferencia de presiones. Algunas clases de cierre son dobles, por ejemplo, la combinación del cierre a presión (*Snap-Cap*) con un sistema de sellado o tapón roscado (*Screw-Cap*) con un dispositivo del mismo tipo, o bien el cierre de los de tipo de membrana pegada a la boca del recipiente y un precinto para su protección (*Pry-Off*). El tipo de cierre doble es cada vez más importante cuando se requiere una vida útil más prolongada. El papel aluminio recubierto es muy usado en almacenamientos prolongados (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Piergiovanni y Limbo, 2010).

Los de tipo *Pry-Off* o cápsula *White Cap* se mantienen en su lugar de cierre únicamente por la acción de la presión ambiental frente al vacío que existe en el interior del frasco. El cierre *Twist Off* a su vez se mantiene debido al vacío existente en el recipiente, el que se abre con un ligero giro del tapón. Estas dos clases de tapones exigen recipientes de vidrio con medidas exactas, puesto que es la única manera de asegurar la hermeticidad. Exigen además que el vacío interior sea el apropiado, debido a que en presencia de una presión interna el tapón se abre, igual consideración se toma al realizar una pasteurización o tratamiento térmico, en donde se debe aplicar una contrapresión para equiparar la presión interna originada (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Piergiovanni y Limbo, 2010).

En la actualidad existe una tendencia marcada hacia los cierres de fácil apertura, es decir, para los cuales no se precisa ningún utensilio específico. Esta tendencia es notoria especialmente en las fábricas de cerveza, donde se están reemplazando los tapones tipo *Corona* por los *Twist-Off Crown* o los *Roll-On Pilferproof Caps*. Comúnmente los tapones suelen utilizarse una sola vez (no recuperables). Sin embargo, existen sistemas de cierre del tipo *Multi-Strip*, entre los cuales los más conocidos son el *Lightening Stopper*, el *Internal Screw Stopper* (tapón de rosca interna) y el *External Screw Cap* (tapón de rosca externa comúnmente empleado para botellas de agua mineral). Para el consumidor estos tipos de cierres resultan útiles, especialmente para botellas de gran volumen de producto y que se consumen paulatinamente, debido a que el mismo tapón suele ser utilizado repetidamente (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Piergiovanni y Limbo, 2010).

3.3 Envases de hojalata

Entre los recipientes de uso generalizado para alimentos están los de hojalata (Figura 3.4), porque responden ampliamente al menos a seis de los requerimientos anotados al inicio, incluso con recubrimientos adecuados responden muy bien a la inalterabilidad química. El envase de hojalata cuenta con una estructura estratificada que consiste en una delgada chapa de acero recubierta por ambas caras de estaño y usualmente está laqueada. Este tipo de envase es, sin duda, el de uso más generalizado para productos esterilizados, estimándose su consumo entre el 80 y 90 % de los envases utilizados por la industria conservera (Charley, 2012), (Krochta, 2007), (Pini, 2009). Este predominio es consecuencia de un conjunto de propieda-

des que no reúnen otros tipos de envases. La hojalata presenta una excelente combinación de características como rigidez (brindada por el corrugado), maleabilidad, buena conductividad térmica, resistencia al choque térmico y buena

resistencia química a la mayor parte de constituyentes de los alimentos, como resultado del recubrimiento de estaño o del barnizado (Caballero Abellán, 2018), (Hersom y Hulland, 1981), (Madrid et al., 1994).



Figura 3.4 Diferentes tipos de latas de uso en la industria de conservas

Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

La hojalata está constituida por cinco capas, cada una de las cuales tiene diferente función:

1. Acero base: La capa central. Su misión en la hojalata es conferirle una resistencia mecánica difícil de conseguir por otro tipo de materiales. El acero empleado puede ser

de varias calidades y el espesor suele variar entre 0,13 [mm] y 0,5 [mm] de la hojalata de doble reducción. El tipo de acero influye en la corrosión, acelerándola o retardándola en función de los elementos de aleación que contenga y de la forma de cristalización.

2. Aleación hierro-estaño: constituida por el compuesto intermetálico Fe-Sn_2 . Por sus características electroquímicas actúa como barrera contra la corrosión. Para su efectivo comportamiento, es importante la continuidad más que la cantidad.

3. Estaño metálico: el estaño tiene innumerables ventajas, las cuales han hecho del mismo el elemento más importante en la protección del acero usado para envases. Actúa como barrera contra la corrosión, ayuda a la soldabilidad, es una excelente base para litografiar y aplicar lacas. Con alimentos desestañadores actúa como elemento de sacrificio.

4. Película de pasivación: permite, según su naturaleza, mejorar la resistencia de la hojalata a la sulfuración, a la oxidación y la herrumbre. También acondiciona la adherencia de los barnices, tintas y lacas.

5. Película de aceite: protege la lámina de la humedad del aire y facilita su manejo. Es aplicada por un aceitador electrostático en ambas caras de la hoja.

3.3.1 Formatos y tamaños

Las latas se fabrican en una gran variedad de formas y tamaños (Figura 3.4), tales como las cilíndricas, ovales o paralelepípedos (cuadrangulares). Han sido desarrolladas unas veces por costumbre, otras por el material a enlatar y también por las necesidades del consumidor. No obstante, ciertos tamaños son más comunes que otros. La Tabla 3.3 muestra las características de algunos de los tipos de envases de hojalata más usados (la nomenclatura corresponde a la norteamericana). Entre ellos cabe destacar el No. 300 para enlatar arveja o maíz tierno, el No. 2 para frutas en jarabe, el 6Z en la que se envasa la sardina en pedazos finos (tinapa) o la pasta de tomate, el atún en el 307×111 , la sardina entera o la macarela en la oval $605 \times 405 \times 111$. La designación D x H indica el diámetro de la boca del envase y su altura expresados ambos en pulgadas el primer dígito y los dos restantes en decimosextas partes de pulgada, que dan la dimensión total. Así por ejemplo: 301 indica que son 3 [in] y $1/16$ [in] (Hayes, 1992), (Hersom y Hulland, 1981).

NOMBRE COMÚN	DESIGNACIÓN D x H	CAPACIDAD [cm ³]
6Z mushroom	202x204	90
6Z	202x308	148
4Z mushroom	211x212	184
8Z short	211x300	198
8Z tall	211x304	220
No. 1 picnic	211x400	269

No. 211 cylinder	211x414	340
Pint Olive	211x600	425
4Z pimienta	300x108	106
7Z pimienta	300x206	191
8Z mushroom	300x400	340
No. 300	300x407	383
No. 303	303x406	452
No. 1 tall	301x411	425
303 cylinder	303x509	538
No. 2	307x409	510
No. 2 cylinder	307x512	652
No. 2 tall	307x604	737
Quart Olive	307x704	850
No. 2½	401x411	737
No. 3 cylinder	404x700	850
No. 5	502x510	1474
No. 10	603x700	2721

Tabla 3.3 Tamaños y capacidades de envases de hojalata

Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.
Hayes, G. D. (1992). *Manual de Datos para Ingeniería de los Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.

3.3.2 Composición química

El acero usado en la fabricación de las latas debe ser de bajo contenido en carbono. Por lo general, la materia prima consiste en desechos de carrocerías de automóviles o de retazos de maquinaria de cualquier tipo, por lo que el acero resultante puede contener pequeñas cantidades de cobre y trazas de otros metales. El

níquel, cromo y cobre muy raramente son producto de una adición intencional, pero pueden integrarse fortuitamente a los lingotes cuando se usan pedazos de acero que los contienen (Cruess, 2012), (Pini, 2009). Los aceros que se producen son especiales, siendo uno de los más conocidos el tipo L o de Flandes, usado en láminas para latas que contendrán productos

corrosivos como moras, ciruelas y ciertos jugos. Este acero es bajo en contenido de silicio, fósforo y azufre. La composición máxima del tipo L pueden llegar hasta 0,12 % de carbono,

0,05 % de azufre y 0,02 % de fósforo. La ACC (American Can Company) ha dado composiciones usuales para la lámina tipo L y la lámina al Coke (Tabla 3.4).

COMPONENTE %	tipo L	al Coke
Carbono	0,067	0,100
Manganeso	0,370	0,350
Azufre	0,032	0,040
Fósforo	0,004	0,012
Silicio	0,003	0,005

Tabla 3.4 Composición de lámina de hojalata

Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

3.3.3 Corrosión de la hojalata

Un defecto de los envases de hojalata es que no siempre resisten a la acción corrosiva de los componentes de las distintas conservas. La hojalata no es totalmente estable frente a los alimentos y, durante el almacenamiento, se producen una serie de fenómenos de corrosión cuya intensidad depende, entre otras causas, de las condiciones fisicoquímicas de la interfase metal-producto (Moros, 2002), (Pini, 2009). Los principales factores que afectan la disolución del estaño en el interior de los envases de alimentos son el pH del electrolito, la estabilidad del óxido pasivante y la presencia de ácidos carboxílicos como el cítrico, tartárico y oxálico; causando que el estaño ionizado forme

diversos tipos de complejos. El potencial de corrosión del estaño se vuelve más activo que el del acero en presencia de estos agentes complejantes fuertes, por lo que se invierte la cupla electroquímica acero-Sn. Un factor adicional e importante es la presencia de agentes oxidantes en el medio de reacción. La corrosión impacta directamente sobre el tiempo de vida útil de la conserva, provocando perforación de los envases o incluso abombamiento como consecuencia de la formación de hidrógeno (Charley, 2012), (Pini, 2009). Desde que se inicia la corrosión, se incorporan al alimento metales como Sn o Fe, generando toxicidad en el producto. Por esta razón, para mantener la correcta presentación del envase y cumplir las exigencias

de calidad tanto del consumidor como de organismos competentes como el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) en el caso del Ecuador, es necesario reducir al mínimo la incorporación de iones metálicos al alimento.

3.3.3.1 Mecanismos de la corrosión de la hojalata

En toda superficie metálica en contacto con un medio electrolítico, se desarrollan fenómenos de corrosión por corrientes electrónicas que fluyen entre los metales y la solución. Siempre que dos metales distintos están en presencia de un medio electrolítico, se conforma una pila química, con procesos de oxidación del metal de menor potencial electroquímico (y su disolución) y de reducción del de mayor potencial. La velocidad y dirección de la corrosión están determinadas por las reacciones electroquímicas de los metales y sus características de polarización en el medio electrolítico. Los fenómenos de corrosión de metales tienen una enorme importancia, no solo en la industria de alimentos sino en todas las industrias que deben luchar contra sus perjuicios, especialmente en los metales ferrosos (Cruess, 2012), (Ostrovski, 1980). Los fenómenos de naturaleza electroquímica, similares a los que intervienen en el funcionamiento de las pilas eléctricas, son por lo general los responsables de la corrosión. Esto sucede particularmente en la hojalata estañada, debido a la combinación hierro-estaño, por eso, para su uso en alimentos se deben tomar en cuenta algunos factores. Uno de dichos factores, y posiblemente el más importante, es sin duda la acidez del producto. Aunque se ha observado que las conservas más corrosivas no son precisamente de las frutas más ácidas, el estudio de corrosión de la hojalata por los ácidos orgánicos ha demostrado su influencia. Si bien el valor de la acidez no es en sí mismo un parámetro

absoluto, las diferencias de comportamiento entre una fruta y otra parecen debidas más que a la acidez, a la presencia de sustancias inhibidoras de la corrosión (Ostrovski, 1980).

La presencia del aire, debido al oxígeno, promueve y acelera la corrosión, y es uno de los motivos por los cuales se hace necesario el evacuado del envase antes del cierre. El calor, que en general incrementa la velocidad de las reacciones químicas, también influye en la corrosión, por este motivo las latas se deben almacenar en ambientes frescos y sin muchas variaciones térmicas. La presencia de sustancias capaces de fijar estaño, como el azufre en frutas muy ácidas, es otro factor que se podría mencionar. Para eliminar este inconveniente se reviste la superficie interna de la hojalata con una capa de barniz apropiada. Sin embargo, los barnices inapropiados o los depósitos de barniz imperfectos podrían ser causa de corrosión. Se ha comprobado que la combinación de estaño y barniz da excelentes resultados para productos ácidos como ensaladas de frutas, jugos y similares. De hecho, la capa de barniz en jugos de naranja o toronja se mantiene sin alteración por un período de 3 años, aproximadamente (Ostrovski, 1980).

La lámina estañada electrolíticamente (que se usa con frecuencia) debería ser barnizada para el envasado de frutas y otros productos corrosivos. No obstante, debemos indicar que algunas latas presentan mayor tendencia a corroerse que otras. Las operaciones realizadas en el electroestañado no dan el mismo resultado que el acidulado en caliente y otros tratamientos a los cuales están sujetas las láminas en el proceso de inmersión. Sin embargo, el electroplateado ha sido considerablemente mejorado en lo que respecta a la resistencia a la corrosión, a pesar de ello, los electroplateados usados en

los cuerpos de envases para alimentos corrosivos deben ser barnizados (Cruess, 2012).

3.3.4 Formación de planchas de hojalata

Macnaughton y Hedges describieron la manufactura original de la hojalata estañada en Sajonia, en la cual hablan del uso de las barras de hierro como materia prima, las que por un proceso de laminado manual eran reducidas a hojas delgadas. Más adelante un cierto número de estas hojas eran laminadas en fardo. La capa de óxido superficial se la removía frotando con arena, seguido de una inmersión en líquidos acidificados por fermentación. Es probable que se deba a esta forma de desoxidar el nombre de pickling aplicado al tratamiento ácido de las láminas. El mineral de hierro, que en Sajonia era reducido por tratamiento con carbón, en Inglaterra lo fue con el empleo del coke. Asimismo, el laminado manual con el uso del martillo y yunque fue reemplazado por un sistema de laminado con rodillos mecánicos. Durante el siglo XIX, el ácido sulfúrico reemplazó a los líquidos fermentados en el pickling y el hierro fue desplazado por el acero. Finalmente, se introdujeron métodos especiales para el recocido de las láminas (Ostrovski, 1980), (Hersom y Hulland, 1981).

3.3.4.1 Laminado en caliente

Antiguamente las láminas de acero para usarlas en latas eran hechas únicamente por un proceso de laminado (rodillado) en caliente de los lingotes de acero, para producir así hojas finas apropiadas para el estañado posterior. En la actualidad las láminas de acero se obtienen por una reducción o laminado en frío, es decir, no es que el proceso en caliente haya sido suprimido, sino que las láminas que han sido obtenidas por laminado en caliente sufren a continuación un segundo laminado en frío, con lo cual se ob-

tienen espesores de lámina bastante menores (Pini, 2009). Los lingotes (hechos en moldes especiales) y con un peso superior a 11340 [kg] (25000 [lb]) cada uno, al solidificar (pero aún calientes) son convertidos por acción de los rodillos de un molino prensa en planchas y luego recortados. Una plancha de este tipo tiene cerca de 76 [cm] de ancho, 5 [m] de largo y un espesor de 19 [cm], dando un peso total de 907,2 [kg] (aproximadamente 2000 [lb]).

Todas las planchas son limpiadas por flameado para remover defectos superficiales. La plancha es calentada hasta 1200 [°C] y luego se pasa repetidas veces a través de rodillos bastos en serie y otros de afinado, con lo que se reduce el espesor y se alarga. Los rangos de espesor final varían de 0,165 a 0,254 [cm]. Las velocidades de los distintos rodillos están perfectamente sincronizadas y ajustadas para producir el alargamiento deseado de la lámina. La capa de óxido de hierro se remueve mediante rompe costras, con vapor a alta presión y pulverizadores de agua. Una vez que abandona los rodillos, la cinta es enrollada (Madrid et al., 1994), (Ostrovski, 1980).

3.3.4.2 Acidulados de hoja negra

Los rollos de la lámina obtenida (rollos de hoja negra) son desenrollados y sus extremos se sueldan a los de otras hojas para obtener más de cien metros de longitud. Posteriormente, pasan a través de una serie de tanques largos que contienen ácido sulfúrico para remover el óxido de hierro y después se lavan con pulverizadores de agua. La cinta limpia se seca, se cubre con aceite de palma y se enrolla. El aceite evitará el enmohecimiento y oxidación, y servirá como lubricante durante el laminado en frío (Ostrovski, 1980).

3.3.4.3 Laminado en frío

La cinta negra es laminada en frío al pasarla a través de rodillos en cuatro o cinco estructuras en tándem. Durante el paso de una a otra estructura, se aplica aceite de palma para ayudar en la reducción y prevenir un indebido calentamiento. Se necesitará enfriar el acero conforme los rodillos tiendan a incrementar su temperatura. El espesor final de la lámina variará de acuerdo al uso al cual se le destine, pudiendo oscilar entre 0,24 y 0,35 [mm]. Actualmente se están produciendo envases de espesor cada vez menor, llegando a obtenerse espesores de hasta 0,18 y 0,16 [mm], lo que constituye un ahorro de metal y comodidad de apertura. El lubricante residual de la lámina se elimina pasando la cinta por un baño alcalino o realizando un desengrasado electrolítico, puesto que el aceite se carbonizaría durante el recocido. Al igual que el laminado en caliente, los rodillos operan a gran velocidad y la lámina viaja a unos 90 [km/h] o más hacia el final del proceso de enrollado. Los rollos obtenidos son grandes y llegan a pesar aproximadamente 14 [t] (Ostrovski, 1980).

3.3.4.4 Recocido

Las láminas deben ser recocidas mediante un tratamiento térmico especial, de tal forma de ablandarlas y remover tensiones inducidas durante el laminado en frío. Aquí, los rollos son colocados en una caja de metal y lentamente calentados por varias horas a 650 [°C]. Meneilly indicó que la caja debe ser evacuada para que exista la menor cantidad posible de aire y luego es introducida una corriente ligera de gas inerte o mejor aún reductor, sea para el calentamiento como para el enfriamiento. Esto ayuda a prevenir una oxidación indebida de las láminas. En el recocido continuo la cinta se pasa con un solo espesor a través de una serie de pasos verticales dentro de

un horno que tiene zonas de calentamiento y enfriamiento. La cinta es calentada rápidamente a la temperatura deseada y luego enfriada a la temperatura del cuarto antes de dejarla salir del horno, manteniéndose en él una atmósfera inerte o ligeramente reductora para prevenir una excesiva formación de óxido y así mantener una superficie brillante (Pini, 2009).

3.3.4.5 Templado

El templado de la lámina es el que ejerce gran influencia en la maleabilidad y fortaleza de las latas. Está afectado por varias operaciones en la manufactura de la lámina estañada y es controlado principalmente por la composición del acero y por el grado y tipo de laminado en frío, así como por el laminado de templado final. En Europa, la hojalata está disponible en tres calidades: 1) calidad de estirado profundo; 2) calidad de temple profundo, de menor ductilidad que la anterior y 3) calidad de templado ordinario, la más común para propósitos generales (Pini, 2019).

3.3.4.6 Pasivación de la hojalata

Durante la fabricación de la hojalata, y antes del laqueado, es importante el tratamiento de pasivación de la misma. Este proceso busca estabilizar la superficie estañada. Asimismo, este tratamiento busca prevenir el crecimiento de óxido de estaño en la superficie, lo que genera decoloración durante el almacenamiento prolongado. De igual manera, este proceso evita la aparición de manchas generadas por derivados del azufre provenientes de ciertos alimentos. Finalmente, mejora la adhesión de la laca al sustrato metálico.

3.3.4.7 Acidulado de la hoja blanca

Si las láminas van a ser estañadas por inmersión, la cinta es aplanada por rodillos y cortada en piezas de $35,6 \times 51$ [cm] o de $51 \times 63,5$ [cm]. Posteriormente, se les da un corto baño caliente de limpieza con soluciones diluidas de ácido sulfúrico o clorhídrico, al mismo tiempo que la vuelve ligeramente áspera para que el estaño se fije mejor. Finalmente, las hojas se lavan con agua y se secan. Por el contrario, si la cinta debiera sufrir electrodeposición, se la limpia electrolíticamente en un baño de solución alcalina y luego se la pasa por un proceso continuo a través de ácido para realizar un *pickling* frío electrolítico, que permite obtener un depósito apropiado, dando como resultado una textura escurrida y seca (Pini, 2009).

3.3.5 Recubrimiento para hojalata

La hojalata obtenida se debe someter al proceso de estañado, barnizado o de ambos, según sea el caso, para protegerla de los ataques químicos de los alimentos que serán envasados.

3.3.5.1 Estañado

El estañado puede realizarse en dos formas: por inmersión o por electrodeposición. La cantidad de estaño requerida para el recubrimiento suele expresarse en 'peso por caja base'. Una caja base (cb) es una unidad de medida que consiste en el conjunto de 112 hojas de $90,3 \times 129$ [cm]. En tanto que Appert usaba principalmente envases de vidrio en sus experimentos, los envases de hojalata estañada han ido ganando aceptación para el envasado de conservas comerciales, por ejemplo, jugos de toronja, naranja y piña, para café seco empacado al vacío y otros (Pini, 2009).

Hanbury de Pontypool es acreditado como el primer productor de lámina estañada y parece

ser que fue el primer productor de lámina de acero por rodillado. En un comienzo la lámina estañada fue producida en varios lugares de la isla (Moros, 2002). Cornwall fue por varios siglos el proveedor mundial de estaño, luego, desde 1870, los estados Malayos; posteriormente América del Sur (principalmente Bolivia) y África central. Durante la segunda Guerra Mundial, fue Bolivia la principal fuente de mineral de estaño. Este suministro fue complementado con lo que se tenía almacenado antes de la guerra y con el que se recuperaba desde láminas estañadas usadas (Madrid et al., 1994), (Ostrovski, 1980). Las láminas de hojalata que han sufrido el proceso de pickling, son frotadas con agua y arena y almacenadas en agua por inmersión hasta el estañado (Pini, 2009).

Estañado tradicional: para el proceso se usaban tres marmitas: en la primera (marmita de remojo con estaño fundido) las láminas eran remojadas por cerca de 1 [h], en la segunda (marmita de lavado) se las volvía a sumergir por corto tiempo para alcanzar un recubrimiento uniforme y en la tercera (marmita de acabado) se sumergían los extremos y se removía el exceso de los bordes. Las láminas eran luego pulidas con serrín y musgo, previa una limpieza (Pini, 2009).

Estañado actual: en la actualidad el proceso ha experimentado importantes variaciones. La unidad de estañado lo constituye un tanque calentado directamente que contiene estaño fundido, controlado termostáticamente. En ese tanque están sumergidos los rodillos y guías que conducen a la hoja de acero a través de un lecho de cloruro de zinc dentro del estaño fundido, y luego lo extraen a través de otro lecho fino de aceite de palma. Después de que las hojas han pasado por el aceite de palma se someten a un estrujamiento por rodillos de acero estañado, lo que sirve para regular el espesor final

del recubrimiento. Estos rodillos operan en un baño de aceite de palma y para obtener un revestimiento más efectivo se realiza un segundo proceso de inmersión como el ya indicado (Pini, 2009). Posteriormente, las hojas son enfriadas y se limpian para remover el aceite adherido. La limpieza puede incluir un pasaje a través de un baño alcalino antes del *branning*. Un *branner* consiste de una serie de rodillos cubiertos con fieltro, franela u otro material apropiado sobre el cual se distribuye continuamente (conforme las hojas estañadas pasen a través de los rodi-

llos) afrecho de trigo o de arroz, o serrín limpio (Coles, McDowell y Kirwan, 2003). Las hojas limpias son cuidadosamente inspeccionadas para detectar defectos o fallas y enviadas al departamento de confección de latas o para el mercado. Equipos automáticos sirven para detectar irregularidades de depósito, espesores inadecuados o cualquier otra falla (Coles et al., 2003), (Moros, 2002), (Pini, 2009). Las distintas capas que constituyen la hojalata estañada se encuentran en la Figura 3.5.

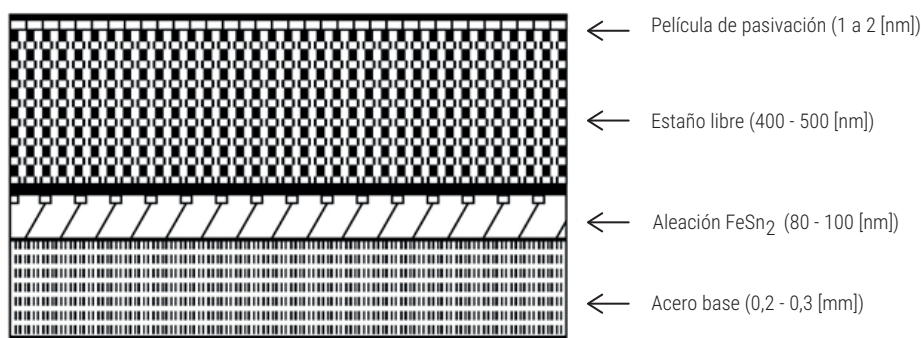


Figura 3.5 Representación esquemática de las diversas capas constituyentes de la hojalata estañada

Adaptado de: Rodríguez Peula, M. (2013). *Envasado y Empaquetado de Productos Alimenticios*. España: IC Editorial.

Electroestañado: mediante el proceso de depósito por inmersión en caliente, no es posible asegurar una uniformidad absoluta en el estañado ni un recubrimiento suficientemente fino tal como 113 [g] de estaño por caja base, menos aún un espesor de recubrimiento de 0,00038 [mm] obtenido en el electrolítico. Por el electrodeposición se obtiene una cobertura muy uniforme para 113 [g/cb]. Al reemplazar

la cantidad comúnmente usada en el depósito por inmersión de 226 [g/cb] a 567 [g/cb] en el electrodeposición, se consigue un ahorro efectivo de material de aproximadamente el 60 %. Por esta razón, el electroestañado ha ganado buena aceptación. En este proceso, los rollos de cinta laminada en frío son desenrollados, limpiados y sometidos a un ligero *pickling* electrolítico en ácido sulfúrico o clorhídrico diluido, y estaña-

dos de un modo continuo por pasaje a través de una serie de celdas electrolíticas llenas con solución de álcali o ácido. El estaño para el depósito es suministrado por un electrodo de estaño puro que está sumergido en celdas de electrodeposición. Una corriente directa de voltaje y amperaje apropiados hace que el ánodo de estaño se disuelva lentamente y se sedimente sobre el cátodo, que está constituido por la cinta de acero en movimiento. El estañado en este punto tiene un acabado mate. Para impartirle un brillo aceptable para latas de alimentos, se funde de forma rápida por aplicación de electricidad, calor radiante o inducción de alta frecuencia (fusión que se realiza en la película de estaño). En seguida, se enfrían rápidamente y se tratan brevemente en un baño cromado, se escurren, se secan y se recubren con una fina capa de aceite. Finalmente, se enrollan y se transfieren a la planta de fabricación de latas, previo un control de calidad (Pini, 2009).

En el electrodeposición diferencial, una ligera cobertura de 113 [g/cb] de estaño se aplica a un lado de la hoja y al otro una cobertura de 340 [g/cb]. En este caso, el lado con mayor depósito constituirá el interior de la lata, pues la parte exterior no está sujeta a la acción corrosiva de los alimentos. El rollo estañado mediante el proceso de fusión rápida (antes indicado), forma en este proceso, al igual que en la inmersión, una

capa de aleación intermetálica (Fe-Sn_2) entre el estaño y el acero. Esta capa de aleación desempeña un papel importante en la resistencia de la hojalata frente a la posible corrosión por los alimentos (Pini, 2009).

Para estabilizar la superficie de estaño, la hojalata debe someterse a un proceso llamado de pasivación, que puede ser de tipo químico por inmersión de la hojalata en soluciones de ácido crómico o dicromato de sodio, o electroquímico por depósito catódico a partir de soluciones de dicromato de potasio. Estos procesos generan la formación de óxidos de estaño y cromo, así como cromo metálico en cantidades de 0,1 a 1 [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]. Una caja base con una superficie total de 40465 [m^2], que emplea una cantidad de estaño que cubra las láminas de 454 [g/cb], está usando 11,2 [g/m^2], equivalente a un espesor de 0,00154 [mm] de recubrimiento (extremadamente fino). La cantidad de estaño por caja base se expresa mediante el peso actual de estaño en la lámina terminada o como el peso de estaño agregado por caja base al tanque de estañado. Esta segunda forma es mayor que el valor encontrado por análisis de la lámina acabada a causa de las pérdidas durante el proceso (Cruess, 2012), (Pini, 2009). Las láminas cubiertas con estaño por el proceso de inmersión se clasifican en la Tabla 3.5.

DESIGNACIÓN	Peso mínimo de Sn en [kg/cb]
Al coke común	0,386
Al coke standard	0,476
Al coke optimizado	0,540

Al coke especial	0,635
1A al carbón	0,817
2A al carbón	1,043
3A al carbón	1,270
4A al carbón	1,588
5A al carbón	1,905
Al carbón "premier"	2,223

Tabla 3.5 Clasificación de las láminas estañadas

Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

El estañado electrolítico lleva revestimientos más ligeros que el anterior (como ya lo mencionamos), según se expone en la Tabla 3.6.

DESIGNACIÓN	Nominal [g/cb]
No. 25	113,4
No. 50	226,8
No. 75	340,2
No.100	453,6

Tabla 3.6 Tipos de estañado electrolítico

Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

En la década de los sesenta se usó mucho el revestimiento No. 100, en la actualidad, por economía se prefieren el No. 25 para la superficie exterior y el No. 75 para la superficie interior que estará en contacto con el alimento. El porcentaje de estaño requerido es en sí pequeño, pues en el sistema de inmersión para una caja base de 45 [kg] se requieren 635 [g] de estaño, esto da apenas un 1,4 %; mientras que en el electroestañado es aún menor. Las designaciones 'al coke' o 'al carbón' se referían antiguamente al tipo de combustible usado en la formación de la lámina base. En la manufactura de la lámina al carbón se usaba el carbón como único combustible, mientras que para la lámina al coke se usaba una mezcla de carbón y coke (Ostrovski, 1980), (Pini, 2009).

La hojalata con espesor aproximado de 0,16 o 0,18 [mm] conduce a una economía de metal, pero obliga a usar paredes corrugadas para incrementar la resistencia mecánica. El tipo más corriente es la denominada hoja de Flandes (muy dúctil), la cual es recubierta de una capa de estaño por baño de inmersión o de preferencia por electrodeposición (Pini, 2009).

3.3.5.2 Barnizado de la hojalata

Otra forma de proteger a la hojalata es mediante el barnizado, para lo cual se realiza una fosfatación de la misma y sobre esta capa se aplica el barniz. A veces se barniza la hojalata previamente estañada. En la actualidad existen diversos tipos de barnices, entre los cuales citaremos (Cruess, 2012), (Ostrovski, 1980), (Pini, 2009).

Fosfatación: llamada también parkerización o bonderización, es un proceso ideado por Parker, el cual consiste en depositar sobre la superficie del metal ferroso una capa protectora formada por fosfato ferroso y por fosfatos de metales

divalentes pesados. El baño que se utiliza en el proceso Parker es una solución de concentración variable de fosfato de zinc o más generalmente de manganeso, acidulado por la presencia de ácido fosfórico calentado a 100 [°C], en la cual se sumerge el material a mordentar. El hierro reacciona con el ácido con desprendimiento de hidrógeno, formándose un fosfato doble de hierro y manganeso (o zinc). El recubrimiento de fosfatos se realiza en dos etapas: una tumultuosa con gran desprendimiento de gas H_2 y la segunda muy lenta que se prolonga hasta que no se desprenda más gas, lo que indica que el proceso ha terminado.

Hay que indicar que la fosfatación se realiza sobre materiales perfectamente desengrasados, es decir, tratados con soluciones alcalinas y ácidas. El fosfatado por sí mismo presenta una seguridad relativa ante la corrosión, debiendo la superficie ser tratada con un barnizado complementario. De hecho, incluso las latas estañadas son barnizadas, pues compuestos como las antocianinas, que son sustancias colorantes solubles que pasan fácilmente al líquido de gobierno, cambian de color en contacto con metales, en especial en las conservas de tomate bastante concentradas (sobre todo si el tomate es rico en sustancias ácidas).

Lámina blanqueada barnizada: en las primeras pruebas se recurrió al barnizado con una capa espesa y compacta de barniz sobre la plancha blanqueada (lámina negra), recocida y luego enfriada en gas neutro que impide su oxidación. Los barnices para recubrimientos están constituidos por ciertas oleoresinas, plásticos vinílicos, resinas fenólicas, epoxifenólicas y acrílicas, y algunas ceras especiales (Pini, 2009).

Se presentaron dificultades relacionadas con la perfecta adherencia del barniz a la lámina, su distribución, su resistencia a los tratamientos

mecánicos de estampado y formación de cuerpos y fondos, resistencia del barniz a la temperatura alta y a la soldadura de los engastes del cuerpo. Por otra parte, los problemas que tienen que ver con la resistencia química no fueron tan serios, pues se buscaban materiales no tóxicos, libres de aromas y sabores que puedan afectar al alimento, resistentes a los productos a ser enlatados, que suministren una barrera efectiva entre el alimento y el metal de la lata, de rápida aplicación y curado en los variados tipos y estilos de latas. Para superar las dificultades previamente mencionadas se procede de la siguiente manera (Madrid et al., 1994), (Ostrovski, 1980):

1. Usar para la formación de los envases la plancha blanqueada y laminada en frío, cuyo cuerpo y fondo son soldados eléctricamente. De esta manera se consigue una resistencia considerable a la presión.
2. Los envases obtenidos mediante el proceso anterior son fosfatados, debido a que presentan una serie de ventajas, tales como mordentar la superficie para fijar el barniz y evitar la difusión de la oxidación.
3. Los envases son posteriormente laqueados por inmersión, pulverizadores o por rodillo (utilizando un rodillo de material blando) ajustable para regular el espesor del recubrimiento. Posteriormente, se secan en un horno para eliminar el disolvente y conferir a la película el grado de polimerización y reticulación adecuados.

3.3.5.3 Características de los barnices usados

Un barniz, para responder al objetivo deseado en los envases de hojalata, debe poseer las siguientes características (Cruess, 2012), (Hayes, 1992), (Ostrovski, 1980), (Pini, 2009):

1. Ser perfectamente adherente.
2. Ser suficientemente elástico para resistir los esfuerzos mecánicos para el estampado de las tapas y la formación de los bordes, principalmente.
3. Ser resistente a los cambios bruscos de temperatura que se generan durante la esterilización térmica, sin romperse o abollarse.
4. Ser resistente al contacto prolongado con los componentes de las conservas.
5. Estar libre de sustancias tóxicas como plomo o arsénico.
6. Ser inerte para no comunicar a las conservas sabores, olores ni colores extraños.
7. distribuirse de modo uniforme y constante en los envases.

Difícilmente un barniz responde a todos estos requisitos y por ello se trata de usar barnices que cumplan las especificaciones para una determinada categoría de conservas. Desde este punto de vista las conservas se podrían dividir en diversas categorías. 1) según el tipo de líquido contenido: aceite, por ejemplo, aceite de oliva (Figura 3.5) o atún en aceite y soluciones acuosas; y 2) según la mayor o menor acidez del producto conservado (Pini, 2009).



Figura 3.6 Envases de hojalata para aceite de oliva

Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

Las conservas de aceite no necesitan barnizado ya que el aceite no ataca a la hojalata estañada. En el caso de otras conservas, el agente que produce el ataque es generalmente un ácido orgánico: tartárico, málico, cítrico, entre los más frecuentes. La carne de los crustáceos, que a pesar de tener una reacción casi neutra, ataca al estaño por el alto contenido en azufre, generando sulfuros que oscurecen la hojalata y comunican a la carne un color poco agradable. Entre los productos vegetales, los zumos de frutas son los más ácidos, mientras que las conservas de vegetales son las menos ácidas. Otras conservas ácidas son los escabeches de pescado, los que pueden alcanzar una acidez de hasta el 5 %. Por consiguiente, la resistencia de un barniz debe ser examinada en relación a la acidez de los distintos productos, por ello es lógico que en el comercio nos encontremos con una amplia gama de barnices (Cruess, 2012), (Muñoz Sánchez, 2013).

Actualmente se usan diversas resinas fenólicas, oleoresinas, resinas de petróleo, epoxiresinas (Tabla 3.7). Para productos que liberan ácido sulfhídrico durante la esterilización, se usa un barniz con 15 % de óxido de zinc, pues el sulfuro de zinc es blanco a diferencia de los de estaño y de hierro. Este barniz es llamado 'esmalte de maíz' o esmalte C y no debe usarse en alimentos ácidos. Para productos ácidos pueden usarse esmaltes o barnices del tipo 'F' constituidos por un aceite resinoso fenólico, es decir, resina más un aceite secante y más disolvente. Por otra parte, las resinas vinílicas se usan para productos menos ácidos, tal es el caso del barniz del tipo H, que es el mismo F más una base vinílica (Ostrovski, 1980).

Tipo de resina	Condiciones de secado	Pesos de la película [g/m²]	Flexibilidad
Oleo-resina	200 [°C]/12 [min]	4,5 - 6	Buena
Oleo-resina y ZnO	200 [°C]/15 [min]	7,5 - 9	Buena
Fenólica	100 [°C]/15 [min]	3,3 - 4,5	Baja
Epoxifenólicas	205 [°C]/15 [min]	3 - 4,5	Buena
Epoxifenol y Al	200 [°C]/12 [min]	4,5 - 5,5	Buena
Vinílica	200 [°C]/10 [min]	4,5 - 6,5	muy buena
Acrílica	variables	variable	muy buena
Polibutadieno	variables	variable	Baja

Tipo de resina	Resistencia a sulfuros	Resistencia a ácidos	Usos
Oleo-resina	no apta	Aceptable	frutos ácidos
Oleo-resina y ZnO	buena	no apta	vegetales, sopas sulfuradas
Fenólica	buena	buena	carne, pescado
Epoxifenólicas	buena	buena	carne, pescado, bebidas
Epoxifenol y Al	buena	no apta	productos cárnicos
Vinílica	no apta	aceptable	cerveza, bebidas refrescantes

Acrílica	muy buena	muy buena	Vegetales, sopas
Polibutadieno	no apta	buena	cerveza, bebidas refrescantes

Tabla 3.7 Características de los barnices usados en envases de alimentos
Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

3.3.6 Fabricación de los envases de hojalata

Los envases de hojalata para alimentos se confeccionan de forma semiautomática o automática de la siguiente manera (Cruess, 2012), (Muñoz Sánchez, 2013), (Ostrovski, 1980), (Pini, 2009), (Rodríguez Peula, 2013):

3.3.6.1 Formación de fondos y tapas

A partir de la lámina, por medio de cizallas rotativas múltiples, se preparan las tiras de hojalata en las que se estamparán y troquelarán los fondos y las tapas. Una forma de hacerlo es en tresbolillo para usar de mejor manera la hojalata (Figura 3.7).

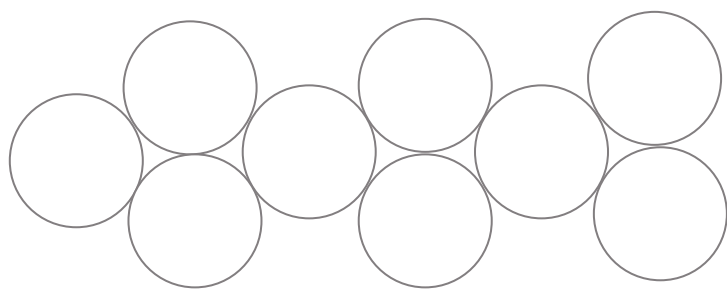


Figura 3.7 Corte de tapas de hojalata en Tresbolillo
Adaptado de: Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

Los fondos y las tapas (siempre iguales) tienen unas nervaduras que sirven para incrementar la resistencia y elasticidad a las tensiones generadas durante la esterilización. En los bordes de las tapas y fondos se conforman los ‘párpados’ redondeados que sirven para facilitar el engargolado o el engastado de cierre. Asimismo, for-

mando un anillo se les aplica el mastique fluido que permitirá el ajuste y hermeticidad. El mastique es una goma o caucho emulsionado en un solvente volátil como pasta de bencina. La Figura 3.8 esquematiza los pasos que se siguen para la formación de tapas de apertura fácil.

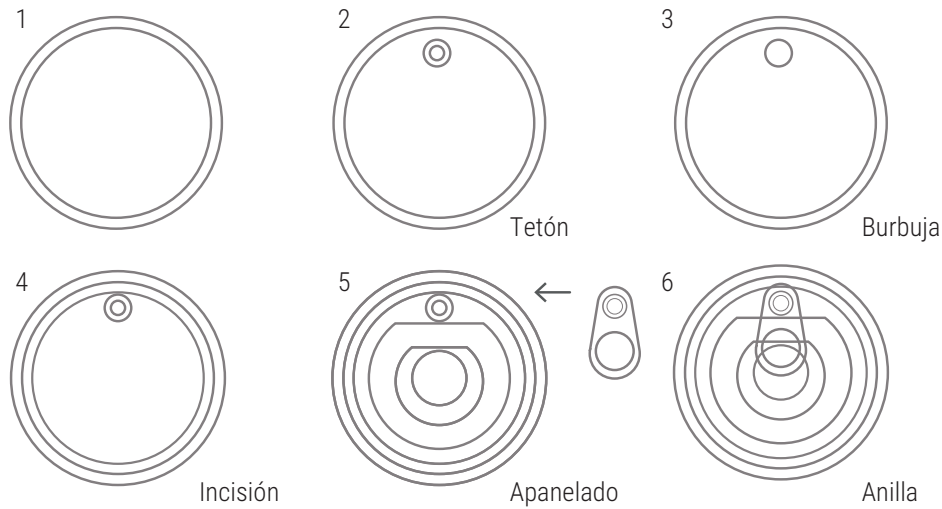


Figura 3.8 Formación de tapas para envases de hojalata con abertura fácil
Adaptado de: Hersom, A. C.; Hulland, E. D. (1981). *Canned Foods. Thermal Processing and Microbiology* (Seventh edition). Chemical Publishing Company.

3.3.6.2 Formación de los cuerpos

En primera instancia se escuadra a la hoja y después con cizallas se cortan tiras de la medida deseada. Estas tiras son despuntadas y descantonadas, con lo cual se realiza posteriormente la operación de enrollado y engastado

(Figura 3.9). Seguidamente, se suelda el cuerpo previo un prensado del engaste. El soldado se realiza mediante suelda eléctrica para brindarle mayor uniformidad en la zona donde se realiza la suelda.

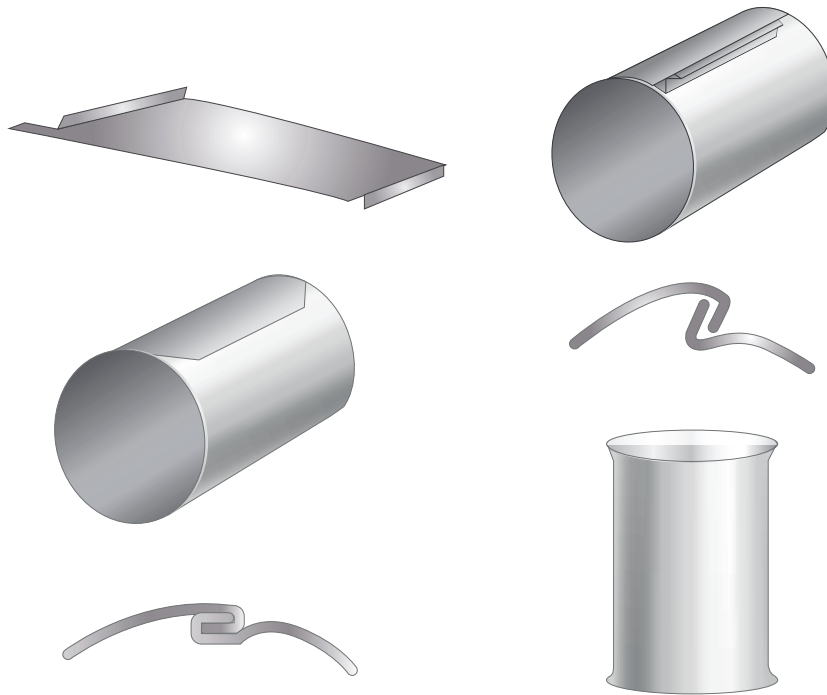


Figura 3.9 Proceso de formación de los cuerpos de envase de hojalata
Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

El cuerpo de las latas es bordeado por ambos lados para permitir luego el engaste del fondo y de la tapa. La siguiente operación consiste en el engastado del fondo, que se lleva a cabo en una máquina que trabaja con dos rodillos de aproximación. El primero realiza un doblado de bordes y párpados y el segundo la compresión de los dobleces, debiendo quedar el mastique en posición correcta y las costuras y cierres no deben presentar irregularidades. Por otro lado, existen normas de ancho y espesor de costuras que tienen que cumplirse cuando las latas estén con alimento, tanto en el engastado de fondos como en el de tapas (tal como se verá en el Capítulo 8).

3.4 Envases de aluminio

Entre las diversas aplicaciones del aluminio para envases de alimentos tenemos: 1) envases flexibles (fundas) para chocolate, café, comida para bebés, alimentos deshidratados; 2) envases semirrígidos (bandejas) para alimentos precocidos; 3) envases rígidos (botes) para cerveza, jugos y refrescos. Los envases de aluminio (Figura 3.10) son diseñados con una pared metálica impermeable que no permite absorber la humedad o grasa, la cual ayuda a mantener la frescura del producto conservando el sabor original. Además, los envases de aluminio son suficientemente rígidos, lo cual constituye una

ventaja durante el transporte y almacenamiento (generalmente por apilamiento) (Cruess, 2012), (Rodríguez Peula, 2013). Los envases de aluminio no se ven afectados por los cambios de temperatura extrema, ya que se pueden utilizar para cocinar, congelar, transportar y servir comidas. Asimismo, la conductividad térmica del aluminio ayuda a acelerar la cocción y la congelación del producto, permitiendo una rápida y mejor re-

constitución del mismo. El recipiente de aluminio se adapta fácilmente a las especificaciones de producción y pueden ser elaborados para satisfacer las necesidades específicas de los consumidores: tamaño, forma, calibre, bordes o cejas, formas de cierre, acabados especiales (Coles et al., 2003), (Potter y Hotchkiss, 1999).



Figura 3.10 Diversos tipos de latas de aluminio para bebidas gasificadas
Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

3.4.1 Composición química

El aluminio usado en envases de alimentos mantiene los mismos procedimientos de producción, sin innovaciones sustanciales. Se produce por electrólisis de alúmina (Al_2O_3) disuelta

en criolita fundida ($\text{AlF}_3 - 3\text{NaF}$). El proceso se lleva a cabo a unos $950\text{ }^\circ\text{C}$, con una corriente de baja tensión, alrededor de 12 voltios y fuerte intensidad, mayor a 10000 [A] . Los ánodos son de carbono y se consumen al combinarse con el oxígeno de la alúmina para dar CO y CO_2 ,

mientras que el aluminio líquido, con temperatura de fusión de 660 [°C], se va al fondo y se retira de la cuba por debajo de la capa de criolita. Las nuevas aleaciones, que llevan proporciones muy pequeñas de magnesio y zinc, permiten el empleo del aluminio para fabricar envases para conservas y otros alimentos. De cualquier manera, el consumo de este metal es mínimo si se compara con el de la industria aeronáutica y otras (Cruess, 2012), (Ostrovski, 1980).

El aluminio, por su ductilidad, es laminado en frío con relativa facilidad, aún en hojas de espesor muy delgado llamado papel de aluminio. Se oxida en contacto con el aire y se cubre de una capa casi invisible de óxido de aluminio de 1×10^{-5} [mm] de espesor que actúa como capa protectora. Esta protección natural se hace más eficaz por pasivación anódica a 20 [°C] en un baño de ácido sulfúrico al 20 % y carboximetilcelulosa. La capa más gruesa que así se obtiene (2×10^{-3} a 6×10^{-3} [mm]) actúa como ligante del barniz (Coles et al., 2003), (Ostrovski, 1980).

3.4.2 Características

Existen dos limitantes importantes para la fabricación de envases de aluminio (Coles et al., 2003), (Ostrovski, 1980):

1. La soldadura rápida de este material resulta complicada. Por ello, estos envases se confeccionan mediante extracción o extrusión por impacto.
2. Este material se tiene que proteger contra los ácidos de los alimentos para evitar la producción de hidrógeno. Esto se consigue mediante un recubrimiento con resina sintética colocada antes de su fabricación o posterior a la misma.

Los envases de aluminio tienen las siguientes ventajas (Coles et al., 2003), (Rodríguez Peula, 2013):

1. Excelente resistencia a la corrosión externa, incluso en ambientes húmedos.
2. No presenta corrosión interna.
3. Fácil montaje de cadenas de producción a pequeña escala. No requieren cadenas de gran producción (elevada inversión) como sucede con los envases de hojalata.
4. La sencillez de los equipos empleados para su manufactura facilita la fabricación de los envases en la propia fábrica de conservas.
5. Es mínima o nula la influencia sobre el aroma y el color de los alimentos.
6. Se los puede someter a fuego directo para calentar su contenido.
7. Se los puede dotar de dispositivos de fácil apertura, de manera que no se precise abre-latas.
8. Los envases vacíos no se oxidan, lo que facilita su reutilización como pequeños recipientes e incluso como materia prima reciclada.

También se pueden enlistar los siguientes inconvenientes:

1. Son de menor resistencia mecánica que los de hojalata. Sus bordes se dañan con mayor facilidad.
2. Precisan tipos especiales de autoclaves para su esterilización.
3. Requieren un lacado para dar protección contra los componentes ácidos de los alimentos.
4. Se dispone en una gama menor de tamaños que los de hojalata.

5. Los que se utilizan para esterilización, no pueden fabricarse en las máquinas que forman el cuerpo de los envases de hojalata.

6. Desde hace algunos años, diversas instituciones están levantando una voz de alerta en la relación *aluminio-Alzheimer*, por lo que el uso del aluminio podría no ser tan seguro, pues aun cuando hemos indicado que tiene un alto grado de inercia química, una absorción periódica en cantidades mínimas podría ser perjudicial^a.

3.4.3 Métodos de fabricación

Los métodos más frecuentes de fabricación de estos envases son dos. En el primero el recubrimiento protector se coloca antes de la fabricación del envase y en el segundo este recubrimiento se coloca posterior a su manufactura (Coles et al., 2003), (Cruess, 2012), (Ostrovski, 1980).

3.4.3.1 Fabricación a partir de una tira de material precalado

El material precalado de 0,25 a 0,30 [mm] de grosor se alimenta a una prensa o serie de prensas donde se corta un standard, se le da la forma del envase y el material sobrante es recortado (Cruess, 2012), (Ostrovski, 1980).

^a El hecho se basa en la hipótesis de que el aluminio es un agente tóxico que puede favorecer el desarrollo del Alzheimer debido a su interrelación en la bioquímica de la proteína amiloide. El laboratorio de Toxicología de la Universidad Rovira i Virgili (España) investiga desde 1995 la acumulación de aluminio en los tejidos cerebrales. Asimismo, en el año 2000 el investigador Italiano Paolo Zatta expuso este problema en una conferencia en la Universidad de Concepción (Chile).

1. *Envases poco profundos*: se elaboran en una sola operación. Este proceso se utiliza para latas rectangulares para pescado de altura no mayor a 35 [mm], o también para las circulares con dimensión menor a la mitad de su diámetro, siempre que no exceda los 150 [mm]. Ejemplos de estos envases son las latas de 105 × 76 × 21 [mm] empleadas para enlatar pescado y las circulares de 78 × 31 [mm].

2. *Envases profundos*: se fabrican en más de una operación. Generalmente, son de forma cilíndrica y se emplean cuando es necesario que la altura del envase sea mayor que el radio, en una relación máxima de 1,2 veces. El diámetro máximo utilizable es de aproximadamente 85 [mm]. Un ejemplo de esta clase de envase es el de 65 × 60 [mm] y de 170 [g] de capacidad.

3.4.3.2 Lacado por impacto del envase fabricado por extrusión

Por este procedimiento, una pieza circular de 2,5 - 5,0 [mm] de grosor y de un diámetro aproximadamente igual al del envase que se desea obtener, se coloca sobre un molde de poca profundidad y es presionado contra él por un vástago con una intensidad tal que el metal reboza. El metal que queda en la base del mismo establece el fondo del recipiente y el que reboza las paredes del mismo. Posteriormente, al fondo se le da una forma abovedada hacia su interior, se recortan las paredes a la altura correcta y se dobla el borde de manera que permita el cerrado posterior. Dado que el material con el que se fabrican estos envases sufre una deformación considerable, estas latas se laca o anodizan luego de su manufactura. La extrusión por impacto se utiliza cuando la relación altura/diámetro es superior a 1. El diámetro máximo utilizado es 105 [mm] y la altura máxima tres veces

superior. La manufactura de envases de tales diámetros requiere prensas de 800 [t] (Cruess, 2012), (Piergiovanni y Limbo, 2010).

3.4.4 Utilización de los envases de aluminio

Los envases de aluminio poco profundos resultan adecuados para el enlatado de productos como arenques de tamaño pequeño, sardinas y filetes de pescado de mayor tamaño, ya sea en aceite o salsa. Las latas redondas de poca profundidad son adecuadas para pastas a base de carne y pescado, así como otros productos similares. Los envases más profundos, tanto los fabricados en dos fases con lámina precalada como aquellos fabricados por extrusión por contacto y posteriormente lacados, resultan idóneos para el envasado de una gran variedad de vegetales en salmuera o salsas diversas. También se emplean para sopas, diversos platos preparados a base de pastas de sopa, spaghetti y macarrones, carnes en salsa, conservas cárnicas y embutidos. De la misma manera se usan para envasar diversos frutos y sus jugos, pero se debe evitar en estos casos el contacto con el aluminio mediante un barniz apropiado, para evitar reacciones entre el metal y los ácidos del alimentos (Cruess, 2012), (Piergiovanni y Limbo, 2010).

Los envases fabricados por extrusión (impacto), bien sea recubiertos con una capa de hidróxido de aluminio por anodización o lacados, se emplean para la leche y la cerveza. Generalmente, los alimentos de pH entre 5,0 y 7,0 envasados en recipientes de aluminio lacados se conservan muy bien a una temperatura de 22 [°C] durante un tiempo aproximado de 5 años. Para productos con pH entre 4,0 y 5,0 se requieren recubrimientos de laca con un espesor mayor y para pH inferior a 4,0 resulta necesario un control más riguroso de las técnicas de fabricación. Constantemente, se desarrollan nuevas técnicas para obtener aleaciones más resistentes y que permi-

tan abaratar las materias primas en la manufactura de envases (Coles et al., 2003), (Rodríguez Peula, 2013).

3.5 Envases de materiales plásticos

Los materiales clásicos como el vidrio, la hojalata y aun el cartón (que lo estudiaremos más adelante), han sido desplazados en cierta forma por los envases de plástico, debido a razones económicas y técnicas. Con los materiales plásticos se han podido hacer envases de variadas formas y diseños, incluyendo láminas termocontráctiles, botellas de plástico, tapas para botellas, entre otros. Los envases de plástico son de bajo peso, tienen mayor facilidad de llenado y son muy cómodos para el consumidor (Rodríguez Peula, 2013).

Las ventajas principales de los envases plásticos, comparados con los de vidrio, radican en su bajo peso y gran resistencia a las tensiones que provocan su ruptura; mientras que presentan resistencia elevada a la corrosión con respecto a los de hojalata. Los envases plásticos rígidos se rompen con mayor dificultad que los de vidrio, pero son de resistencia menor que los de hojalata. No obstante, los recipientes plásticos no son completamente impermeables al agua o a su vapor y a los compuestos volátiles, permitiendo en mayor o menor grado la difusión a través de su pared; así como migración de componentes menores (restos de monómeros o aditivos) del plástico al alimento. Esto nos da una pauta para pensar que ciertos alimentos no se deben envasar, transportar o almacenar en recipientes plásticos, si lo que se pretende es evitar pérdidas sustanciales de su calidad (Muñoz Sánchez, 2013), (Robertson, 2017).

A diferencia de lo que ocurre con los envases de vidrio y los de hojalata, los recipientes plásticos se producen sin mayor dificultad y sin inversiones elevadas; sin embargo, no se los puede emplear para cualquier fin debido a su baja resistencia a altas temperaturas. De hecho, muy pocos materiales plásticos tienen la capacidad de soportar temperaturas de pasteurización o esterilización (Cruess, 2012), (Piergiorganni y Limbo, 2010), (Potter y Hotchkiss, 1999).

Los envases plásticos destinados para el envasado de los alimentos deben considerarse como 'no recuperables' o de un solo uso, debido a que la reutilización resulta dificultosa. No existen mecanismos adecuados para limpiarlos y su reutilización, incluso a nivel doméstico, se encuentra limitada por el hecho de que los materiales plásticos tienden a absorber grasas y componentes aromáticos de los alimentos, capturando el olor del último alimento en ellos

contenido. Además, después de sucesivos lavados, su superficie relativamente blanda, se reviste de pequeñas grietas en la que se depositan microorganismos (Cruess, 2012), (Moros, 2002), (Ostrovski, 1980).

3.5.1 Elección de las materias primas

La elección de la materia prima está en función de la estabilidad que se desee frente al calor o agentes químicos, su permeabilidad y la inercia frente al alimento; es decir, que no le confiera olores ni sabores impropios. Existen envases de polivinilos, poliolefinas, poliéteres, poliésteres, poliamidas. Se confeccionan como fundas, botellas y frascos. Existe una amplia gama de materiales plásticos (Tabla 3.8) que se comercializan en la actualidad; sin embargo solo unos pocos son aptos para alimentos (Moros, 2002), (Piergiorganni y Limbo, 2010).

GRUPO	POLÍMERO	SÍMBOLO
Poliolefinas y Polivinilos	Polietileno	PE
	Polipropileno	PP
	Poli-4-metil-penteno-1	TPX
	Etilen-acetato de vinilo	EVA
	Poliestireno	PS
	Policloruro de vinilo	PVC
	Policloruro de vinilideno	PVDC
	Poliacetato de vinilo	PVA

	Acrilonitrilo	AN
	Estiren-acrilonitrilo	SAN
	Acrilonitril-butadien-estireno	ABS
	Politetrafluoretileno	PTFE
	Policlorotrifluoretileno	PCTF
Poliéteres	Óxido de polimetileno	POM
	Óxido de polifenileno	PPO
Productos celulósicos	Celulosa-Acetato de celulosa	AC
		PETP
Poliéteres	Tereftalato de polietileno	PC
	Policarbonato	PA
Resinas epoxídicas- poliamidas	Poliamida (Nylon)	

Tabla 3.8 Diversos tipos de plásticos

Adaptado de: Moros, J. (2002). *Diseño de Empaques Industria Agroalimentaria* (Primera Edición) Colombia: Editorial UNAD.

Cheftel, J.-C.; Cheftel, H.; Besançon, P. (1989). *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos* (Primera edición) Volumen II. España: Editorial Acribia, S.A.

Los plásticos se caracterizan por una alta relación resistencia/densidad. Estos dos parámetros son propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico, buena resistencia a los ácidos, álcalis y solventes. Las enormes moléculas de las que están integradas pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico. Se pueden dividir en dos grandes grupos en función de su

comportamiento ante el calor: los que son termoplásticos y los plásticos termoestables. Los primeros se caracterizan por estar compuestos de moléculas lineales con pocos o ningún enlace cruzado, que se reblandecen al calentarse y empiezan a fluir; al enfriarse se vuelven nuevamente sólidos. Este proceso se puede repetir numerosas veces. Ocurre lo contrario con los productos termoestables, los cuales consisten

inicialmente de moléculas lineales que por calentamiento forman irreversiblemente una red de enlaces cruzados, dando un producto final generalmente más duro, fuerte y resistente al calor que un termoplástico.

Adicionalmente, existe un tercer grupo de plásticos llamados elastómeros, que son materiales elásticos tipo caucho, formados generalmente por macromoléculas débilmente entrecruzadas. En la Tabla 3.8 se resumen las características más importantes de estos tres grupos de polímeros, mientras que en la Tabla 3.9 se muestra una comparación entre las diferentes clases de plásticos. Por el proceso de polimerización, los plásticos se pueden clasifi-

car en polímeros de condensación y polímeros de adición. Las reacciones de condensación producen diferentes longitudes de polímeros y generan pequeñas cantidades de subproductos, tales como agua, amoníaco y etilenglicol; mientras que las reacciones de adición producen longitudes específicas y no generan ningún subproducto. Las masas moleculares medias de los polímeros de adición son generalmente mayores que las de los polímeros de condensación. Algunos polímeros típicos de condensación son el nylon, los poliuretanos y los poliésteres. Entre los polímeros de adición se encuentran el polietileno, el polipropileno, el policloruro de vinilo y el poliestireno.

GRUPO	ESTRUCTURA	ASPECTO FÍSICO	DENSIDAD [g/cm ³]	COMPORTAMIENTO AL CALOR	COMPORTAMIENTO A LOS DISOLVENTES
Termoplásticos	Macromoléculas lineales o ramificadas	Parcialmente cristali- no; tipo varilla a flexible; translucido, lechoso u opaco, solo los films delgados son transparentes	0,9 - 1,4 (excepto PTFE: 2 - 2,3)	Materiales blandos; se hacen transparentes al fundirse; con frecuencia las fibras pueden fundirse a partir del fundido; sellado por calor (existen excepciones)	Pueden hincharse, normalmente difíciles de disolver en disolventes fríos, pero suelen disolver- se en disolventes calientes
		Amorfos: incoloros, claros y transparen- tes sin aditivos; duros a elásticos (por adición de plastificantes)	0,9 - 1,9		Solubles (con algunas excepcio- nes) en ciertos disolventes orgáni- cos, normalmente después de un hinchamiento inicial
Termoestables (después del procesado)	Normalmente macromoléculas muy entrecruzadas	Duros, normalmente contienen cargas y son opacos; sin carga son transpa- rentes	1,2 - 1,4 (con cargas 1,4 - 2,0)	Permanecen duros; dimensionalmente estables hasta casi la descomposición química	Insolubles, no se hincham o a lo sumo ligeramente
Elastómeros	Normalmente macromoléculas ligeramente entrecruzadas	Elasticidad tipo caucho y capacidad para ser estirados	0,8 - 1,3	No fluyen hasta temperaturas próxi- mas a la descomposi- ción química	Insoluble, pero suelen hincharse

Tabla 3.9 Comparación de diferentes clases de plásticos

Adaptado de: Braun, D. (1990). *Métodos Sencillos de Identificación de Plásticos*. España: Editorial Pulsar.
Higuera Contreras, L. (2015). Quitosano como Matriz Biopolimérica para el Desarrollo de Envases Activos Antimicrobianos de Alimentos. España: Universitat de València.

3.5.2 Películas plásticas

El empleo de envolturas o sacos de películas plásticas para alimentos tiene grandes ventajas. Son muy poco permeables, permiten observar el contenido, son resistentes y se los obtiene en grados de impermeabilidad muy diversos. Otro aspecto a considerar es que gran parte de las películas plásticas exigen un cuidado minu-

cioso en el material a utilizar para cada producto, lo que exige conocer el tipo de impermeabilización de las películas plásticas. La Tabla 3.10 muestra la impermeabilidad al vapor de agua, oxígeno, anhídrido carbónico y nitrógeno de las películas más usadas (Potter y Hotchkiss, 1999), (Moros, 2002), (Muñoz Sánchez, 2013), (Rodríguez Peula, 2013).

Polímero	Permeabilidad a la humedad	Permeabilidad a los gases	Resistencia a bajas temperaturas
LDPE	media baja	alta	buena
HDPE	baja	media	buena
PP	baja	media	regular
PS	media alta	alta	baja
PVC	baja	baja	buena
PVDC	muy baja	muy baja	buena
PETP	media alta	baja	buena
PA	alta	baja	buena
Celulosa regenerada	baja	baja	—

Tabla 3.10 Permeabilidad y resistencia de diversos plásticos

Adaptado de: Cheftel, J.-C.; Cheftel, H.; Besançon, P. (1989). *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos* (Primera edición) Volumen II. España: Editorial Acribia S.A.

3.5.2.1 Polietileno de baja densidad

El polietileno de baja densidad (LDPE) (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Coles et al., 2003), (Piergiorgianni y Limbo, 2010), (Potter y Hotchkiss, 1999) es la película plástica de uso más frecuente en el envasado de alimentos. Es transparente, resistente y con una permeabilidad relativamente baja al vapor de agua. Químicamente es muy inerte y prácticamente carece de olor y sabor. Una gran ventaja que posee es la facilidad para el cerrado térmico. También presenta gran resistencia al desgarro y al impacto. Se lo puede emplear en un amplio rango de temperatura: desde -50 [°C] hasta 70 [°C], aproximadamente. Uno de los limitantes de esta película es que presenta una permeabilidad relativamente alta frente a gases como el oxígeno y el anhídrido carbónico, por lo que no se la debería considerar para el envasado de alimentos oxidables o para envasado al vacío.

El LDPE presenta permeabilidad frente a la mayoría de aceites esenciales, lo que se traduce en que se produzca pérdida gradual de aroma en algunos alimentos. Es importante resaltar la posibilidad de captación de olores extraños provenientes de otros materiales, cuando el producto envasado ha sido almacenado cerca de estos. Se ha demostrado que algunos aceites, incluso los vegetales, provocan agrietamiento del polietileno cuando se encuentra sujeto a tensiones multiaxiales. Estas tensiones se producen en los cierres térmicos de las bolsas, sobres o saquitos. Para estos casos se recomienda la utilización de polímeros de elevado peso molecular (bajo índice de flujo cuando están fundidos).

Debido al bajo costo de esta película y su resistencia a las bajas temperaturas, se usa para el envasado de alimentos congelados, por ejemplo, frutas y hortalizas. Se lo utiliza también

para el envasado de patatas peladas empleando el conservante anhídrido sulfuroso (cuando la ley lo permite). Si el espesor de la película es de aproximadamente 50 [μm], se estima una vida media de unos tres días. Como envoltura de pan tiene dos propósitos: evitar una pérdida demasiado rápida de la humedad y mantener inocuo al producto. No es conveniente una permeabilidad exageradamente alta al vapor de agua, ya que representa un riesgo para el crecimiento de mohos y el ablandamiento de la corteza. Al respecto, una película de 25 [μm] de espesor representa una excelente solución.

Por otra parte, la característica de fácil sellado al calor permite su uso para el envasado de leche pasteurizada (grosor aproximado de 87 [μm]), así como embutidos y pasteles de carne. Las bolsas para leche pasteurizada se fabrican a partir de dos láminas más finas de polietileno (valiéndose de su tendencia natural a adherirse), con lo que se evita el riesgo de fuga del contenido por posibles poros. Se consigue un mejor laminado al combinar polietileno negro y polietileno blanco, cada uno de los cuales se extruye por separado, pero a través de una misma boquilla. La capa de polietileno negro evita la fotodegradación de las vitaminas C y B₂ presentes en la leche, mientras que la capa exterior de polietileno blanco resulta muy adecuada para la impresión de la etiqueta y hacerla más atractiva al consumidor. También resulta útil para el envasado de cantidades pequeñas de leche en polvo, pero en este caso se lo utiliza combinado con cartón cubierto por una película de celulosa regenerada impermeable a la humedad. Esta clase de envase presenta una eficacia igual a la de los envases de hojalata y bolsa de papel glassine.

3.5.2.2 Polietileno de alta densidad

La película de polietileno de alta densidad (HDPE) (Caballero Abellán, 2018), (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Coles et al., 2003), (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Potter y Hotchkiss, 1999) posee una impermeabilidad dos o tres veces mayor frente al vapor de agua y a los gases con respecto al polietileno de baja densidad; así como mayor resistencia al paso de compuestos volátiles. Presenta mayor rigidez que el polietileno de baja densidad, mayor resistencia a la tensión pero menor resistencia al impacto. Cuando se lo obtiene por extrusión con presión de aire, se forma una película plana y resulta translúcida. Se lo puede también obtener completamente transparente por extrusión a través de una boquilla con ranura sobre un tambor de metal enfriado o sobre un baño de agua. El punto de reblandecimiento de este polietileno es más alto que el punto de ebullición del agua, lo que facilita el proceso de esterilización al vapor sin reblandecerlo. Debido a la alta resistencia al calor y baja permeabilidad a los gases, se lo usa para envasar mermeladas o platos preparados que precisen de una cocción en el propio envase antes de su consumo.

3.5.2.3 Polipropileno

El polipropileno (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Coles et al., 2003), (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Potter y Hotchkiss, 1999) se fabrica normalmente por extrusión sobre un tambor enfriado. La película formada de esta manera posee una transparencia considerable^a. Generalmente, la impermeabilidad del propileno es algo superior a la del polietileno de alta densidad;

sin embargo, la orientación en forma biaxial del film la reduce. El polipropileno tiene un punto de reblandecimiento superior al del polietileno de alta densidad, pero tiende a hacerse quebradizo a bajas temperaturas. También en este caso la orientación biaxial mejora las propiedades de este material, lo que posibilita su utilización a temperaturas de congelación. Asimismo, la orientación biaxial mejora aún más la transparencia del film.

La película cast se ha utilizado para envolver pan y para la fabricación de bolsas con costuras laterales por soldadura (se suelda mejor de forma térmica). El sellado térmico de la película orientada biaxialmente resulta complicado debido a la pérdida de orientación, y por tanto a la resistencia que se produce en la zona del cierre. Uno de los métodos para dar solución a este problema es emplear el sellado de puntos múltiples, de esta manera el calor suministrado en cada punto de contacto se difunde rápidamente sin peligro alguno para el material; sin embargo, este tipo de cierre no resulta tan impermeable a los gases. Otra de las maneras de solucionar este problema consiste en recubrir la película con un polímero de bajo punto de fusión, por ejemplo, el cloruro de polivinilideno (PVDC) o el polipropileno modificado. La utilización de recubrimientos proporciona la ventaja adicional de minimizar la permeabilidad al vapor de agua y a los gases. Esta clase de películas resulta muy útil para el empaque del queso, tocino y en especial para alimentos muy sensibles a la humedad y al oxígeno, por ejemplo, bizcochos, patatas fritas y productos similares. También se puede usar el polipropileno orientado, que es una envoltura encogible (termocontráctil).

Los polipropilenos tienen más inercia química que los anteriores y son menos permeables al vapor de agua y al oxígeno, por lo que se usan para productos deshidratados, carne, café, pro-

^a Los sajones denominan a este tipo de película *"cast film"*.

ductos lácteos y otros similares. Asimismo, el polipropileno presenta elevada resistencia a los solventes (excepto al xileno), es termoestable, transparente y resistente a la flexión. Se lo emplea en la fabricación de botellas esterilizables en instalaciones adecuadas.

3.5.2.4 Poliestireno

El poliestireno (PS) (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Coles et al., 2003), (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Potter y Hotchkiss, 1999) es permeable al vapor de agua y gases, por lo que resulta adecuado en el embalaje de productos frescos que requieren una película transpirante. Una de sus ventajas principales es la de su completa transparencia. Se usa frecuentemente en forma de tarrinas y bandejas para envasar productos tales como yogurt, cremas, helados, quesos. Los frascos de poliestireno y sus copolímeros raramente se emplean para el envasado de alimentos en conserva, debido a su alta permeabilidad al vapor de agua y a que imparten olores extraños al producto. Se los emplea para el envasado del café en tarros que se cierran con tapas a presión. Las botellas y vasos de PS se han propuesto para el envasado de productos de consumo inmediato, por ejemplo, bebidas no alcohólicas y concentrados de jugos de frutas, siempre que se encuentren exentos de terpenos; puesto que el PS es sensible a estos compuestos y ciertos aceites aromáticos que alteran su estabilidad química.

3.5.2.5 Cloruro de polivinilo

Al habla de las propiedades del cloruro de polivinilo (PVC) (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Coles et al., 2003), (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Potter y Hotchkiss, 1999), se considerará si la película ha sido o no plastificada. Para el embalaje de alimentos se prefiere la película no plastifica-

da, debido a que evita cualquier inconveniente que pudiese surgir debido a la extractibilidad de los plastificantes por parte de los componentes de los alimentos. El cloruro de polivinilo no plastificado se le da forma al vacío, incluso hasta un grosor de 50 [μm], por lo que resulta apto para la fabricación de bandejas para cajas de chocolate, bizcochos y pasteles pequeños. También se usa para la confección de botellas a vacío, formando primero las dos mitades y soldándolas a continuación. Las botellas confeccionadas por este método se emplean para el envasado del vinagre (por la retención del aroma) y de aceites comestibles ya que es muy resistente a los mismos. La película de cloruro de polivinilo también puede ser orientada, con lo que resulta apropiada como envoltura retráctil.

Tanto el PVC como el PS son solubles en cetonas, ésteres e hidrocarburos aromáticos y clorados. Asimismo, son fácilmente coloreables y se clasifican como rígidos o flexibles. El PVC presenta impermeabilidad frente a grasas y aceites, siendo más inerte que el PE desde el punto de vista del aroma. Cuando al PVC se adicionan estabilizantes adecuados, pueden obtenerse botellas muy transparentes como el vidrio. Los plásticos tienen gran facilidad para ser teñidos adicionando los pigmentos adecuados, lo que se aprovecha notoriamente cuando se trata de proteger al producto contra la luz, por ejemplo, en botellas para aceite de oliva. Los frascos de PVC se los puede usar para envasar agua potable, bebidas no alcohólicas (sin o con escaso contenido de CO₂), aceites comestibles, vinagre, salsas a base de soja, vinos, jarabes de frutas y concentrados de sus jugos. Todos estos productos tienen corta o mediana permanencia en el envase. No se recomienda la utilización de estos envases para productos como la salsa de tomate (ketchup), debido a que tienen alta sensibilidad al oxígeno.

3.5.2.6 Cloruro de polivinilideno

El cloruro de polivinilideno (PVDC) (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Coles et al., 2003), (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Potter y Hotchkiss, 1999) junto con el cloruro de polivinilo, forma un copolímero conocido con el nombre de Saran y Cryovac. Esta fue la primera película empleada como envoltura retráctil por acción del agua caliente y es extremadamente impermeable tanto a los gases como al vapor de agua. Se utiliza para el envasado al vacío de queso y como envoltura retráctil para el jamón y el pollo congelado.

3.5.2.7 Poliéster (tereftalato de polietileno)

Esta película es conocida en los Estados Unidos como *mylar*, en Gran Bretaña como *melinex* y en Alemania como *hostaphan*. Es de escasa permeabilidad a los gases, con permeabilidad ligeramente mayor frente al vapor de agua con respecto al polietileno de baja densidad. Presenta una pérdida de resistencia cuando se efectúa el cierre térmico, por esta razón se utilizan adhesivos. El poliéster es excelente por su cristalinidad y su alta resistencia al calor, se emplea como componente de laminados termosellables o fundas esterilizables. Los derivados de la celulosa se usan ampliamente, sobre todo el celofán para el envasado de vegetales frescos, dulces y chocolates (Caballero Abellán, 2018), (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Cruess, 2012), (Potter y Hotchkiss, 1999).



Figura 3.11 Diferentes tipos de películas plásticas

3.5.3 Envolturas encogibles o retráctiles

Las películas encogibles se emplean con diversos propósitos en el envasado de los alimentos. Una ventaja es la posibilidad de empacar productos de formas irregulares como el pollo y jamón. Otra ventaja es la adaptación perfecta a la superficie del producto, lo que reduce notoriamente el crecimiento de mohos y la aparición de ‘quemaduras por el frío’, producto de una deshidratación intensa de la superficie del producto, tal como se presenta en algunas piezas de pollo mantenidas a congelación intensa. Este tipo de envolturas evita la presencia de aire en el que se puede eliminar parte del contenido de agua (Alba y Cuéllar, 2008), (Coles et al., 2003), (Rodríguez Peula, 2013). La encogibilidad de una película cambia sus propiedades en diferente grado:

1. Aumenta su grosor, siendo generalmente proporcional al área de la superficie encogida.
2. Se presenta un descenso de la resistencia a la tensión.
3. Se produce una reducción de la flexibilidad y un aumento en la rigidez.
4. Aumenta la resistencia a la abrasión.
5. Aumenta la resistencia al desgarro.
6. Disminuye la transparencia.
7. Se produce una pérdida en la elasticidad.
8. Disminuye la resistencia al shock.

En la Figura 3.11 se muestran algunos tipos de películas plásticas, mientras que en Tabla 3.11 se describen las propiedades de algunas películas plásticas empleadas para envolturas retráctiles.

	Resistencia a la tensión	Encogimiento máximo	Rango de la tensión de encogimiento	Rango de la temperatura de encogimiento	Rango de temperatura de los túneles comerciales	Temperatura de sellado
	[kg/cm ²]	%	[kg/cm ²]	[°C]	[°C]	[°C]
Polipropileno	1550 - 1830	0 - 80	1 - 42	105 - 175	150 - 230	75 - 200
Cloruro de polivinilo	560 - 1020	0 - 70	0 - 21	65 - 150	110 - 155	35 - 175
Poliéster	1200 - 2500	0 - 50	9 - 105	70 - 120	110 - 155	--
Hidrocloruro de goma	560 - 840	0 - 50	0 - 25	65 - 110	110 - 150	80 - 120
Copolímero de cloruro de polivinilideno	420 - 1400	0 - 60	0 - 15	65 - 110	110 - 150	80 - 120

Tabla 3.11 Propiedades de las películas plásticas encogibles

Adaptado de: Cheftel, J.-C.; Cheftel, H.; Besançon, P. (1989). *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos* (Primera edición) Volumen II. España: Editorial Acribia S.A.

Los procedimientos esenciales para el empaclado en películas encogibles son muy sencillos y consisten en (Coles et al., 2003), (Piergiovanni y Limbo, 2010):

1. Envolver el producto,
2. Aplicar calor para obtener el encogimiento de la película.

Para ello se requiere de maquinaria adecuada para producir la película, para el empaclado del alimento, así como un túnel de encogimiento. La maquinaria en la que se elabora la película está diseñada para utilizar una película plegada longitudinalmente por su mitad, o bien para usar material desplegado directamente. Otras instalaciones con mayor producción utilizan dos rollos de película: con el primero se forma la parte superior del envase y con el otro el fondo. Estas instalaciones pueden ser semiautomáticas o automáticas. Por otra parte, los túneles de encogimiento se encuentran constituidos por un horno de aire caliente equipado con una circulación suficiente de aire y cintas sinfín. La velocidad a la que circula el producto a través del túnel es regulable, de manera que se encuentre expuesto durante un corto tiempo (2 a 3 [min]) al efecto de la temperatura. La baja conductividad térmica de las películas utilizadas no permite que el calor afecte notoriamente al producto envasado.

3.5.4. Fabricación de envases rígidos de plástico

3.5.4.1 Moldeo por inyección

En este método se llena una tolva con PS, PE, PP y PVC en forma de gránulos. Estos gránulos se los trata en un cilindro caliente en el que se agitan por un transportador helicoidal. Cuando se encuentran completamente fundidos, el ma-

terial se inyecta a elevada presión a través de una boquilla estrecha en un molde compuesto de dos mitades. Posterior al moldeo, el plástico es enfriado con lo que adquiere rigidez; el molde se abre y el producto moldeado es expulsado automáticamente. No se requiere de ningún tipo de acabado posterior. Con este procedimiento se pueden fabricar bandejas rectangulares o vasos con sus respectivas tapas, así como recipientes con capacidades de 50 [L] o más. Los moldes empleados son de paredes relativamente gruesas, su tamaño se puede ajustar a tolerancias muy precisas. Existen en el mercado prensas de inyección completamente automáticas para la elaboración de artículos pequeños (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Rodríguez Peula, 2013).

3.5.4.2 Moldeo por soplado

Este procedimiento se utiliza para casi todos los materiales termoplásticos. El ablandado del material plástico se logra de la misma forma que en el moldeo por inyección, pero en este caso el material que sale de la boquilla anular situada en la parte posterior del cilindro caliente es algo más viscoso. La máquina corta una longitud adecuada del tubo, que todavía se encuentra en estado plástico, y es insuflado interiormente con aire a presión, obligándole a distenderse y adoptar la forma de la cara interna del molde en el que se halla. El material plástico que está en contacto con el molde se enfría y solidifica, posteriormente, las dos mitades del molde se abren y la botella terminada es extraída (Figura 3.12). El molde es colocado nuevamente a la salida de la boquilla, en la que se forma un nuevo tubo por soplado. Con este procedimiento se puede obtener gran variedad de recipientes de boca muy angosta, por ejemplo, botellas de 0,1 a 50 [L] de capacidad, así también jerrycans y tanques de hasta 500

[L]. Las paredes del recipiente son de un grosor adecuado para soportar las operaciones de llenado, transporte y vaciado. Se pueden también fabricar botellas de paredes muy delgadas, pero estos demandan cajas resistentes para su embalaje y transporte. Los utensilios necesarios

para el moldeo por soplado son mucho más baratos que los requeridos para el moldeo por inyección (Muñoz Sánchez, 2013), (Piergiovanni y Limbo, 2010).

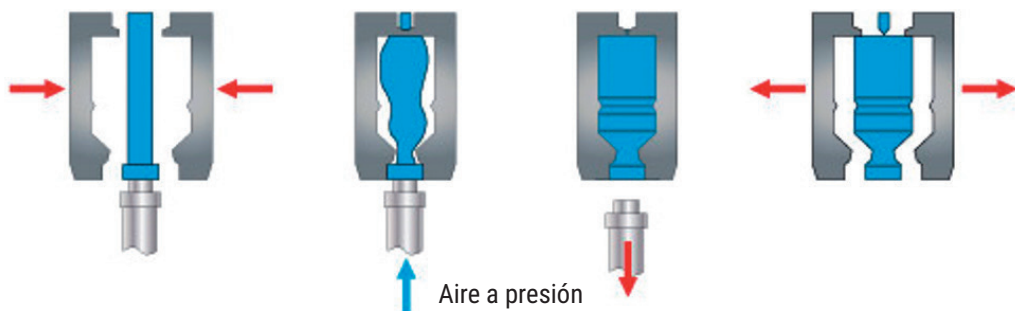


Figura 3.12 Esquema de moldeo de botellas plásticas por soplado

Adaptado de: Krochta, J. M. (2007). *Food Packaging. En Handbook of Food Engineering* (Second edition). Heldman, D. R.; Lund, D. B. (Editors). USA: CRC Press.

3.5.4.3 Moldeo térmico

El material termoplástico en forma láminas rígidas se moldea a la forma definitiva por un procedimiento térmico. En este procedimiento, el material termoplástico proveniente de una bobina es ablandado por el calor, se coloca sobre el molde y es sujetado fuertemente sobre los bordes del mismo, siendo forzado contra

las paredes de este, ya sea induciendo el vacío por la parte inferior o por presión en la parte superior. Posterior al enfriamiento y solidificación, la lámina se separa y posee todos los detalles del molde en que se formó (Figura 3.13) (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Muñoz Sánchez, 2013), (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Rodríguez Peula, 2013).

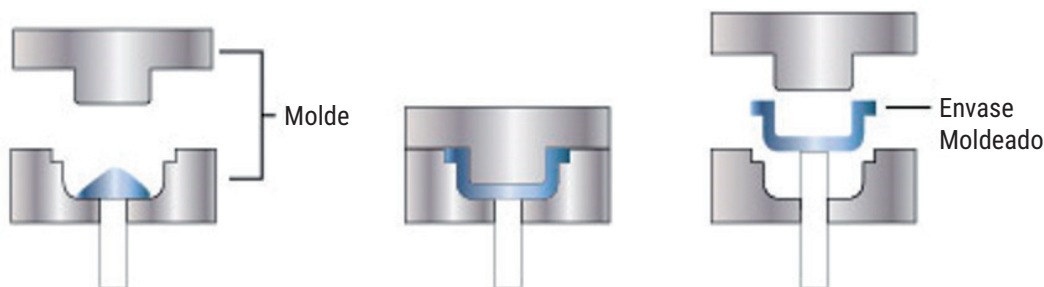


Figura 3.13 Esquema de moldeo térmico por compresión.

Adaptado de: Krochta, J. M. (2007). *Food Packaging*. En *Handbook of Food Engineering* (Second edition). Heldman, D. R.; Lund, D. B. (Editors). USA: CRC Press.

En la práctica, el molde posee varias concavidades en forma de bandejas, la lámina plástica las copia y cada una de ellas es separada del conjunto luego del moldeo para utilizarse individualmente. Algunas veces estas láminas son empleadas como soportes internos (sin fragmentar) para contenedores individuales de huevos o frutas. Los materiales más idóneos para el moldeo térmico son las láminas de poliestireno, polipropileno, polietileno de alta densidad, copolímeros del cloruro de polivinilo y polivinilo rígido. Los factores que determinan la calidad del producto obtenido por moldeo térmico son: relación entre la profundidad, diámetro y la forma de las cavidades del molde, así también el grosor de la lámina plástica a emplearse. Los utensilios empleados para el moldeo térmico son muy sencillos y también menos caros que para el moldeo por inyección o por soplado. No obstante, el material de partida es un producto semiacabado más caro (láminas de plástico rígido) en lugar de gránulos que se usan para el moldeo por inyección o por soplado. Los recipientes fabricados por este método se encuentran entre los recipientes rígidos de plástico más económicos, pues se los puede confeccionar con paredes muy delgadas, por

lo que presentan poca resistencia mecánica. Se los utiliza principalmente para el envasado de alimentos semilíquidos o viscosos que solidifican después de su envasado, por ejemplo, salsa *ketchup*, mermeladas y jaleas o productos secos en forma de cubos, terrones o dulces. No se los emplea para envasar productos muy fluidos ni productos granulares.

3.5.5. Problemas de los envases de plástico

Uno de los graves inconvenientes de los plásticos es la presencia de aditivos que se incorporan en las distintas etapas de su elaboración y transformación, así como restos de monómeros (pues la polimerización no se logra al 100 %). Varias de estas sustancias son tóxicas o de aromas y sabores extraños, por lo que el alimento puede ser afectado en su idoneidad (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Pardavé Livia, 2004), (Piergiovanni y Limbo, 2010). Estos materiales impurificantes pueden ser de dos tipos:

1. Aditivos y residuos de polimerización.
2. Aditivos de fabricación y de acabado.

En el primer grupo están sustancias adicionales intencionalmente para dirigir o mejorar el

proceso de polimerización: catalizadores, tensioactivos, inhibidores de polimerización, así como sustancias no polimerizadas: monómeros y polímeros de bajo peso molecular. En el segundo grupo consta una amplia gama de sustancias adicionadas en los procesos de manipulación de los plásticos: plastificantes, lubricantes, estabilizadores, colorantes o protectores contra radiaciones.

La industria está continuamente ensayando nuevos tipos de aditivos, no únicamente para mejorar las características de los envases, sino también para evitar su toxicidad. Puede decirse que todo tipo de envase, de los usados actualmente para alimentos, es impermeable a los microorganismos; en consecuencia, en un alimento estéril, envasado en un recipiente de plástico cerrado, no pueden tener lugar alteraciones microbianas. Sin embargo, en estos envases hay

siempre una actividad fisicoquímica continua en las interfases del material, tanto con el alimento como en el entorno o medio ambiente, o lo que es lo mismo, una interacción mutua en el sistema *alimento-envase-entorno* (Figura 3.14). En consecuencia, el alimento en el interior del envase queda sometido a cambios químicos que se traducen en alteraciones sustanciales de sus caracteres organolépticos o hasta nutricionales, y en la incorporación de residuos tóxicos que podrían inhabilitarlo para el consumo. Ciertos componentes no volátiles poseen afinidad química con determinados polímeros, por lo que se absorben; tal es el caso de las grasas y aceites que son absorbidos por los polímeros olefinicos, al extremo que estos polímeros se vuelven permeables a tales sustancias (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Potter y Hotchkiss, 1999).

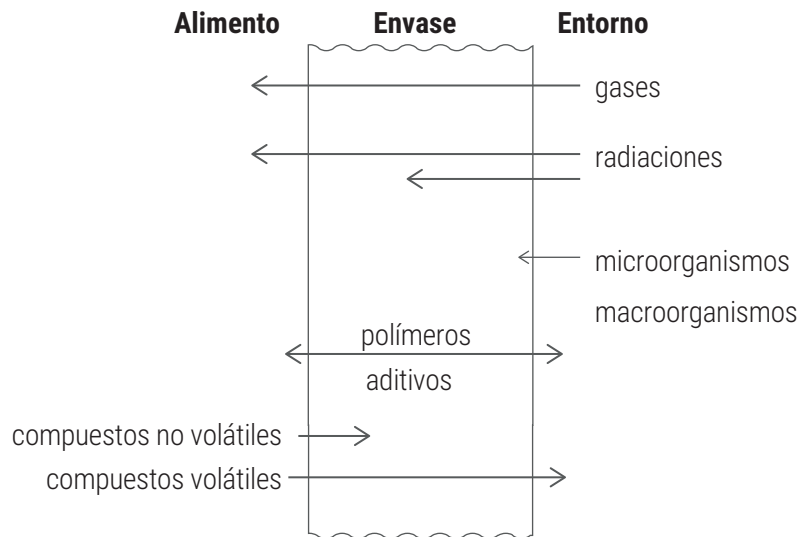


Figura 3.14 Interacciones entre envase, alimento y entorno
Adaptado de: Moros, J. (2002). *Diseño de Empaques Industria Agroalimentaria*.
 (Primera edición) Colombia: Editorial UNAD.

El ambiente inmediato ejerce efectos de importancia, en particular sustancias contaminantes y radiaciones que pueden alterar los envases. En la práctica la mayoría de envases plásticos no son muy alterados, ya sea por el alimento o ambiente; por lo que los problemas más graves constituyen la permeabilidad a gases y radiaciones, así como la migración de masa (aditivos y otros) del plástico al alimento (Robertson, 2017).

3.5.6 Llenado y cierre de recipientes rígidos de plástico

3.5.6.1 Botellas de plástico

Para estos recipientes los tapones de rosca constituyen un sistema muy apropiado. Para obtener cierres herméticos se prefieren los tapones en los que el cierre se produce presionando sobre la boca del envase con un tapón interno secundario más o menos compresible, el cual se mantiene en esta posición por la presión permanente ejercida por la rosca. Estas dos partes del tapón se pueden fabricar en prensas de inyección. En ciertas ocasiones las botellas de cloruro de polivinilo se cierran soldando una lámina de aluminio recubierta internamente por PVC sobre la boca de las mismas. Los tarros se cierran mediante tapas a presión, ajustándose cómodamente por la presencia de un pequeño reborde externo en la zona de cierre en el envase. Estos dos tipos de cierres son reutilizables y resultan muy útiles cuando el envase debe ser abierto y cerrado repetidamente (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Muñoz Sánchez, 2013), (Rodríguez Peula, 2013). Existen también cierres no reutilizables denominados 'garantizados' o 'cierres originales'. Contrariamente a lo que sucede con los cierres reutilizables, este tipo de cierre precisa de máquinas cerradoras especiales. Entre los cierres no reutilizables más seguros tenemos el que consta de dos partes (Cheftel, Cheftel, et al., 1989):

1. Un tapón que presiona contra la superficie interna del cuello del recipiente.
2. Una tapa externa formada de aluminio que lo mantiene en su posición y se fija en un reborde en el cuello de la tapa.

Los cierres tipo corona, cierre tipo *alka* y cierres tipo *pilferproof* se pueden también utilizar en las botellas de plástico con pequeñas reformas. El cuello de las botellas y el tipo de cierre deben ser modificados para evitar tensiones.

3.5.6.2 Bandejas moldeadas por inyección

Para las bandejas moldeadas por inyección, el sistema más apropiado de cierre constituye las tapas a presión que se fijan al correspondiente borde de la bandeja. Se fabrican mediante moldeo por inyección o por moldeo térmico a partir de láminas de material plástico algo elástico. Las fabricadas por el último procedimiento sufren una pequeña tensión al colocarlas, ya que para abrir el recipiente es preciso rasgar la tapa. Este tipo de cierres no son reutilizables y tampoco son completamente herméticos (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Rodríguez Peula, 2013).

3.5.6.3 Bandejas de plástico moldeado térmicamente

Estas bandejas se cierran con tapas a presión fabricadas con el mismo procedimiento. También se efectúan cierres muy simples de un solo uso, en el cual una lámina de aluminio es soldada o pegada al borde de la bandeja. Estas tapas son susceptibles de sufrir deterioros accidentales durante su manejo o transporte. Las botellas, vasos y bandejas se pueden manipular semiautomáticamente o automáticamente en las máquinas llenadoras. Muchas de ellas tienen un dispositivo para cerrar los recipientes luego de ser llenados, pero en algunos casos

el cierre se suele efectuar en otra máquina. Las máquinas que fabrican el recipiente, que lo llenan y lo cierran, utilizan como material de partida una bobina de cinta plástica, en la que por moldeo térmico van formándose las depresiones que constituyen los envases. Luego las tapas son confeccionadas a partir de una segunda cinta que los cubre. A continuación, la trama de envases llenos y cerrados sufre un punteado separándolos en envases individuales. En principio, no existe inconveniente alguno cuando se combina en una sola máquina el moldeo por soplado, el llenado y el cierre de recipientes. Algunos envases fabricados por soplado o por moldeo por inyección precisan un tiempo de enfriamiento en un lugar donde exista buena ventilación para eliminar cualquier olor originado por el calentamiento del material plástico o de la máquina, que podría pasar al alimento (Cheftel, Cheftel, et al., 1989), (Muñoz Sánchez, 2013).

3.6 Envases laminados

La gran diversidad de alimentos envasados hace que en ocasiones ningún plástico posea todas las características necesarias para constituir un buen envase. Por esta razón se recurre a mezclar varios plásticos y laminar la mezcla, con lo cual se obtienen mejores propiedades. En ciertos casos los laminados son mezcla de metal (frecuentemente aluminio), plástico al medio y cartón al exterior. Materiales como el LDPE, HDPE, PP, PA, PETP, PVDC, papel y aluminio, son de uso común para laminados, combinando sus propiedades para dar al producto final las características deseadas. Así se producen envases de triple capa, formados por cartón como capa exterior, plástico y metal, o los de cuádruple capa: *tetra pak* y *tetra brik* (Figura 3.15), con una cuarta capa de plástico sobre el metal. El cerrado de estos envases se lleva a cabo por termosellado (Muñoz Sánchez, 2013), (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Rodríguez Peula, 2013), (Somoza y Gandman, 2004).

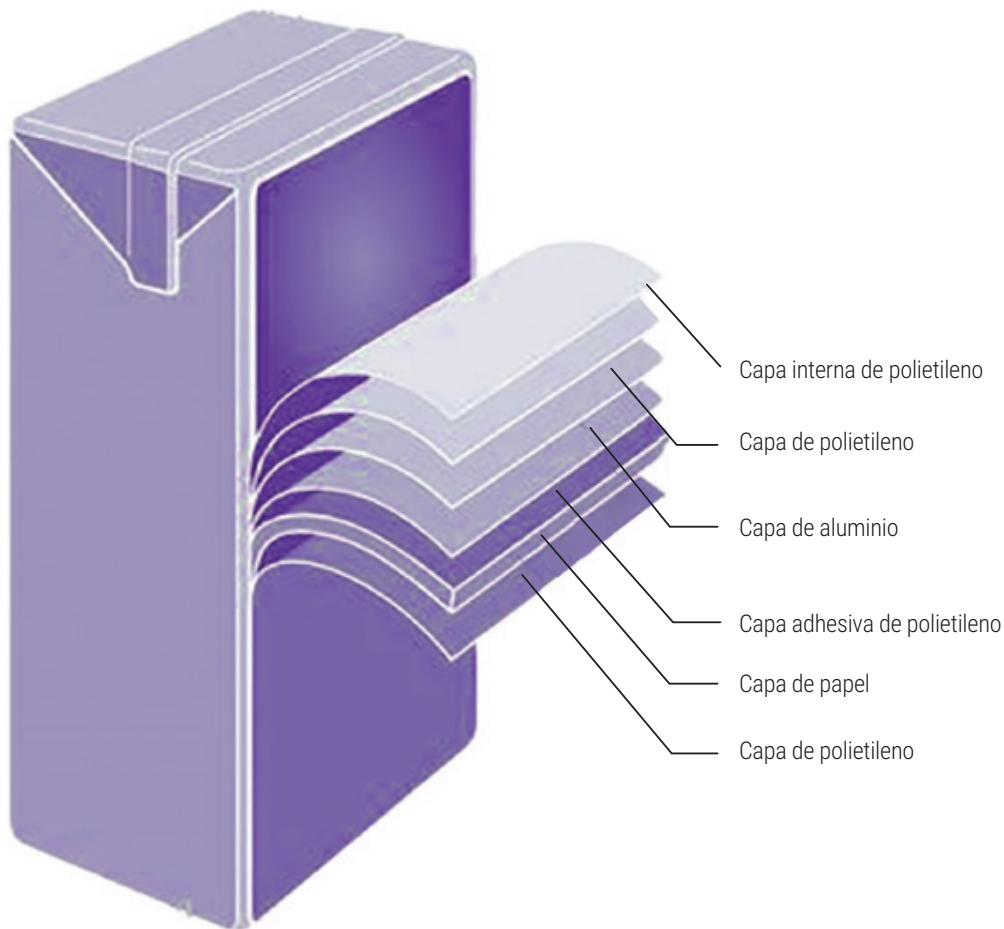


Figura 3.15 Detalle de las capas constituyentes de un envase de tetra pak
Adaptado de: Tetra Pak, <http://www.tetrapak.com>.

Otro tipo de envases laminados constituyen las cajas de cartón. Aunque no entran directamente en contacto con el alimento, sirven para el embalado, apilamiento, almacenamiento y transporte del producto terminado, por ejemplo,

una caja de cartón puede albergar nueve unidades de un producto (Figura 3.16). El corrugado del cartón sirve para impartirle resistencia mecánica a la lámina (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Rodríguez Peula, 2013).

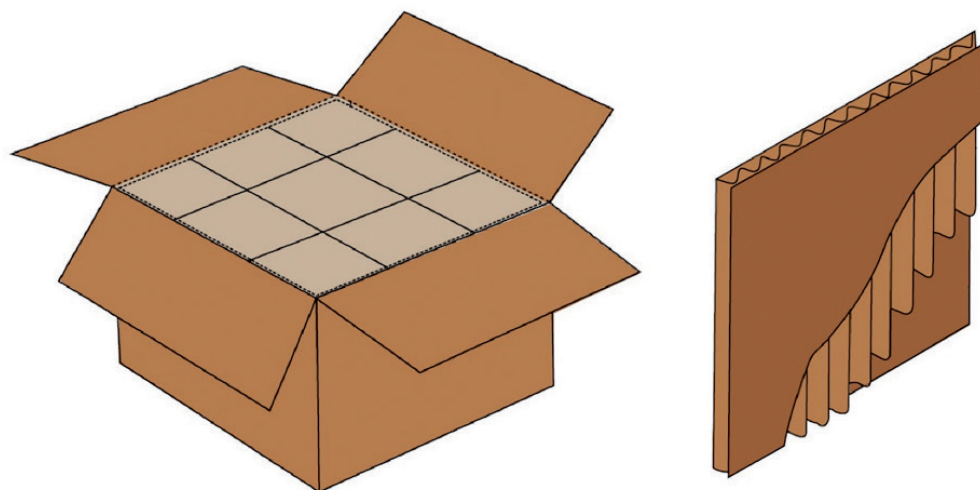


Figura 3.16 Caja de cartón para contener 9 unidades de envases de alimentos (izquierda) y lámina de cartón con corrugado interno (derecha)

Adaptado de: Piergiovanni, L. y Limbo, S. (2010). *Food Packaging. Materiali, Tecnologie e Soluzioni*. Italia: Springer-Verlag.
Rodríguez Peula, M. (2013). *Envasado y Empaquetado de Productos Alimenticios*. España: IC Editorial.

3.7 Envases activos antimicrobianos de alimentos

3.7.1 Envasado activo

Los envases activos e inteligentes comienzan una nueva era en el campo del envasado de alimentos, en los cuales se obtiene provecho de las tecnologías emergentes del sector, puesto que posibilitan la interacción entre materiales plásticos y alimentos. Teniendo esta relación en cuenta, se diseñan envases que no solo contienen el producto, lo conservan y resguardan, sino que también interaccionan con el mismo, extendiendo su vida útil o comunicando al usuario sobre su estado de preservación. Los sistemas usuales de envasado de alimentos actúan de manera pasiva. En gran contraste, el sistema

alimento-envase-entorno del envasado activo trabaja de forma coordinada para prolongar la vida útil de los alimentos, mejorar la aceptabilidad organoléptica, la calidad y seguridad alimentaria y/o facilitar su procesado y consumo (Catalá y Gavara, 2001), (Fernández-Álvarez, 2000), (Robertson, 2017). El envase activo está diseñado para incorporar intencionadamente agentes activos que pueden ser liberados en el alimento envasado o en su entorno, o pueden absorber sustancias del alimento o de su entorno (Higueras Contreras, 2015).

La ventajosa interacción entre el alimento y el envase pueden basarse en la regulación del contenido en gases (oxígeno, dióxido de carbono, etileno y otros), en el control de la humedad

(aditivos antivaho o absorbentes), en la liberación de aromas, saborizantes y/o la retención de compuestos no deseados (naringina y limonina, mercaptanos), en la liberación de compuestos con propiedades antioxidantes y/o antimicrobianas (Brody, Bugusu, Han et al., 2008), (Higueras Contreras, 2015).

Los recipientes de este tipo están obligados a regirse con la normativa referida a todos aquellos materiales que vayan a entrar en contacto directo con los alimentos, Reglamento 135/2004 (Higueras Contreras, 2015), que incluye las limitaciones específicas y globales de migración de las sustancias desde el material. Además de respetar el Reglamento 450/2009 específico de envases activos (Higueras Contreras, 2015), que completa los principios generales definidos en el reglamento antes nombrado y contiene una lista positiva de sustancias autorizadas que podrán utilizarse en los materiales activos. Asimismo, deberán cumplir la legislación específica del material de que se componga el envase (Dainelli, Gontard, Spyropoulos et al., 2008), (Higueras Contreras, 2015).

Por otra parte, todas las sustancias activas que migren al alimento son consideradas aditivos alimentarios o aromas, debiendo seguir también la legislación vigente a este respecto; así como la referente al etiquetado (Higueras Contreras, 2015).

La comercialización de los envases activos comenzó en Japón y Australia en los años ochenta, sin embargo, su empleo en Europa y EEUU ha estado más restringido por una legislación más estricta y un menor conocimiento del consumidor de las ventajas y eficacia de estos sistemas, así como su impacto económico y medioambiental. Hoy en día, América del Norte y Europa, aunque este último menos, suponen el principal mercado para la tecnología de envasado acti-

vo. En los EEUU, en el año 2010, el envasado en atmósfera modificada y el envasado activo e inteligente conjuntamente, representaron el 5 % del mercado total de envases. No obstante, se preveía que el mercado de envases activos e inteligentes en los EEUU superaría el 8 % anual del mercado total de envases y los 3,5 millones de dólares en 2017 (Higueras Contreras, 2015), (Kruijf, Beest, Rijk et al., 2002).

Una presentación de envases activos, que de momento es objeto de diferentes estudios a nivel tecnológico, y que provoca alto interés industrial son los envases activos antimicrobianos, los cuales están destinados a controlar el crecimiento microbiano en el alimento envasado.

3.7.2 Envasado activo antimicrobiano

La presencia de ciertos microorganismos en los alimentos en mal estado que no suelen ser fácilmente detectables, puede provocar enfermedades por causa de toxinas o incluso producir trastornos gastrointestinales graves. En 2012 en Europa, se notificaron 5363 brotes de origen alimentario (siendo España el quinto país que más brotes comunicó), afectando a 55453 personas, resultando en 5118 hospitalizaciones y 41 muertes (Higueras Contreras, 2015). En este sentido, es necesario controlar el crecimiento microbiano ya que es una de las primeras razones del deterioro de los alimentos, lo que implica un enorme problema económico, ambiental y ético en todo el mundo. Por otro lado, actualmente los consumidores demandan productos sencillos de preparar, con más información, libres de aditivos y que hayan pasado por un procesamiento mínimo, manteniendo su frescura y sus bondades organolépticas y nutritivas. Por ello, en los últimos años se están desarrollando tecnologías alternativas a los métodos de conservación tradicionales más agresivos como

puedan ser los tratamientos térmicos para la inactivación microbiana. Los envases activos antimicrobianos incorporan agentes antimicrobianos que inhiben o retardan el desarrollo de los microorganismos en la superficie del alimento o del envase.

Las novedosas tecnologías buscan conservar las propiedades del alimento de origen, ahorrar energía y ser menos ofensivas con el medioambiente, y a la vez ser efectivas contra los microorganismos patógenos y alterantes. No obstante, estas opciones acostumbran ser menos eficaces y pueden no eliminar todos los microorganismos alterantes y patógenos a diferencia de los tratamientos térmicos comunes. Para la aplicación de estas tecnologías de procesamiento emergente que pueden no llegar a ser suficientes por sí mismas, una táctica apropiada es su combinación en lo que se conoce como tecnologías de barreras (*hurdle technology*) (Leistner y Gorris, 1995). En este sentido, el envasado activo presenta un gran potencial para ser utilizado en combinación con otras tecnologías no térmicas de conservación de alimentos.

En la mayoría de los alimentos, la mayor carga microbiana se encuentra en la superficie del mismo, debido principalmente a la recontaminación o contaminación cruzada de la superficie de los alimentos ya tratados. Este inconveniente se está solucionando por medio del uso de sustancias antimicrobianas por inmersión o pulverización. Pero el colocar directamente estos agentes antimicrobianos en la superficie del alimento presenta el inconveniente de poder ser neutralizados rápidamente, interaccionar con componentes del alimento (lípidos o proteínas) o difundir hacia el interior del mismo, precisando mayor cantidad del agente. El resultado es el encarecimiento del producto, además de una

posible modificación sensorial y consecuente rechazo por el consumidor. Por lo que los envases activos antimicrobianos pueden ser una alternativa adecuada al empleo de estos tratamientos en superficie, ya que pueden liberar de forma sostenida el agente antimicrobiano en la superficie del alimento manteniendo concentraciones adecuadas en ella y durante períodos largos de tiempo (Appendini y Hotchkiss, 2002), (Higueras Contreras, 2015) (Véronique, 2008).

3.8 Envases de biopolímeros (películas comestibles)

El uso de materiales más amigables con el ambiente como los polímeros biodegradables, se ha visto como una de las diversas estrategias para minimizar el impacto ambiental. Los materiales biodegradables presentan características y campos de aplicaciones muy prometedores. Existen varios polímeros sintéticos que son biodegradables y compostables a la vez. Los materiales de uso frecuente para la elaboración de envases biodegradables de uso en alimentos provienen de fuentes renovables y se caracterizan por ser capaces de formar películas que presentan propiedades (mecánicas, de barrera y de transmisión de la luz) similares a los plásticos convencionales. Estas películas presentan una alta capacidad de biodegradación, constituyendo una alternativa amigable al medio ambiente. Por estas razones, la producción, el beneficio, la transformación y mercadeo agroindustrial de los biopolímeros autónomos pueden utilizarse en el desarrollo de bioempaques. Por otra parte, estas películas tienen bajo costo y mejoran las características nutritivas, organolépticas y mecánicas de los alimentos. Se utilizan como recubrimientos solubles que brindan buen control sobre la respiración de frutas y hortalizas

(Fabra, López-Rubio y Lagaron, 2014), (Higueras Contreras, 2015), (Rodríguez Peula, 2013), (Sobral, Alvarado, Zaritzky et al., 2008).

En el campo de los polímeros, el término biodegradación hace referencia a la susceptibilidad al ataque de estos materiales por microorganismos. Mediante este proceso se obtiene la desintegración del polímero en pequeños fragmentos debido a la ruptura de enlaces en su cadena principal (Fabra et al., 2014). La biodegradación de plásticos generalmente es un proceso complejo. Debido al tamaño molecular de los polímeros y a su falta de solubilidad en agua, los microorganismos no son capaces de transportar el material polimérico a sus células donde la mayoría de procesos bioquímicos tienen lugar, por lo que inicialmente excretan enzimas extracelulares que depolimerizan el material fuera de las células. Los productos finales de este proceso metabólico son agua, dióxido de carbono, metano (biodegradación anaerobia) y materia orgánica (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Sobral et al., 2008).

Se había indicado que los envases son utensilios de gran utilidad que ayudan a conservar los alimentos, desarrollando una barrera que permite alargar su vida útil y conservar su sabor, además de brindarles protección contra golpes y cambios de temperatura. No obstante, la mayoría de envases provienen de hidrocarburos, los cuales son los principales causantes de problemas ambientales, entre ellos, la emisión de gases de invernadero (metano, óxido nitroso y dióxido de carbono). Siendo este el motivo por el cual se propone la utilización de los biopolímeros como una solución ante la bioacumulación generada por los residuos plásticos (Piergiovanni y Limbo, 2010), (Krochta, 2007).

Los biopolímeros son macromoléculas sintetizadas por procesos biológicos o por vía química a partir de monómeros naturales, ya sean agrícolas, de síntesis química o de microorganismos. De esta manera, los biopolímeros generan una alternativa de solución ante la problemática ambiental antes descrita, pues la utilización de estos materiales en cualquier campo de aplicación reduciría la contaminación debido a que el cambio se daría en el origen del problema. De hecho, esta nueva alternativa en el envasado generará grandes ventajas ya que trata de potenciar y aprovechar las interacciones del sistema alimento-envase-entorno actuando de forma coordinada para mejorar la salubridad y la calidad del alimento envasado y aumentar su vida útil (Fabra et al., 2014), (Grujić, Vujadinović y Savanović, 2017).

Estas películas están constituidas por los siguientes biopolímeros (Fabra et al., 2014), (Rodríguez Peula, 2013), (Sobral et al., 2008):

1. Biopolímeros extraídos directamente de la biomasa (almidones y almidones modificados).
2. Quitosano.
3. Polihidroxialcanoatos (PHAs).
4. Agar.
5. Gelatina.
6. Gomas.
7. Proteínas vegetales (gluten de trigo, proteína de soya, zeína de maíz).
8. Proteínas animales (gelatina y colágeno, caseína).

Entre los biopolímeros extraídos directamente de la biomasa destacan los obtenidos a partir del almidón. El almidón es un polisacárido formado por la mezcla de los polímeros amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula lineal

y la amilopectina es una molécula ramificada. Los almidones más comunes contienen alrededor del 25 % de amilosa y 75 % de amilopectina. El 75 % de los polímeros de almidón se utilizan para la fabricación de envases y embalajes. El 50 % de ellos están constituidos por mezclas de almidón con otros polímeros basados en petroquímica. Las mezclas de almidón con poliésteres alifáticos mejoran su procesabilidad y biodegradabilidad, para ello, los poliésteres más adecuados son la policaprolactona (PCL) y poliésteres alifático-aromáticos. Estas mezclas se utilizan para fabricar láminas y películas de alta calidad para embalajes. Otros envases biodegradables constituyen los fabricados a base de almidón de yuca, los cuales promueven la conservación de las propiedades de calidad en la fresa y zarzamora a temperatura de refrigeración. Ambas frutas se conservaron hasta siete días a temperatura ambiente y nueve días en refrigeración, empleando el envase (mayor tiempo que sin envase) (López, Chávez y Chuquizuta, 2017).

El quitosano se deriva de la *N*-desacetilación parcial de la quitina. La quitina se localiza en el exoesqueleto de los crustáceos, en la pared de los hongos y en otros materiales biológicos (algas verdes), y representa uno de los biopolímeros más abundantes de la naturaleza después de la celulosa. Debido a las excelentes propiedades funcionales y biológicas que posee, el quitosano se ha empleado solo y en combinación con otros polímeros naturales (por ejemplo, almidón, gelatina, alginatos y otros); en la industria de alimentos, farmacéutica, textil, agraria, tratamiento de aguas y de cosméticos. En los últimos años este polímero se ha aplicado en la elaboración de películas y recubrimientos comestibles por ser un material biodegradable, no tóxico y biocompatible, además de poseer capacidad filmogénica. Las películas obtenidas a partir de quitosano son claras, fuertes, flexibles

y con buenas propiedades de barrera al oxígeno y dióxido de carbono (Pardavé Livia, 2004), (Sobral et al., 2008).

Los polihidroxialcanoatos (PHAs) son biopolímeros que algunos microorganismos acumulan como reserva de carbono y energía y son producidos cuando hay limitaciones nutricionales en el medio. El sistema genético asociado con la producción de PHAs codifica para diversas proteínas formadoras de gránulos citoplasmáticos. Estos biopolímeros han ganado importancia debido a que pueden ser utilizados reemplazando materiales como el plástico, que actualmente genera gran acumulación y se ha convertido en un alto foco de contaminación ambiental debido a su lenta degradación. La principal ventaja de los PHAs frente a los plásticos derivados del petróleo es que al ser producidos por microorganismos son biodegradables y no existe acumulación. Los polihidroxialcanoatos tienen diversas aplicaciones entre los que se destacan: empaques de larga y corta duración, injertos utilizados en medicina, productos de higiene y biocombustibles.

El agar (también denominado agar-agar) se obtiene a partir de dos algas rojas: *Gelidium sp.* y *Gracilaria sp.*, principalmente. Está constituido por una mezcla heterogénea de los polisacáridos agarosa (fracción gelificante) y agaropectina (fracción no gelificante), la cual se encuentra ligeramente ramificada y sulfatada. Las películas de agar son claras, aunque son frágiles y poco flexibles. Además tienen la particularidad de ser insolubles en agua en condiciones ambientales (al igual que el agar solo). La naturaleza lineal y no iónica del agar permite que las moléculas hidratadas se asocien más estrechamente, formando una red que se estabiliza por enlaces de hidrógeno intermoleculares durante el secado de la película.

3.9. Envases de madera

Aquí se tienen a los barriles (Figura 3.17), que son contenedores de gran volumen que se fabrican con madera seca de roble (18 % de humedad). Se arman y se afirman con aros de hierro

con remaches. La superficie interior debe cubrirse con una capa de esmalte o de caseína. Estos contenedores se usan para añejamiento de bebidas alcohólicas como vino y whisky (Caballero Abellán, 2018), (Somoza y Gandman, 2004).



Figura 3.17 Barriles para añejamiento de bebidas alcohólicas

3.10 Bidones

Son envases usados para el transporte de grandes volúmenes (5 - 400 [L]) de alimentos procesados o en proceso, tales como cerveza o pasta de tomate (Figura 3.18). Estos envases son mayoritariamente elaborados con hojalata de hierro dulce debido a su gran resistencia mecánica durante el transporte. Sin embargo, en algunos casos tienen un recubrimiento especial interno a base de lacas y materiales plásticos (epoxi o fenólicos) (Moros, 2002), (Ostrovski, 1980), (Potter y Hotchkiss, 1999). Las principales características de los bidones son:

- a. Pueden almacenar de forma hermética cualquier tipo de sustancia sólida, líquida, en pasta o en polvo.
- b. Resisten muy bien a las condiciones ambientales, tales como humedad, fuego e incluso impactos mecánicos como la punción.
- c. Se pueden rotular de forma temporal (pintado) o de forma permanente (estampado) en su cuerpo o tapas.
- d. Son fáciles de transportar de forma manual (rodado) o mecánico (montacargas).
- e. Pueden ser reutilizables para el mismo tipo de producto, siendo necesario únicamente un lavado.

f. Se los puede usar para almacenamiento de otros alimentos, siempre y cuando se tomen las precauciones respectivas para evitar contaminación cruzada.

g. Se los puede usar como basureros, boyas o como chatarra para reciclado.



Figura 3.18 Bidones usados para el transporte de pulpa de frutas

3.11 Tendencias en el empackado de alimentos

Algunas tendencias en el empackado de alimentos fueron ya discutidas, por ejemplo la combinación de materiales (*tetra pak*) o el uso de películas biodegradables. No obstante, existen otras tendencias que buscan mejorar la calidad de los alimentos envasados, con impacto ambiental mínimo e incluso con ciertas tendencias sociales y culturales. También se pueden citar los avances logrados en envases flexibles, diversos tipos de envases para esterilización directa en el autoclave, envases específicos para el procesado no térmico de alimentos (algunos de los cuales se tratarán en el Capítulo 9), envases con atmósferas modificadas, envases activos, envases inteligentes, entre otros (Grujić et al., 2017), (Krochta, 2007). Por otra parte, la aplicación de la nanotecnología abre nuevas posibilidades para mejorar los biopolímeros,

tanto en sus propiedades como en la relación costo-precio-eficiencia. Los nanocompuestos a base de biopolímeros son temas de investigación en el área de la ciencia de materiales, electrónica y biomédica. Un nanobiocompuesto es un material híbrido que consiste en una matriz biopolimérica reforzado con una fibra, una plaqueta o partícula que tiene una dimensión en la escala nanométrica. Debido a las partículas de tamaño nanométrico y dispersas en la matriz biopolimérica, estos nanobiocompuestos exhiben una notable mejora en las propiedades mecánicas, térmicas, ópticas y fisicoquímicas en comparación con el polímero puro o los convencionales. Esas mejoras incluyen, por ejemplo, el aumento del módulo de elasticidad, fuerza y resistencia al calor, así como la disminución de la permeabilidad a los gases y a la inflamabilidad (Fabra et al., 2014), (Grujić et al., 2017).



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa
Editora

Principios de conservación **de alimentos**



04

4.1 La técnica de la Appertización

Los descubrimientos, en esencia, son combinaciones de observaciones prácticas y de datos almacenados en la memoria. Un descubrimiento se compone de varios aspectos conocidos pero desorganizados, más ciertas partes que añadidas a la información ya conocida, origina un concepto no aplicado antes. El proceso del enlatado, tal como se lo realiza hoy en día, es el producto de un proceso similar. Hacia fines del siglo XVIII, Francia estuvo en guerra y con dificultades para alimentar a su pueblo. El ejército de Napoleón recibía una dieta de carne descompuesta y otros alimentos de mala calidad, a pesar de que varios de

ellos eran almacenados o transportados en estado seco. Identificado como un problema prioritario, se ofreció una jugosa recompensa para la persona que inventara un método que facilite la conservación de alimentos. Nicolás Appert (Figura 4.1) era un confitero francés que trabajaba en la cocina, donde observó que al calentar un alimento en recipientes cerrados y sellados se conservaban, si el recipiente no se reabría o su sello no era roto. A este proceso lo llamó modestamente “el Arte de la Appertización”. Appert obtuvo la recompensa ofrecida por Napoleón luego de pasar 10 años experimentando su descubrimiento (Heldman, 2013), (Vanaclocha y Abril Requena, 2003).



Figura 4.1 Nicolas François Appert

Adaptado de: Heldman, D. R. (2013). *Food Preservation Process Design*. USA: Academic Press.

En aquel entonces, la causa de la alteración de los alimentos era ignorada. Los científicos de aquellos días se dieron cita para evaluar el proceso propuesto por Appert y dar explicaciones para su éxito. Ellos concluyeron que el éxito se debía a que el alimento envasado se combinaba con alguna forma mágica y misteriosa de aire que evitaba la putrefacción. Obviamente, esta conclusión fue bastante incorrecta. Sin embargo, el proceso de envasado se practicó durante los 50 años siguientes con relativo éxito, aunque se desconocía su fundamento (Heldman, 2013), (Ostrovski, 1980).

Appert comenzó a trabajar en su método en 1795, pero fue Peter Durand quien en 1810 recibió en Inglaterra las patentes para recipientes de metal y vidrio para el envasado de alimentos. Los primeros recipientes metálicos eran imperfectos, pesados y difíciles de sellar. Por 1823 se inventó una lata con un agujero en la parte superior que permitía que el producto fuera calentado en un baño de agua a ebullición (baño maría). El agujero estaba cubierto con una tapa suelta, la cual luego del tratamiento térmico era soldada en su lugar. En 1824, Appert desarrolló lineamientos para el procesamiento de 50 alimentos enlatados diferentes. Los estofados y las carnes procesadas por Appert fueron llevados por Sir Edward Perry este mismo año en su búsqueda de un paso por el noreste a la India. Algunas latas de alimento de este viaje, que sobraron y habían sido guardadas en el Museo Marítimo Nacional en Londres, fueron abiertas en 1938. De estos productos enlatados se aislaron las bacterias que permanecieron en estado latente durante 114 años, las cuales se desarrollaron luego de darles el medio y sustrato adecuado (Heldman, 2013), (Vanaclocha y Abril Requena, 2003).

Las plantas procesadoras de productos enlatados aparecieron en Estados Unidos en la década de 1820 en Boston y Nueva York. Alrededor

de 1830 estaba siendo procesado en Maine el maíz dulce. Para 1840 comenzaron a aparecer plantas enlatadoras por todos los Estados Unidos. Se observó que si se disponían de altas temperaturas, los alimentos se procesaban en intervalos de tiempo corto. Asimismo, se observó que la adición de sal aumentaba la temperatura de ebullición del agua. Las demandas de una producción mayor se podían atender si el tiempo de proceso térmico se reducía. Por ejemplo, el procesamiento térmico de carnes enlatadas en baños de agua a ebullición se reducía de 6 [h] a 30 [min], procesando las latas en una solución de cloruro de calcio en agua. Con ello, la producción aumentaba de unas 2000 latas a aproximadamente 20000 latas/día. Debe recalarse que las pérdidas debidas a fallas en los recipientes eran grandes (Heldman, 2013).

En 1851, Chevalier-Appert construyeron un autoclave que minimizaba los peligros que implicaba el procesamiento con presiones de vapor. La temperatura a la que hierve el agua depende de la presión. De esta manera, usándose recipientes a presión se logró alcanzar temperaturas cercanas a 116 [°C]. A pesar de ello, estas autoclaves eran muy peligrosas de operar y las latas comerciales de aquel entonces no soportaban presiones internas desarrolladas por el calentamiento a 116[°C] (Ostrovski, 1980).

4.2 Descomposición de los alimentos originada por microorganismos

Hacia mediados del siglo XIX, el tema de la 'generación espontánea' de vida era la mayor controversia científica dentro de las universidades. En aquella época, Louis Pasteur se interesó en los problemas que se presentaban en las industrias del vino y la cerveza de Francia, las que se encontraban amenazadas por la descomposi-

ción y agriado producto de la generación espon-
tánea de vida en las botellas y barriles (Frazier,
2000), (Leveau y Bouix, 2000), (Vanaclocha y
Abril Requena, 2003).

En 1864, Pasteur dio a conocer a la Academia
de Ciencias en Francia que había identificado el
origen del deterioro del vino y la cerveza; expli-
có que se debía a una vegetación microscópica
que se reproducía y descomponía los alimentos
si tenía las condiciones favorables. El vino her-
vido y sellado en jarras con tapones con algo-
dón, no se agriaba. Para la descomposición del
producto estos microorganismos debían encon-
trar la manera de penetrar a los alimentos cal-
entados. Así podía explicarse el éxito de Appert
más de medio siglo antes. Gracias a los aportes
científicos de Pasteur se introdujo el concepto
de '*tratamiento térmico*', actualmente conocido
con el nombre de pasteurización (Leveau y Bouix,
2000), (Vanaclocha y Abril Requena, 2003).

Appert estableció que los recipientes para los
alimentos debían ser sellados y calentados cui-
dadosamente. La limpieza fue el factor princi-
pal para el desarrollo de su proceso, aunque en
la completa ignorancia de la descomposición
causada por los microorganismos. Pasteur es-
tableció que los cambios en el vino dependían
del desarrollo de gérmenes en él, denominados
'los espíritus de la enfermedad'. Los gérmenes
eran transportados al alimento por el aire, ma-
teria prima, maquinaria e incluso por la gente.
Siempre que el vino permanecía exento de or-
ganismos vivos, el producto permanecía sin
cambio (Vanaclocha y Abril Requena, 2003).

Con el trabajo de Appert se introdujo el término
'hermético', que se define como un sello tal que
evita la entrada de microorganismos. El sellado
hermético es indispensable no solo para preve-
nir una recontaminación del alimento, sino tam-
bién para evitar la transferencia de gases. No
obstante, a pesar de lo expuesto anteriormente,

se debe indicar que existen microorganismos
resistentes a los tratamientos térmicos y capa-
ces de descomponer los alimentos enlatados
aun después de ser sometidos al régimen de
temperaturas letales. Adicionalmente, existen
bacterias termófilas que pueden desarrollarse a
75 [°C]. Si los envases no son enfriados opor-
tunamente, estos microorganismos sobrevi-
vientes al tratamiento de calor se desarrollan y
descomponen el alimento (Frazier, 2000), (Held-
man, 2013), (Mossel, Moreno y Struijk, 2003).

4.3 Industria de conservas alimenticias

La conservación de alimentos puede canalizar-
se por el procedimiento conocido como método
de Appert; el cual engloba una serie de operacio-
nes, algunas de las que pueden cambiar depen-
diendo del producto que se quiere conservar.
Aquí enlistamos un conjunto de procesos que
constituye una actualización al procedimiento
tradicional de Appert (Charley, 2012), (Heldman,
2013), (Ostrovski, 1980).

4.4 Método de Appert

4.4.1 Operaciones de preparación

1. Requisitos de la materia prima.
2. Transporte y almacenamiento en la fábrica.
3. Calificación de la materia prima: clasifica-
ción, calibración e inspección (incluye la de-
cantación y el tamizado).
4. Limpieza y lavado.
5. Otras operaciones: nueva selección, pela-
do, cortado.

4.4.2 Operaciones de transformación gradual

6. Blanqueamiento.
7. Operaciones específicas:
 - a. freimiento y sofreimiento.
 - b. obtención de jugos.
 - c. fluidificación.
 - d. filtración.
 - e. pasteurización.
 - f. mezclado.
 - g. concentración.
 - h. deshidratación.
 - i. acidificación.
 - j. preparación de almíbares y salsas.
8. Calibración y selección del material a envasar
9. Envasado en caliente o en frío.
10. Evacuado mecánico o con vapor.
11. Cerrado de envases.
12. Esterilización.
13. Enfriamiento.

4.4.3 Operaciones de acabado

14. Almacenamiento y control de calidad.
15. Selección final de envases.
16. Etiquetado.
17. Comercialización.

4.5 Diagramas de flujo

Los diagramas de flujo, llamados *flowsheet* o cartas de flujo, nos permiten ilustrar en forma de un algoritmo el conjunto de pasos que tienen lugar en un procesamiento tecnológico, sea de la índole que fuere. Cuando estamos al frente de un procesamiento, es conveniente comenzar diferenciando los conjuntos de operaciones relacionadas (bloques) y además el grado de su relación interna. Es siempre posible, en un proceso tecnológico industrial, separar estos conjuntos con moderadas restricciones. Los primeros grandes conjuntos, que dan como resultado el diagrama de bloques serían (Carrión, 1995), (Rodríguez Peula, 2013), (Vnaclocha y Abril Requena, 2003): operaciones de preparación de la materia prima, operaciones de transformación gradual y operaciones complementarias y de acabado del producto (Figura 4.2) (Vasconcellos, 2004).

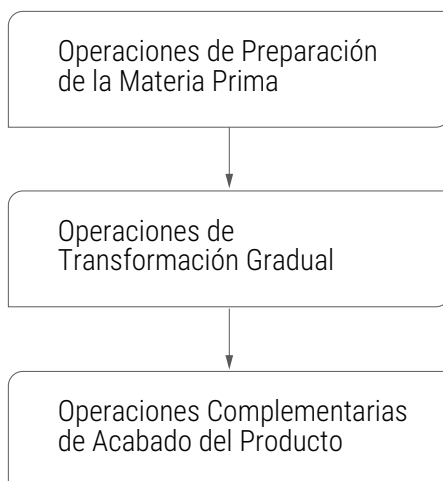


Figura 4.2 Diagrama de flujo o diagrama de bloques

En cada uno de tales conjuntos, sobre todo en el de transformación gradual, se presentan frecuentemente iteraciones (bucles o ciclos) hasta obtener las características requeridas, que son el resultado de los análisis llevados a cabo durante el proceso. Ahora bien, dentro de cada conjunto pueden existir operaciones encadenadas,

manteniendo una relación de dependencia horizontal (Figura 4.3 izquierda) o relación de dependencia vertical (Figura 4.3 derecha); relación que siempre es importante distinguirla, pues de ello dependerá varios hechos posteriores, por ejemplo la correcta ubicación de los equipos (Muñoz Sánchez, 2013), (Rodríguez Peula, 2013).

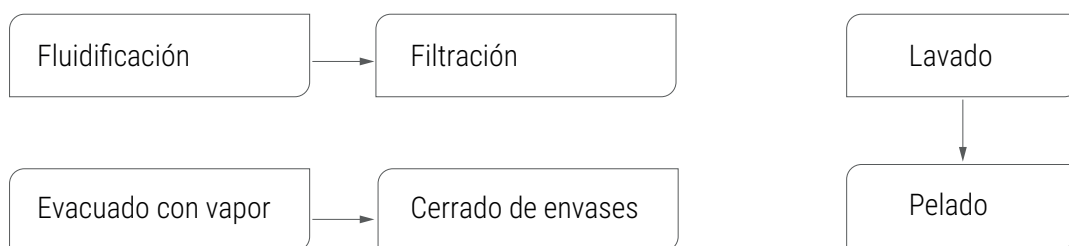


Figura 4.3 Operaciones de dependencia horizontal (izquierda) y operaciones de dependencia vertical (derecha)

Las operaciones con dependencia horizontal son aquellas que se realizan simultáneamente o con una sucesión sin solución de continuidad, de tal forma que un proceso se genera en la terminación del anterior sin tiempo de espera. En tanto que las de dependencia vertical son aquellas que teniendo un encadenamiento normal y

aunque en forma sucesiva, pueden realizarse con ciertas pausas o intervalos, sin que el proceso global se vea afectado. También se tienen las operaciones de selección: química, física u organoléptica, que se representan como polígonos de opciones (Figura 4.4).

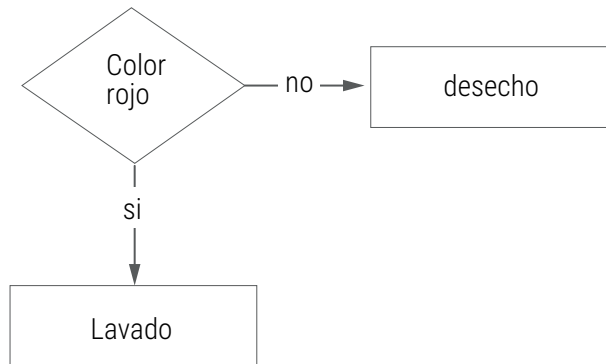


Figura 4.4 Operaciones de selección

Adicionalmente existen operaciones de iteración o retroalimentación (*feedback*) que generan lazos. Otros procesos se realizan en forma simultánea o paralela, para confluir en un proce-

so posterior. En la Figura 4.5 se esquematiza la interrelación entre diversas operaciones para la elaboración de frutas en almíbar.

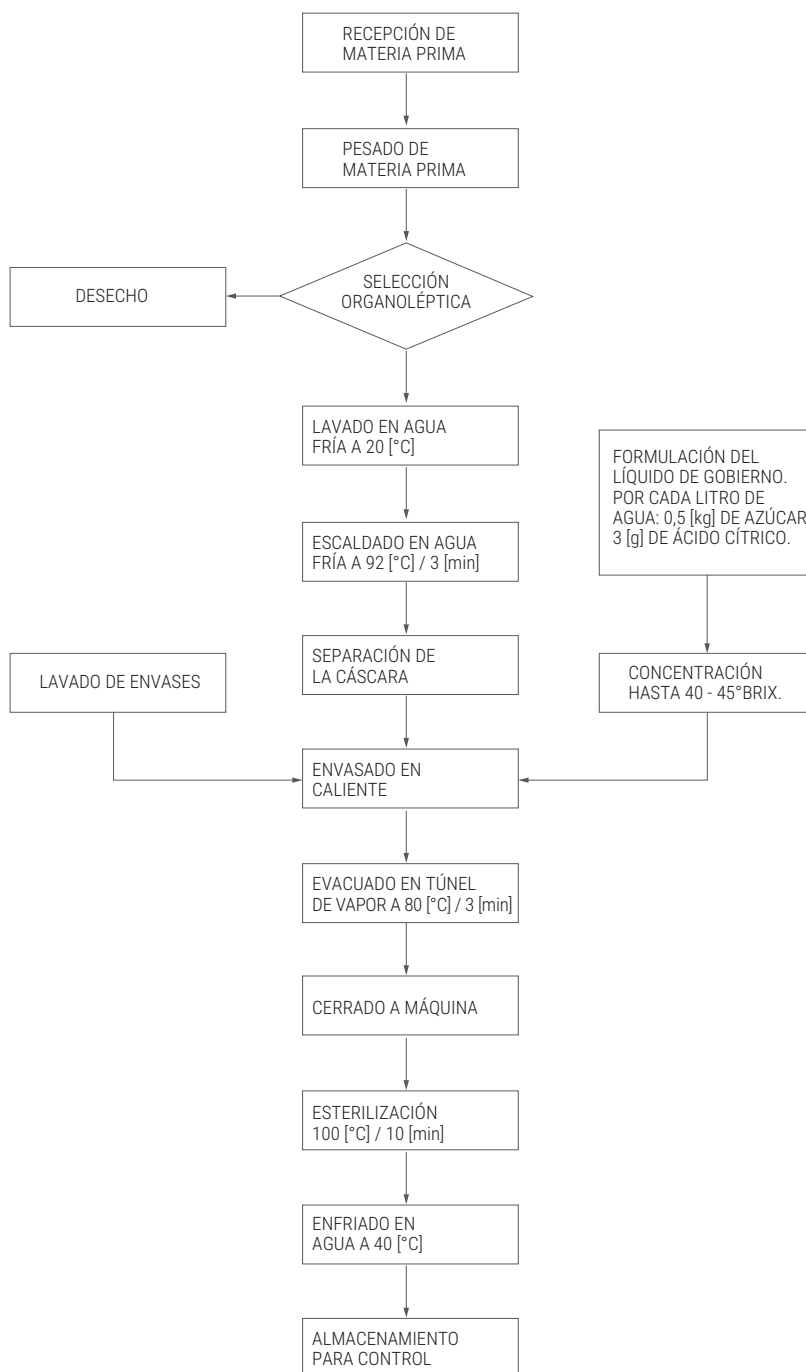


Figura 4.5 Diagrama de flujo para la elaboración de frutas en almíbar

4.6 Requisitos de la materia prima

El objetivo primordial del proceso de conservación es mantener la calidad de los materiales que llegan a la fábrica, por lo que se debe propender al uso de materias primas de la mejor calidad posible. En consecuencia, se debe mejorar la calidad del material que se cultiva, así como su suministro.

1. El cultivo selectivo de materia prima nos lleva a mejorar la idoneidad o atributos de calidad.
2. Programación del crecimiento y adquisición de materia prima. Preferentemente no se debe adquirir en el mercado libre.
3. Recolección.

4.6.1 Cultivo selectivo de materia prima

Selección por las características de:

- 1a. color: hortalizas verdes, tomates rojos.
- 1b. forma: patatas lisas, judías rectas.
- 1c. función: naranja agria para mermeladas.
- 1d. sabor aceptable.
- 1e. estructura:
 - 1e1. resistencia al deterioro mecánico.
 - 1e2. resistencia a las condiciones del proceso.
- 1f. (hábitos de) crecimiento: guisantes de tallo bajo y vertical.
- 1g. madurez:
 - 1g1. grado de madurez sobre la calidad.
 - 1g2. grado de madurez sobre eficiencia del proceso.
 - 1g3. predicción de la madurez.
 - 1g4. extensión de la estación de recolección.

4.6.2 Programación del crecimiento y adquisición de materia prima

- 2a. acordar el plan de corte.
- 2b. suministro de semillas selectas, fertilizantes y equipo.
- 2c. señalamiento de fechas de recolección necesarias.
- 2d. proporcionar asesoramiento técnico.
- 2e. proporcionar equipos para cosecha o mano de obra.

4.6.3 Recolección

Durante los procesos de recolección hay que evitar deterioros mecánicos, tales como rasguños, magulladuras y cortaduras, pues representan la puerta de ingreso para las alteraciones por ataque microbiano, pérdida de zumo, entre las principales; con brusco deterioro de la materia prima (Vasconcellos, 2004).

4.7 La calidad

Es un concepto fundamental en cualquier tipo de industria, sea grande o pequeña, de manufactura o de servicios. Todas las personas tienen alguna idea de la definición de calidad, aunque su concepto como tal es algo complejo. La Sociedad Americana para el Control de la Calidad (ASQC) define la calidad como el conjunto de características que a un servicio, proceso o producto, le confieren su aptitud para satisfacer las necesidades del cliente. Es importante aclarar ciertos mitos, ya que Calidad no corresponde necesariamente a tamaño o lujo, puesto que existen productos de alta calidad que son artesanales o con diseños sencillos (Pola, 2009), (Vasconcellos, 2004).

La calidad es ampliamente definida y parte desde la investigación de la aceptación de un alimento en un mercado potencial, diseño del producto, su posterior manufactura, para extenderse hasta que el alimento es adquirido y consumido por el cliente. Por tal razón, es necesario que la calidad de un producto sea un concepto internalizado de tal suerte que se procesen y comercialicen alimentos inocuos y aceptados por los consumidores. Sería erróneo decir que el control de calidad se reduce exclusivamente a una inspección por parte del personal del departamento de calidad y que se limita exclusivamente a la recepción de materias primas, a ciertos procesos de manufactura y muy poco al producto final. Actualmente el control de calidad se proyecta a satisfacer las expectativas y necesidades de los clientes en función de un uso adecuado de los productos y servicios (Muñoz Sánchez, 2013), (Rodríguez Peula, 2013). Para el Dr. Kaoru Ishikawa un auténtico control de calidad consiste en desarrollar, diseñar, producir y brindar un producto o servicio de calidad, sin dejar de lado el ser lo más económico, útil y siempre satisfactorio al consumidor (Ishikawa, 1994).

4.7.1 Programa de control de calidad

Se deben considerar varios aspectos para realizar un programa de control de calidad en la industria alimentaria (Durán, 2007), (Madrid et al., 1994), (Vanaclocha y Abril Requena, 2003), (Vasconcellos, 2004):

- Inspección y control de materias primas, aditivos y productos de embalaje que ingresan a la empresa.
- Control del proceso de manufactura.
- Control de calidad del producto final.
- Asegurar la trazabilidad del producto. Es un aspecto que no se debe descuidar, dado que anularía todo el trabajo anterior.

Algunos aspectos que se deben considerar para obtener alimentos de buena calidad son:

- Manuales de proceso de elaboración estandarizados para cada producto.
- Uso y calibración de equipos específicos.
- Control de la temperatura y tiempo de procesamiento.
- Calidad del alimento a ser envasado.
- Control de los límites de peso o volúmenes de envasado.
- Etiquetado apropiado, indicando la información regulada para cada país.

Especificaciones para los diferentes aditivos, materias primas, producto en proceso y producto final, los que deben incluir mediciones de características fisicoquímicas:

- sólidos solubles.
- acidez.
- pH.
- Análisis para asegurar que los estándares nutricionales y de estabilidad se cumplan.

La planta de producción debe ser inspeccionada regularmente para:

- Asegurar buenas prácticas de manufactura (BPM).
- Verificar el cumplimiento de las normas de la empresa.
- Garantizar normas de seguridad industrial.
- Asegurar y mantener bajo impacto ambiental.
- Optimizar y mantener la conservación de energía.

4.7.2 Control de calidad en materias primas

Cuando la materia prima llega a la fábrica debe pasar por un proceso de control inicial, en el que se verifica el buen estado y frescura de la misma. Las carnes deben ser de animales sanos y bien cebados. Los peces tienen que estar sin síntomas que muestren insuficiente frescura. Las frutas y hortalizas tendrán que estar en el grado de madurez adecuado, pues las muy verdes poseen baja calidad gustativa e insuficiente materia alimenticia, mientras que las demasiado maduras se estropean fácilmente. La calidad de la materia prima se controla muchas veces por las características organolépticas; sin embargo, es preferible, siempre que sea posible, hacer un control físico, químico e incluso microbiológico (Vasconcellos, 2004).

El grado de madurez de las frutas durante el almacenamiento posterior al corte del árbol, puede ser controlado mediante la medición del índice de refracción (grados *Brix* o °*Brix*) realizada en el jugo (Tabla 4.1). Por ejemplo, se puede conocer el tiempo de maduración del banano, debido a que presenta un incremento del contenido de azúcares expresado en °*Brix* a medida que avanza la maduración desde el corte del racimo (Alvarado, 2001b). De manera similar, en frutas como la naranja se realiza un análisis del contenido de sólidos solubles y acidez, con los que se establece la relación de madurez (Yúfera, 1979):

$$R = \frac{\% \text{ sólidos solubles}}{\% \text{ acidez}} \quad (4.1)$$

R entre: 12 - 18	(calidad A)
9 - 12 o 18 - 22	(calidad B)
< 9 o > 22	(calidad C)

Esta misma relación de calidad se aplica a jugos de otras frutas cítricas, por ejemplo, limón, pomelo, maracuyá y taxo. Los agrónomos le llaman 'relación de madurez', ya que es un índice del grado de madurez de las frutas.

En las patatas el porcentaje de azúcar reductor (en este caso glucosa) no debe exceder del 1 % y el de sólidos totales debe estar entre 16 y 25 %. En tomates (industriales) para salsa, los frutos verdes o amarillentos influyen negativamente en el color rojo final. En las harinas se tendría que verificar el porcentaje de cenizas, la 'fuerza y estabilidad', capacidad de retención del CO₂, absorción de agua, así como el porcentaje de proteínas.

FRUTA	°BRIX
Babaco	7,8
Banano	5,0
Claudia	13,0
Fresa	7,1
Frutilla	8,7
Lima	7,2
Limón	8,2
Mandarina	10,6
Manzana	12,7
Maracuyá	14,1
Mora	9,7
Naranja	8,4
Naranjilla	7,4
Papaya	10,8
Pera	12,8
Piña	12,8
Tomate árbol	4,0
Toronja	8,3
Uva	14,4

Tabla 4.1 Grados Brix (sólidos solubles) de jugos de frutas

Adaptado de: Alvarado, J. de D. (1996). *Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos* (Primera edición) Ecuador: Secretaría de la Organización de los Estados Americanos.

Alvarado, J. de D. (2014) *Principios de Ingeniería Aplicados en Alimentos* (Segunda edición) Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.



Ejemplo 4.1

Una muestra de jugo de naranja se analiza y da 11 % de sólidos solubles (°Brix). Se toman 10,3 [mL] de jugo y se titulan con 14,2 [mL] de solución de NaOH 0,1 N. ¿Cuál es su relación de calidad?

$$\text{Brix} = 11,0 \text{ }^{\circ}\text{Brix}$$

$$V_j = 10,3 \text{ [mL]}$$

$$V_s = 14,2 \text{ [mL]}$$

$$N_s = 0,1 \text{ N}$$

$$\text{meq} = 0,064$$

cálculo de la acidez:

$$\%A = \frac{V_s \times N_s \times \text{meq}}{V_j} \times 100$$

$$\%A = 0,88 \%$$

cálculo de la relación:

$$R = \frac{\text{Brix}}{\%A}$$

$$R = 12,5$$

4.8 Ejercicios

Ejercicio 4.1

Una muestra de jugo de limón dio 8,3 °Brix y para neutralizar 5 [mL] del mismo se requirieron de 6,1 [mL] de hidróxido de sodio 1 N. ¿Cuál será la relación de calidad de este jugo?

$$\text{Sol.: } \%A = 7,808$$

$$R = 1,1$$

Ejercicio 4.2

Se titularon 10 [mL] de jugo de pomelo con 14,5 [mL] de una solución de hidróxido de sodio 0,1 N.

- ¿Cuál es la acidez expresada en ácido cítrico?
- ¿Cuál será la relación de calidad si el porcentaje de sólidos solubles es de 10,4 %?

$$\text{Sol.: } \%A = 0,928$$

$$R = 11,2$$

Transporte, almacenamiento y **calificación de materias primas**



05

5.1 Transporte de materia prima

Normalmente, la fábrica debe instalarse lo más cerca posible de la fuente de suministro de materia prima no solo por el aspecto económico de disminución de costo de transporte, sino también para evitar las alteraciones de calidad que se pueden producir por ello. En todo caso, el tiempo de transporte debe reducirse al mínimo. La elección del tipo de contenedores para el transporte tiene que ser lo más meticulosa posible (Potter y Hotchkiss, 1999).

Las bayas (fresas, frambuesas) y los frutos delicados, se transportan en cestas de mimbre o plástico, de capacidad no mayor a los 6 - 8 [kg]. Los frutos duros como las manzanas, peras o ciruelas, en cajas (de madera o de plástico perforado) de 16 [kg] como máximo. Tomates y cítricos en cajas de no más de 26 [kg]. Las raíces comestibles en cajones o sacos de hasta 50 [kg]. La carne fresca suspendida en cámaras frigoríficas especiales. La leche, enfriada, en cisternas de acero inoxidable. Los pesos dados son los aconsejados para evitar el deterioro mecánico de la materia prima; en efecto, Pearl mostró que las cajas de 25 [kg] y 15 [cm] de profundidad deterioraban más a la fruta que contenedores más profundos (en tomates industriales); por lo que sugirió que el impacto entre fruta y fruta no produce tanto daño como el causado entre fruta y superficie del recipiente; por lo tanto, una relación alta 'peso de fruta/superficie del envase' indica menos deterioro (Ostrovski, 1980).

5.2 Almacenamiento de vegetales

No es conveniente el almacenamiento de toda materia prima en la fábrica. Sin embargo, su almacenamiento se justifica en situaciones tales como (Ostrovski, 1980), (Charley, 2012):

1. Cuando se requiere maduración artificial a temperatura y humedad controladas, y usando agentes de 'desverdecimiento' como el óxido de etileno para la maduración de las bananas.

2. Cuando las reservas de materia prima superan la capacidad de la fábrica, entonces se toman medidas para mantener las mejores condiciones a fin de retener la calidad de las mismas hasta su elaboración.

A medida que ingresa la materia prima en la fábrica se la debe almacenar si no va a ser procesada inmediatamente. Así, las fábricas modernas poseen instalaciones frigoríficas para conservación, de esta manera la mayoría de los procesos bioquímicos se retrasan sustancialmente. A temperaturas cercanas a 0 [°C] la materia prima puede permanecer sin alterarse notablemente durante varios días. Los equipos de compresión de amoníaco o freón son los más aconsejables para obtener atmósferas frías. Si no es posible la instalación frigorífica o no es recomendable (pues frutas como el banano o el mango no deberían refrigerarse ya que se oscurecerán), se deben tomar ciertas precauciones para su almacenamiento: suelo pulido y limpio, inclinado para fácil drenaje en lavados, ventilación de tiro forzado por aspiración, protección contra el polvo y los rayos solares, de preferencia sin cambiar de envase, en pilas aisladas o en escaque para asegurar acceso de aire. Si no existe una ventilación adecuada, los procesos bioquímicos tales como la respiración, que continúan después de la recolección con desprendimiento de calor, pueden provocar alteraciones del material. En la Tabla 5.1 se encuentran los plazos máximos de almacenamiento para algunos alimentos en condiciones no refrigeradas (Ostrovski, 1980)

ALIMENTO	TIEMPO [h]
Raíces alimenticias, col, cebollas	72
Berenjenas, calabacines, tomates	36
Manzanas, peras, grosellas verdes	48
Fresas y frambuesas	12

Tabla 5.1 Tiempos máximos de almacenamiento no refrigerado
Adaptado de: Levtoy, Y. (1981). *Conservación de Frutas y Vegetales por Refrigeración*.
 Publicación de CENDES, Programa de Asistencia Técnica de ONUDI.

5.3 Almacenamiento y maduración de frutos

La mayor parte de los frutos maduran sobre la planta; sin embargo, algunos se recogen antes de completar su maduración. Entonces, la maduración se efectúa durante el transporte o el almacenamiento, también después de la refrigeración cuando los frutos retornan a la temperatura más elevada. A veces esta maduración mejora las características organolépticas del fruto, es el caso de la pera *Passe Crassane*, si la maduración no se realiza a una temperatura apropiada, frecuentemente resultan frutos de calidad inferior en comparación a los madurados sobre las plantas. Esta característica es importante considerar para prolongar el período de disponibilidad de un fruto para el consumo o para la industria (por ejemplo, manzana o pera William) y para la exportación o importación de frutas tropicales como el plátano. Este principio básico no se generaliza para todas las frutas, pues los cítricos postcosecha no madu-

ran bien y a otras frutas recogidas antes de la maduración, las acelera (Levtov, 1981). Una vez alcanzada la madurez, las frutas se exponen al deterioro ocasionado por enfermedades fisiológicas, como el pardeamiento superficial de la manzana, denominado 'requemado', o también al ataque de microorganismos, por ejemplo la alteración de cítricos por mohos (Durán Ramírez, 2008).

5.3.1 Actividad climatérica y no climatérica

Existen considerables diferencias entre las diversas frutas, pudiéndose citar la actividad respiratoria, la maduración, la vejez, el comportamiento luego de la cosecha cuando se recogen antes de la madurez. Durante la maduración, los vegetales sintetizan etileno (hormona de maduración) por acción de las enzimas ACC-sintetasa y ACC-oxidasa sobre el aminoácido metionina vía la S-adenil metionina y el ácido aminociclopropano-1-carboxílico (ACC). El etileno es el responsable de inducir la maduración y envejecimiento en los productos. De

hecho, aún a bajas concentraciones (0,1 [ppm]), genera la síntesis de numerosas enzimas, tales como pectinasas, amilasas, proteasas, lipasas, clorofilasas, lipoxigenasas, entre otras; las que degradan la pectina, almidón, clorofila, entre las más importantes. En función de la síntesis y respuesta al etileno, las frutas se clasifican en dos grupos (Badui, 2013), (Desrosier, 1991):

1. *Frutas climatéricas*: son aquellas que en estado inmaduro muestran un periodo bien marcado en el que su respiración es reducida y posteriormente presentan un aumento transi-

torio de la actividad respiratoria, dando lugar a la maduración o pico climatérico. En este grupo se encuentran principalmente los albaricoques, mangos, melocotones, peras, manzanas, papayas, tomates, ciruelas, aguacates y plátanos. El pico climatérico coincide con las modificaciones en sabor, color, textura y demás, que son características propias de la maduración. Durante el climaterio se atraviesa por un aumento en la producción de CO_2 , tal como se observa en la Figura 5.1.

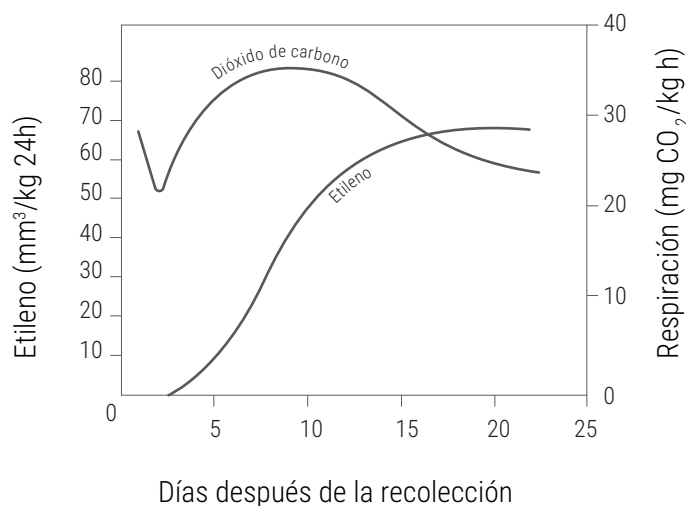


Figura 5.1 Aumento climatérico de la respiración en tomates
Adaptado de: Badui, S. (2013). *Química de los Alimentos* (Quinta edición)
México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

2. *Frutas no climatéricas*: son aquellas que no muestran pico climatérico, pues su patrón de respiración se mantiene inalterado una vez cortadas del árbol. Debido a que en estos la respiración avanza paulatinamente, se los deja madurar completamente en la planta. Pertenecen a este grupo las fresas, cerezas, uvas, higos,

cítricos, piñas, sandías, melones, pepinos, naranjas, pomelos y limones; así como la mayor parte de legumbres (espárragos, guisantes, frijoles, lentejas y demás).

El plátano (monda) se debe refrigerar a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el transporte; mientras que la madura-

ción se realiza entre 17 - 21 [°C] y con un porcentaje de humedad relativa del 85 %. El monda comienza a amarillear al cabo de algunos días y paralelamente el almidón se despolimeriza a azúcares, cayendo su proporción del 20 al 2 %. Por otra parte, los tomates se recomienda madurarlos a temperatura ambiente.

5.3.2 Modificaciones químicas durante la maduración

Debido al proceso de respiración o glicólisis anaerobia de los tejidos vegetales, se producen reacciones independientes que afectan al color, textura, sabor y demás propiedades de los alimentos. Por ejemplo, en las peras William se impiden las modificaciones con un inhibidor de las síntesis proteicas (como la actinomicina), sin suprimir al mismo tiempo el pico climático. De igual forma, un descenso de la presión parcial de oxígeno retarda el ablandamiento de la manzana, sin retardar las modificaciones del color. Los cambios especialmente notables son el endulzamiento, ablandamiento, modificaciones del color y aroma. A continuación se describirán las principales modificaciones químicas (Badui, 2013), (Desrosier, 1991), (Linden y Lorient, 1996):

1. Cambios en las vías metabólicas

Durante la maduración, en los plátanos se incrementa fuertemente la actividad de las enzimas aldolasa y carboxilasa. Por otro lado, en las manzanas se observa el incremento de la actividad de la malatoenzima (malato deshidrogenasa) y de la piruvato Descarboxilasa.

2. Cambios en la composición química

a. *Lípidos*: aunque se han observado cambios en los fosfolípidos, las variaciones de la parte lipídica durante la maduración son poco discutidas.

b. *Enzimas y/o proteínas*: durante la maduración se ha visto el incremento en la síntesis de enzimas pectinolíticas, amilasas, celulasas, glicolíticas, del ciclo del ácido cítrico, catalasa, peroxidasa y transaminasas. En algunas frutas en presencia de nitrógeno a concentración constante, se ha verificado el incremento de la fracción proteica que estaría relacionada al aumento de las enzimas. Existen también modificaciones poco uniformes y muy variables en las fracciones de aminoácidos y aminos.

c. *Pigmentos*: es característica de la maduración el cambio de color de los frutos. El paso de color verde a rojo (frutillas, sandías, tomates) o amarillo (albaricoques, ciruelas, peras) se debe a la degradación de la clorofila y a la aparición de los pigmentos antocianicos y carotenoides, respectivamente.

d. *Aromas*: aparecen durante la maduración y son típicos de cada fruto. La producción de aromas depende también de otros factores externos, tales como la temperatura, humedad, variaciones día/noche. Se observa producción de cantidades significativas de compuestos orgánicos volátiles en el plátano a las 24 [h] de haber comenzado el climaterio.

e. *Hidratos de carbono*: durante la maduración se observa un descenso de los carbohidratos poliméricos, con la consiguiente aparición de componentes dulces. El contenido de almidón en plátanos es alto durante el desarrollo del fruto en el árbol, pero solo existen trazas al momento de la recolección, debido que su despolimerización incrementa los azúcares glucosa, fructosa y sacarosa; asimismo, existe una reducción del 9 al 1,5 % de las hemicelulosas. En frutos cítricos se observa una disminución de ácidos con

el respectivo aumento de azúcares (excepto en los limones). Otra variación notable se observa en la pectina, pues durante la maduración de las frutas la protopectina insoluble se despolimeriza parcialmente y desmetoxila, pasando a pectina soluble. Este proceso produce cambios en las paredes celulares que originan el ablandamiento, que algunas veces suele ser excesivo. Las pectinas solubles contribuyen al sabor sutil de las frutas maduras, pues unen polifenoles, haciendo desaparecer su efecto astringente. En el caso de las manzanas, con una maduración avanzada disminuye la pectina soluble produciendo la textura harinosa.

f. Ácidos: se observa mayoritariamente una disminución en su contenido con excepción del limón. Asimismo, existe una variación en la proporción de los ácidos, por ejemplo, en la manzana inmadura predomina el quínico, mientras que en la madura el málico. La vitamina C en algunas frutas disminuye durante el almacenamiento; mientras que en la maduración del tomate o fresa existe una síntesis activa de ácido ascórbico a partir de la glucosa.

En la maduración de frutas, el índice azúcar/ácido aumenta sustancialmente debido al descenso de acidez. En el caso de frutas que se recogen maduras, como la naranja o pomelo, este fenómeno se extiende hasta el almacenamiento. Las reacciones de degradación de los ácidos orgánicos son muy complejas, una de ellas es la descarboxilación anaerobia del ácido málico, presente en cantidades altas en la manzana, del que se podría explicar el desprendimiento de CO_2 que caracteriza el pico climatérico. De hecho, la enzima málica que cataliza dicha reacción, se sintetiza en cantidades crecientes, durante la maduración de la manzana y también de otras frutas.

El proceso de maduración genera innumerables compuestos orgánicos volátiles, responsables del perfil aromático de las frutas. Estos compuestos representan una fracción muy baja de la emisión volátil de las frutas; en consecuencia, el carbono liberado bajo esta forma representa del 0,1 al 1 % del carbono desprendido como anhídrido carbónico y además se encuentra constituido por un 80 % de etileno desprovisto de olor.

5.3.3 Almacenamiento refrigerado

A temperatura ambiente y en presencia de aire, muchas frutas exceden la madurez óptima y envejecen. La refrigeración retarda y controla la maduración, específicamente las reacciones originadas por la respiración. Tal efecto es más notorio si la maduración está menos avanzada, por ello, no siempre se debe recoger la fruta en estado de madurez poco avanzado, ya que se dificulta conseguir posteriormente la maduración (Badui Dergal, 2012), (Silva, Gonçalves y Brandão, 2018), (Singh, 2017).

Con frutas frágiles, el enfriamiento con agua, aire o incluso por evaporación al vacío, debe ser inmediatamente después de la cosecha y de forma rápida. En cada fruta la temperatura de enfriamiento depende de la duración de la conservación deseada. Por ejemplo, las peras se conservan dos veces más a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ que a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, las manzanas una vez y media más tiempo a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ que a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Generalmente, a temperatura más baja es menor la probabilidad de desarrollo de mohos, pero se puede dar un aumento de las enfermedades fisiológicas; es decir, si alguna fruta se expone durante demasiado tiempo a temperaturas muy bajas, aunque superiores a las de congelamiento, se presenta pardeamiento interno y superficial. Por ello, cada fruta o incluso cada variedad posee una temperatura

crítica: por ejemplo, los plátanos se almacenan durante pocos días a temperaturas inferiores a 12 o 13 [°C], pues existe el peligro de inhibir su maduración y actividad respiratoria permanentemente, con formación de manchas, pérdida de aroma y endurecimiento, así como ausencia total de la hidrólisis del almidón. Los cítricos no soportan temperaturas de almacenamiento inferiores a 3 [°C]. Los aguacates, piñas y algunos melones, son también sensibles a temperaturas inferiores a un cierto margen y mucho más sensibles a medida que la maduración avanza. Por ello, las peras y manzanas presentan daños fisiológicos luego de un almacenamiento frigorífico prolongado. Se considera que estos efectos desfavorables de las bajas temperaturas se originan por la diferencia de velocidad en el funcionamiento de los diversos sistemas enzimáticos que generan una acumulación de metabolitos indeseables (Badui Dergal, 2012).

La maduración complementaria luego de un almacenamiento refrigerado, se practica con frutas como, ciruelas, plátanos, peras y otras, en ocasiones en presencia de etileno. El resultado está en función, entre otras causas, del tiempo de duración del almacenamiento previo, que no debe ser excesivo, razón por la que se vigila la evolución de las frutas. El rango de temperatura

para la maduración complementaria depende de la especie y variedad, debiendo evitarse temperaturas superiores a los 30 - 35 [°C], debido a que imposibilita el adecuado funcionamiento de los sistemas enzimáticos que intervienen en el proceso de maduración e incluso puede generar la muerte del tejido (Badui Dergal, 2012).

En muchas ocasiones el almacenamiento refrigerado y la maduración complementaria permiten obtener frutas de calidad superior que si hubieran sido maduras en la planta. Para minimizar la desecación y pérdida de turgencia de las frutas y legumbres, es necesario mantener la atmósfera de la cámara de refrigeración con una humedad relativa elevada (85 a 95 %). No obstante, esta condición favorece el desarrollo de mohos, por lo que frecuentemente se emplean fungicidas, tales como soluciones de fenilfenatos o hipocloritos, en pulverización o baño, gases como el amoniaco, anhídrido sulfuroso, tricloruro de nitrógeno para exposiciones cortas y repetidas, embalajes impregnados de yoduro potásico o difenilo (Badui, 2013), (Rahman, 2003). Algunos datos referenciales de temperatura de almacenamiento y tiempo de conservación se presentan en la Tabla 5.2; mientras que en la Tabla 5.3 se encuentran datos termodinámicos para diversos alimentos.

Producto	Temperatura de almacenamiento [°C]	Duración aproximada de conservación
Aguacate	5 a 10	2 - 4 semanas
Albaricoques	-1 a 0	2 - 4 semanas
Cerezas	-1 a 0	1 - 4 semanas
Ciruelas	0	0,5 - 2 meses
Frambuesas	0	5 días

Fresas	0	5 días
Limones	11 a 15	1 - 4 meses
Manzanas	-1 a 4	1 - 8 meses
Melocotones	-1 a 1	1 - 4 semanas
Naranjas	4 a 6	hasta 6 meses
Plátanos	11 a 15	1,5 - 3 semanas
Tomates	0	1 - 3 semanas
Toronjas	4 a 8	2,5 meses
Uvas	-1 a 0	1 - 6 días
Alcachofas	0	1 mes
Cebollas	0 a 3	6 semanas
Coles	0	2 - 4 meses
Coles de bruselas	0 a 1	3 - 6 semanas
Espárragos	0	2 - 4 semanas
Espinacas	0	2 - 6 semanas
Guisantes	0	1 - 3 semanas
Judías verdes	0	1 - 3 semanas
Lechugas	0	1 - 3 semanas
Patatas	5 a 10	4 - 8 meses
Pepinos	7 a 10	1 - 2 semanas
Zanahorias	-1 a 1	4 - 6 meses

Tabla 5.2 Temperaturas y duración de conservación para la refrigeración de frutas y legumbres

Adaptado de: Gruda, Z., & Postolski, J. (1986). *Tecnología de la Congelación de los Alimentos*.

España: Editorial Acribia, S.A.

Durán, S. (1983). *Frigoconservación de la Fruta* (Primera edición) España: Editorial AEDOS.

Si las instalaciones frigoríficas están bien diseñadas y su construcción es apropiada (aislamiento térmico eficaz, gran superficie refrigerante), con la finalidad de que la diferencia de temperatura entre la superficie refrigerante y el producto sea mínima y sean correctamente manejadas, la simple transpiración de las frutas o legumbres es suficiente para obtener la humedad relativa deseada. No obstante, las cámaras deben ventilarse para homogeneizar la atmósfera, eliminar emanaciones volátiles de los vegetales y aportar oxígeno; también se necesita vigilar que no se desarrollen condensaciones

localizadas que disminuyan la humedad relativa y originen una deshidratación del producto almacenado.

Una vez culminado el almacenamiento refrigerado, los vegetales que necesitan una maduración complementaria se recalientan, de preferencia con aire seco para así evitar la condensación de humedad en la superficie, lo que conlleva al aumento de los peligros de enmohecimiento. La costumbre de rociarlos con agua no es aconsejable, incluso para su maduración (Cox, 1987).

Producto Alimenticio	Punto de congelación [°C]	Porcentaje de agua	Calor específico		Calor latente de fusión [kcal/kg]
			Por encima de congelación [kcal/kg. °C]	Por debajo de congelación [kcal/kg. °C]	
Frutas					
Manzanas	-2	84	0,86	0,45	7
Plátanos	-2	75	0,8	0,42	61
Toronjas	-2	89	0,91	0,46	0
Melocotón	-2	87	0,9	0,46	9
Piña tropical	-2	85	0,88	0,45	8
Sandías	-2	92	0,97	0,48	3

Legumbres					
Espárragos	-1	93	0,94	0,48	4
Judías verdes	-1	89	0,91	0,47	1
Col	-1	92	0,94	0,47	3
Zanahoria	-1	88	0,86	0,45	0
Maíz	-1	76	0,80	0,43	0
Guisantes	-1	74	0,79	0,42	9
Tomates	-1	95	0,95	0,48	4
Carne					
Tocino	—	20	0,5	0,3	7
Vaca	-2	75	0,77	0,4	1
Pescado	-2	70	0,76	0,4	6
Cordero	-2	70	0,76	0,4	6
Cerdo	-2	60	0,68	0,38	7
Ternera	-2	63	0,71	0,4	0
Varios					
Cerveza	-2	92	1,0	0,48	2
Pan	—	32 - 37	0,7	0,34	6 - 29
Huevos	-3	—	0,76	0,4	6
Helado	-3 a -18	58 - 66	0,78	0,45	3
Leche	-1	87,5	0,93	0,49	9
Agua	0	—	1,0	0,49	0

Tabla 5.3 Datos termodinámicos para algunos alimentos

Adaptado de: Sahin, S., Gülüm-Sumnu, S. (2009). *Propiedades Físicas de los Alimentos*.

España: Editorial Acibria, S.A.

Gruda, Z. y Postolski, J. (1986). *Tecnología de la Congelación de los Alimentos*.

España: Editorial Acibria, S.A.

5.3.4 Atmosferas controladas para almacenamiento

La tasa de respiración de las frutas es un índice de su actividad fisiológica y vida potencial durante el almacenamiento. La respiración es similar a un proceso de combustión, que se produce a temperatura ambiente o también en almacenamiento refrigerado. El proceso de combustión (opuesto a la fotosíntesis) de los azúcares se realiza en varias etapas bajo control de enzimas específicas, con formación de CO_2 , H_2O y energía. En la atmósfera que rodea a la fruta hay un intercambio de O_2 y CO_2 . Si la cantidad de oxígeno es insuficiente, la combustión incompleta conduce a la formación de alcoholes y aldehídos, con sabores y aromas anormales, así como fermentaciones anaerobias. En el almacenamiento en atmósferas controladas, el límite mínimo de oxígeno es del 2 %, aunque en la mayoría de los casos con un descenso del 20 % al 5 % ya se retardan significativamente los procesos de respiración y maduración. Si permitimos al CO_2 producido acumularse en los mismos locales de almacenamiento, en los que se bajó la cantidad de oxígeno, se prolonga la vida útil del fruto (Brody, 1996), (Romojaro, Riquelme, Pretel et al., 1996), (Singh, 2017).

Estudios realizados muestran que todos los productos tienen tasa de respiración baja a 0 [°C], que es de 10549 [kJ/t.día] o menos, en tanto que si la temperatura sube, las diferencias se hacen muy grandes y los valores son altos. Lamentablemente, como ya se indicó, no todas las frutas pueden ser refrigeradas (Badui, 2013), (Brody, 1996), (Potter y Hotchkiss, 1999). Durante el almacenamiento se presentan además pérdidas de peso de las frutas, las que están relacionadas con la temperatura de las mismas,

la temperatura del aire, la humedad relativa del almacén, tamaño y textura de las frutas y la velocidad del aire circulante, por ejemplo, las peras, bajo las mismas condiciones, pierden más humedad que las manzanas. Las fresas pierden en 2 días tanto peso como las peras en dos meses (Brody, 1996).

5.3.4.1 El etileno como regulador de la maduración

Desde hace mucho tiempo se conoce que cuando las frutas se colocan en una atmósfera que contenga 1 [mL/m³] de etileno, la maduración y la aparición del pico climatérico resultan claramente aceleradas; mientras que en frutas que no presentan pico climatérico se estimula la actividad respiratoria. La acción del etileno se desarrolla mejor a temperatura ambiente que en frío, pero también es más intensa cuando la fruta que la sufre produce menos etileno por sí misma. Se comprobó este efecto en presencia de frutas maduras que ejercen acción sobre el metabolismo de otras frutas almacenadas en la misma cámara (Badui, 2013), (Berk, 1980).

El etileno es una hormona vegetal producida durante la maduración y corresponde a un contenido del gas intercelular cercano a 0,1 [mL/m³]; pero también se observó que en condiciones adversas, como temperatura alta, se bloquea la síntesis de etileno. El oxígeno y la respiración celular son necesarios para la producción de etileno. La forma de acción del etileno no se conoce a profundidad, pero estaría relacionado con la modificación de la permeabilidad de las membranas mitocondriales (Berk, 1980).

Para regular y acelerar la maduración de algunas frutas, tales como el plátano y la manzana, se utiliza el etileno o un compuesto que lo libere; asimismo se lo emplea para el desverdecimiento de las naranjas maduras interiormente^a. Los plátanos y las manzanas se colocan en una atmósfera de almacenamiento con etileno (1 a 10 [mL/m³]) y temperaturas que oscilan entre los 14 y 20 [°C]. En el caso de las naranjas, se hace circular en torno a las frutas una corriente de aire a 27 [°C] con 20 [mL] de etileno por cada [m³] y 90 % de humedad relativa; durante 20 a 70 [h] (según el estado de madurez de la fruta). Si se desea prolongar la conservación de las frutas frescas, es necesario evitar la acumulación o presencia de etileno, para ello es muy útil obtener un inhibidor específico de la formación de etileno.

No solo el etileno actúa como hormona de maduración, también se encuentran otras sustancias, concretamente las citoquinas, giberelinas, auxinas y ácido abscísico. Algunos de estos compuestos se emplean para facilitar el desprendimiento de las frutas del árbol y la posterior recolección, o para retardar la maduración y vejez (Robinson, 1991). Al usar atmósferas controladas con etileno se consigue en cambio acelerar la maduración. Esta sustancia se presenta naturalmente en los frutos cuando maduran, por lo que se la relacionó con este fenómeno. Actualmente se lo usa para desverdecir cítricos y uniformizar la maduración de bananas, melones y tomates. Dosis de 0,025 a 0,050 [ppm] de etileno son suficientes en el caso de los limones y de 0,1 [ppm] para aguacates y bananos. Los efectos del etileno como agente de maduración

se inhiben con el uso de concentraciones altas de CO₂ y con falta de O₂ (Brody, 1996).

Es indispensable aclarar que el etileno posee efectos dañinos debido a una maduración temprana del producto, lo que provoca manchas en las hojas de lechugas o sabor amargo en las zanahorias. Por tal motivo, no se deben almacenar nunca frutas de pulpa gruesa como manzanas, peras o duraznos, que desprenden gran cantidad de etileno, junto con flores o vegetales de hoja susceptibles a los daños por este gas (Badui, 2013), (Berk, 1980).

5.3.4.2 Otras formas de controlar las atmósferas

Se consiguen también atmósferas controladas variando la composición de la atmósfera de las cámaras de almacenamiento; es decir, variando el contenido de oxígeno, anhídrido carbónico o nitrógeno. Este procedimiento representa una ayuda a la acción del frío y también evita algunos inconvenientes de las bajas temperaturas, tales como alteraciones fisiológicas o tiempo de conservación demasiado corto, entre las principales (Linden y Lorient, 1996). Como se conoce, el aire contiene 21 % de oxígeno y escasamente 3 % de anhídrido carbónico; distinto a la atmósfera que ocupan los espacios intercelulares de los vegetales (estos espacios representan, por ejemplo, un 20 % del volumen de una manzana). Dependiendo del estado fisiológico de la legumbre o fruta y la intensidad de la respiración del tejido, existirá una disminución sustancial de oxígeno y un aumento importante de anhídrido carbónico. De la misma manera, la composición de la atmósfera intercelular también depende de la composición de la atmósfera de la cámara de almacenamiento, la que va cambiando debido a procesos de difusión (Badui Dergal, 2012).

Como ya se explicó, la respiración y la mayoría de

^a Al igual que las manzanas y tomates, necesitan también permanencia en atmósferas ricas en oxígeno (50 %).

las reacciones de maduración se retardan cuando se reduce el contenido de oxígeno del ambiente. Generalmente, se evitan valores inferiores a 2 o 4 % de oxígeno, de acuerdo a la fruta, especialmente si las temperaturas son relativamente elevadas, ya que produce una anaerobiosis que inmediatamente provocaría procesos fermentativos con desarrollo de sabor alcohólico. Por este motivo, incluso en las cámaras sin atmósfera controlada debe haber una aireación que permita eliminar los compuestos orgánicos volátiles indeseables o tóxicos, por ejemplo, etileno, vapor de agua, anhídrido carbónico, etanol o acetaldehído. Por esta razón también se aconseja realizar perforaciones en las bolsas plásticas empleadas para el embalaje de legumbres y frutas frescas (Berk, 1980).

Una acumulación exagerada de anhídrido carbónico, lo mismo que una falta de oxígeno, reduce la actividad respiratoria y al parecer también impide el estímulo del etileno e inactiva diversas enzimas que intervienen en el proceso de maduración. Un contenido menor al 20 % de anhídrido carbónico retarda el desarrollo de ciertos mohos, incluso con humedad relativa alta. Sin embargo, la utilización de anhídrido carbónico en dosis que excedan el 5 o 10 % y durante largo tiempo a baja temperatura, puede provocar o agravar ciertas alteraciones, por ejemplo, el 'corazón oscuro' (*core flush* en inglés) de la pera y la manzana, requemado y pardeamiento superficial en la manzana, sabor anormal en los plátanos, uva y fresa (Linden y Lorient, 1996).

En la práctica, se trabaja contemporáneamente con las variables temperatura, contenido de oxígeno y anhídrido carbónico; en función de la variedad, fecha de cosecha, pretratamiento de maduración, eventual maduración complementaria. No existen reglas generales, pero las siguientes cifras representan las condiciones medias óptimas para un almacenamiento de

larga duración para la mayoría de frutas de las regiones templadas (Brody, 1996):

Temperatura	0 a 4 [°C]
Oxígeno	3 % aproximadamente
Anhídrido carbónico	0 a 5 %

El momento de la cosecha es un factor muy importante en el éxito del almacenamiento en atmósferas controladas. Si los frutos se recogen demasiado pronto, son muy sensibles al requemado y corazón oscuro, y la maduración complementaria se dificulta; mientras que en una cosecha demasiado tardía las frutas son muy sensibles a las enfermedades del frío, quedando más expuestas a los ataques de microorganismos (Badui, 2013).

Las atmósferas controladas también son importantes para la conservación de otras frutas, pero sus resultados son poco avanzados y sus aplicaciones industriales son mínimas debido a que cada variedad de fruta presenta un comportamiento específico. La conservación de cítricos se prolonga hasta 8 meses en atmósferas conteniendo 10 a 15 % de oxígeno y 0 a 2 % de anhídrido carbónico (los cítricos, al igual que los mohos, son muy sensibles al anhídrido carbónico y a la ausencia de oxígeno). La conservación de cerezas se prolonga hasta 4 semanas y de ciruelas y melocotones hasta 9 semanas. Las atmósferas controladas resultan muy prometedoras para la conservación prolongada de cerezas, algunas variedades de melocotones, fresas, albaricoques, aguacate, clementinas, igualmente para legumbres tales como espárragos, coles de Bruselas, pimientos, alcachofas (Berk, 1980).

Cuando se busca únicamente una conservación por corto tiempo, por ejemplo, para transporte o con fines de una posterior transformación industrial, se recurren a atmósferas específicas que permiten retardar la maduración e impiden

el desarrollo de mohos durante algunos días, pero los vegetales no soportan demasiado tiempo. Por lo tanto, son interesantes atmósferas muy ricas en nitrógeno (98 % o más) para los pimientos verdes y espárragos; mezclas de aire y anhídrido carbónico (10 a 60 %) para las cerezas y grosellas. Estas atmósferas se las emplean también para los albaricoques, melocotones, ciruelas, peras y otras frutas y legumbres. Son fáciles de lograr, especialmente por medio de nitrógeno líquido o hielo seco (nieve carbónica), que aportan, paralelamente, una cierta refrigeración (Durán Ramírez, 2008).

Para la conservación durante tiempo prolongado se utiliza alguno de los dos métodos siguientes, que deben ser regulados con gran precisión (Durán, 1983), (Silva et al., 2018):

1. *Cámaras frías estrictamente aisladas*: luego de cargarlas se enfría inmediatamente el producto, se cierra la cámara y se procede a crear un régimen gaseoso, ya sea aprovechando solo la respiración del vegetal (lo que dura de 3 a 4 semanas con frío para reducir el contenido de oxígeno hasta un 2 %) o inyectando nitrógeno. Posteriormente, se estabiliza la atmósfera por diversos medios: simple aireación acompañada de eliminación del anhídrido carbónico por absorción física o química; intercambios gaseosos selectivos a través de una 'batería de difusión'.

2. *Frigoríficos tradicionales*: emplean recipientes especiales que se colocan en las cámaras frigoríficas: fundas de polietileno provistas de ventanas de difusión con plásticos de silicona o contenedores con orificios calibrados y dispositivos para adsorber el anhídrido carbónico. La respiración del vegetal y los cambios gaseosos a través de las ventanas de difusión generan en el interior del saco una atmósfera de composición estable, cuya humedad relativa se mantiene en un ni-

vel elevado (90 a 93 %) debido a la transpiración de la fruta o legumbre.

Se han llevado a cabo estudios para nuevas atmósferas controladas: 1) atmósferas de presión reducida donde las frutas se colocan a bajas presiones, en las que el contenido de oxígeno es alrededor de 0,03 % y se elimina en parte el etileno endógeno, o 2) atmósferas con proporciones de gas variable, pero controlado. También se están estudiando los efectos del choque térmico y de los choques de concentración de anhídrido carbónico. Al parecer el calentamiento intermitente resulta eficaz contra las enfermedades fisiológicas.

5.4 Almacenamiento de semillas oleaginosas

Las semillas recogidas en los campos de producción son enviadas a las fábricas a medida que se cosechan; obligándolas a recibir en grandes cantidades, que en muchos casos llegan hasta a multiplicar por diez la capacidad de producción diaria, por ello es necesario que se realice un almacenamiento de las mismas. Las semillas pueden ser almacenada de dos maneras diferentes, (Badui Dergal, 2012), (Durán Ramírez, 2008), (Ostrovski, 1980):

1. *Silo Tipo Muskogee*: consiste en un depósito cubierto de grandes dimensiones donde se descarga la semilla quedando en forma de pirámide. Para evitar el calentamiento local existe un sistema de ventilación forzada de aire en toda su extensión (Figura 5.2).

2. *Silo Vertical*: usado en las molineras para almacenar granos de trigo. Estos silos pueden ser contruidos de concreto o de chapas de acero, tienen un área horizontal ocupada relativamente pequeña y una altura considerable. En este tipo de silos la ventilación y ho-

mogeneización se realiza por *trans-silage*; es decir, uno de los cuerpos del silo está vacío para permitir el transvasado del otro cuando se considere necesario.

La elección del tipo de silo dependerá de la semilla almacenada. Normalmente, las semillas parecidas a los cereales que escurren con facilidad en el silo vertical son almacenadas en el silo de este tipo; en tanto que las otras, como las de algodón y maní, que por su forma dificultan el vaciado en silos verticales, se almacenan en los silos Muskogee. Para un almacenamiento prolongado de semillas es muy importante observar la humedad para evitar su deterioro. Existe una relación entre el grado higrométrico del aire y la humedad de las semillas que se conoce como Curva de Equilibrio Higroscópico.

tan el vaciado en silos verticales, se almacenan en los silos Muskogee. Para un almacenamiento prolongado de semillas es muy importante observar la humedad para evitar su deterioro. Existe una relación entre el grado higrométrico del aire y la humedad de las semillas que se conoce como Curva de Equilibrio Higroscópico.

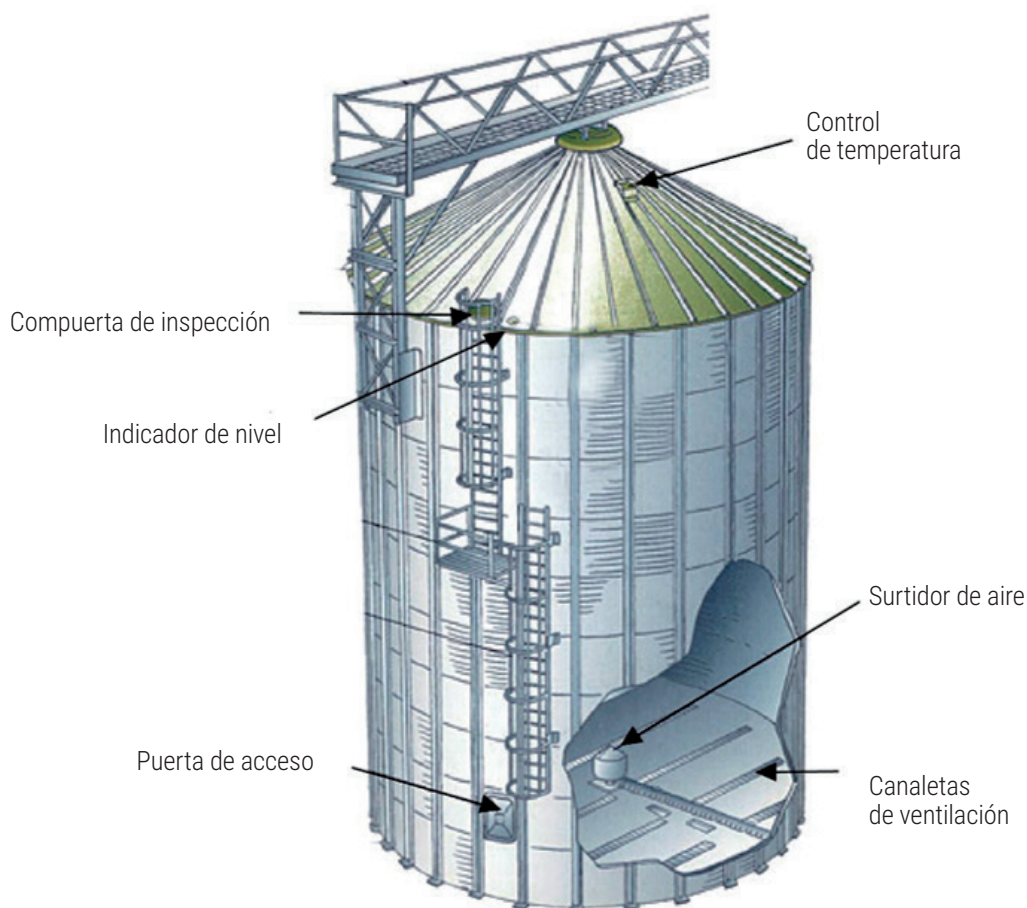


Figura 5.2 Silo Muskogee para almacenamiento de semillas
Adaptado de: Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.

En el caso de que la semilla tenga mayor humedad que la indicada por el equilibrio, ella transferirá agua al aire, caso contrario la absorberá. Para las semillas oleaginosas, cuanto mayor sea la concentración de aceite, menor será su higroscopicidad. Esto es obvio, pues en el aceite que es hidrofóbico, el responsable de la higroscopicidad de las semillas es la parte no aceitosa. Para el cálculo del equilibrio higroscópico se usa la siguiente fórmula (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965):

$$W = a \times (hr)^n \quad (5.1)$$

donde W es el porcentaje de humedad de la semilla, hr es la humedad relativa del aire, a y n son constantes que varían de acuerdo con el tipo de semilla, siendo sus valores alrededor de 0,0623 y 1,14, respectivamente.

Hay que diferenciar entre humedad relativa del aire o grado higrométrico y humedad relativa del producto:

$$hr = \frac{P_a}{P^0} \quad (5.2)$$

$$Hr = \frac{P_m}{P^0} \quad (5.3)$$

donde P_a es la presión de vapor del agua en el aire, P_m es la presión de vapor del agua en las soluciones de producto, P^0 es la presión de vapor del agua pura y Hr es la humedad relativa del alimento.

Como la actividad de los microorganismos, por ejemplo mohos, afectan la calidad de las semillas durante el almacenamiento, su acción está limitada a un determinado grado de humedad relativa del aire que varía entre 72 y 76 %. Es importante que se observe la gráfica de equilibrio higroscópico para el tipo de semilla que se almacena (Figura 5.3). La humedad relativa de equilibrio (HRE) se grafica en función del contenido de agua de los alimentos (η_s) y se alcanza el momento en el cual $hr = Hr$.

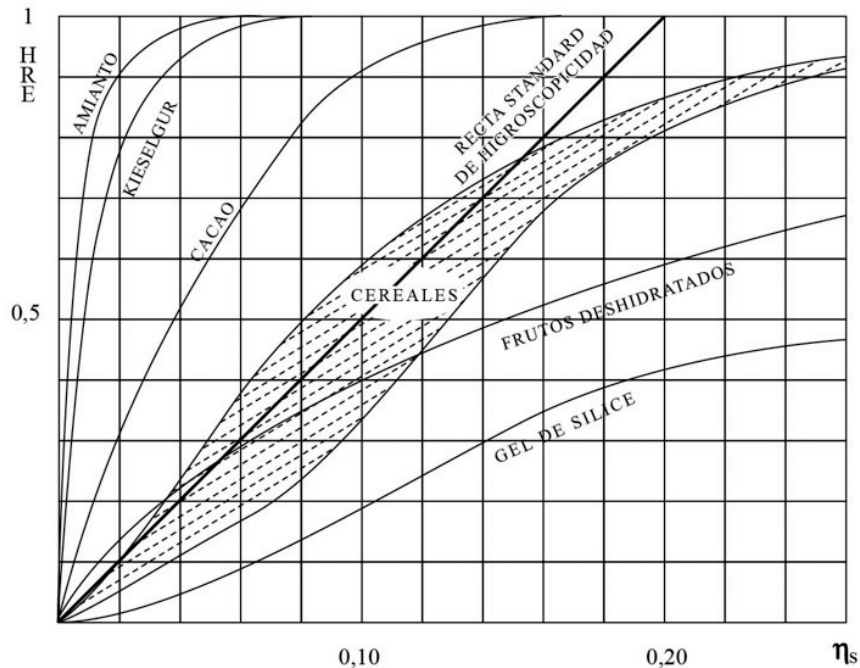


Figura 5.3 Humedad relativa de equilibrio (HRE) vs. contenido de agua
Adaptado de: Loncin, M. y Carballo Caabeiro, J. (1965). Técnica de la Ingeniería Alimentaria (Primera edición) España: Editorial Dossat.

Cuando se deja equilibrar un producto con el aire, se genera una transferencia de masa (agua en este caso) regida por la Ecuación de Fick (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979):

$$\frac{dm}{d\theta} = A \times E_p \times (P_m - P_a) \quad (5.4)$$

donde m es la masa de agua transferida, A el tiempo de transferencia, A la superficie de contacto, E_p el coeficiente de facilidad del proceso. El equilibrio se obtiene cuando $P_a = P_m$.

Humedad crítica: Llamamos humedad crítica de las semillas a la humedad máxima que pueden tener sin correr el peligro de deterioro durante su almacenamiento.

Ejemplo 5.1

Sabiendo que los mohos responsables de alteraciones necesitan para su actividad de un ambiente con humedad relativa de aproximadamente 75 %, calcular el porcentaje de humedad de las semillas de soya que corresponda a tal valor. Considere los valores de $a = 0,0947$ y $n = 1,14$.

$$\begin{aligned} hr &= 75 \% \\ a &= 0,0947 \\ n &= 1,14 \end{aligned}$$

Al aplicar la fórmula indicada:

$$\begin{aligned} W &= a \times (75)^n \\ W &= 13 \% \text{ de humedad} \end{aligned}$$

Así se puede obtener el porcentaje de humedad de las semillas. En la práctica se han encontrado los siguientes valores (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965):

Semilla	Humedad %
Linaza	6,0
Nabo	12,0
Soya	13,0
Girasol	9,5
Algodón	12,0

5.4.1 Daños de las semillas durante su almacenamiento

Cuando las semillas oleaginosas son almacenadas en malas condiciones pueden ocurrir los siguientes fenómenos (Badui, 2013), (Berk, 1980):

1. *Calentamiento*: si se almacena la semilla húmeda se observa un rápido autocalentamiento que puede llegar hasta la carbonización o, en casos extremos la combustión.
2. *Aumento de acidez*: paralelamente al aumento de la temperatura existe un incremento de la acidez del aceite. En condiciones normales el incremento es de pocas unidades porcentuales; en tanto que en un almacenamiento defectuoso puede ser de hasta un 30 o 35 %.

3. *Oscurecimiento del aceite*: principalmente en los aceites que por naturaleza son oscuros como el de algodón, este fenómeno es perjudicial debido a que el aceite resulta luego de difícil refinación o clarificación.

4. *Modificaciones estructurales y organolépticas*: algunas veces ocurren modificaciones estructurales como los incrementos de los dobles enlaces y la hidrólisis microbiana con alteración del gusto y aroma (gusto jabonoso y un aroma rancio), tanto de las semillas como del aceite producido.

5.5 Almacenamiento de granos de cereales

Elegir las condiciones más provechosas para el almacenamiento de cereales durante lapsos de tiempo prolongados tiene gran importancia económica, mucho más en regiones en vías de desarrollo donde frecuentemente se pierde la cosecha debido a roedores, insectos y otros factores de deterioro. La falta de acondicionamiento para el almacenamiento puede generar algunos daños indeseables. La germinación espontánea, que generalmente surge finalizado el periodo de inactividad y que se desarrolla sin controlar sus parámetros, presupone una proteólisis y una amilólisis alfa poco favorable para el proceso de panificación (son frecuentes trigos 'hiperdiastásicos') posteriores a un ligero comienzo de la germinación. La proliferación de mohos puede provocar una hidrólisis de glicolípidos y fosfolípidos, además de generar la formación de micotoxinas y enfermedades relacionadas a ellas, por ejemplo, las micotoxinas de *Claviceps purpurea* causan ergotismo, las micotoxinas de varias especies de *Fusarium* o *Cladosporium* causan aleucia y se conoce de

problemas de aflatoxinas cancerígenas producto del desarrollo de *Aspergillus flavus* sobre los granos de maíz o cacahuates demasiado húmedos. Se puede dar lugar a la formación de compuestos de sabor y olor desagradable debido a la acción de las lipasas y lipoxigenasas endógenas del grano o a la oxidación química de los lípidos. En otros casos existe una disminución del poder germinativo de los granos, por ejemplo, es de importancia fundamental el poder de germinación de la cebada para el malteado en la elaboración de cerveza. Además, los granos respiran durante el almacenamiento desencadenando una elevada producción de vapor de agua y calor. Al ser el trigo un mal conductor del calor, tiende a acumularlo si no existe una adecuada ventilación; aunque esto es difícil que ocurra debido a que el espacio entre granos de trigo almacenado en silos representa el 40 % del volumen total (Badui Dergal, 2012), (Robinson, 1991).

La cinética de las diversas reacciones de deterioro está en función sobre todo de la temperatura y de la humedad relativa. En la práctica, el porcentaje de humedad más idóneo para almacenar granos de cereales es del 10 al 15 %. No obstante, para almacenamientos prolongados a temperaturas superiores a los 20 [°C], se requiere un contenido inferior al 9 %. Para conseguir un contenido de agua muy bajo se desecan con precaución los granos, ya que por encima de determinado tratamiento térmico puede existir modificación de las proteínas del gluten y destruirse las enzimas necesarias para la panificación. Por ello, para trigos empleados en la preparación de harinas jamás se debe exceder los 65 [°C]. Se utiliza como prueba indicativa el poder germinativo por ser muy sensible al calor. Los granos una vez secos deben almacenarse en recipientes o silos aislados térmicamente para impedir una rehidratación inmediata. El

almacenamiento con presencia de aire atmosférico motiva un aumento de la relación CO_2/O_2 (por respiración), con lo que la presencia de anhídrido carbónico puede retardar la respiración e inhibir el desarrollo de mohos. También se puede tratar a los granos con agentes químicos, buscando especialmente impedir la proliferación de insectos. Actualmente, se emplean cada vez más las radiaciones para destruir o hacer estériles los insectos presentes, pero no es muy seguro frente a la recontaminación. Los granos húmedos destinados para la alimentación animal pueden conservarse con la ayuda del ácido propiónico (Linden y Lorient, 1996).

5.6 Calificación y selección de materia prima

Desde el punto de vista tecnológico, se acepta el término calificación como un modo de establecer si un alimento es apto o no para el procesamiento al que se lo destina. Es obvio que esta forma de seleccionar permitirá desechar la materia prima inadecuada y conducir a la calificada a los procesos subsiguientes de transformación (Potter y Hotchkiss, 1999), (Brennan, Butters, Cowell et al., 1998). La calificación se realiza tomando en cuenta los análisis químicos y organolépticos. Los análisis químicos nos pueden indicar la calidad química del producto, en tanto que los organolépticos se realizan por color, sabor, olor, textura, tamaño y apariencia. Materias primas que hayan sufrido cambios bioquímicos (especialmente putrefactivos con producción de gases), que tengan falsa textura o diferente grado de madurez, tienen menos densidad que otras, por lo que se puede usar el sistema de decantación para separación (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965).

5.6.1 Clasificación y categorización

Deterioro de los productos: El control del deterioro es importante sobre todo durante la selección y clasificación. Aquí las materias primas tienen ya un valor agregado, tales como costos de transporte, almacenamiento, mano de obra y otros procesos iniciales. Desde aquí, cualquier deterioro producido puede transmitirse al producto acabado afectando su calidad. El deterioro puede producirse también durante el vaciado de los envases sobre las cintas de selección, que se controla con un dispositivo que consiste de un marco sobre el que se coloca el envase. El marco está provisto de una tapadera

con resorte; el basculamiento del marco y el accionamiento de la tapadera controlan el flujo de producto sin que sufra una caída fuerte (Figura 5.4). En los procesos de clasificación siempre hay intervención de operarios y la monotonía de la selección hace que se auto perjudique y se cause deterioro durante el proceso. Un estudio ergonómico apropiado; es decir, el de una correcta relación entre *operario-máquina-ambiente*, es importante para el control de esta variable; asimismo, el adiestramiento adecuado del personal es también de gran importancia (Charley, 2012), (Ostrovski, 1980).

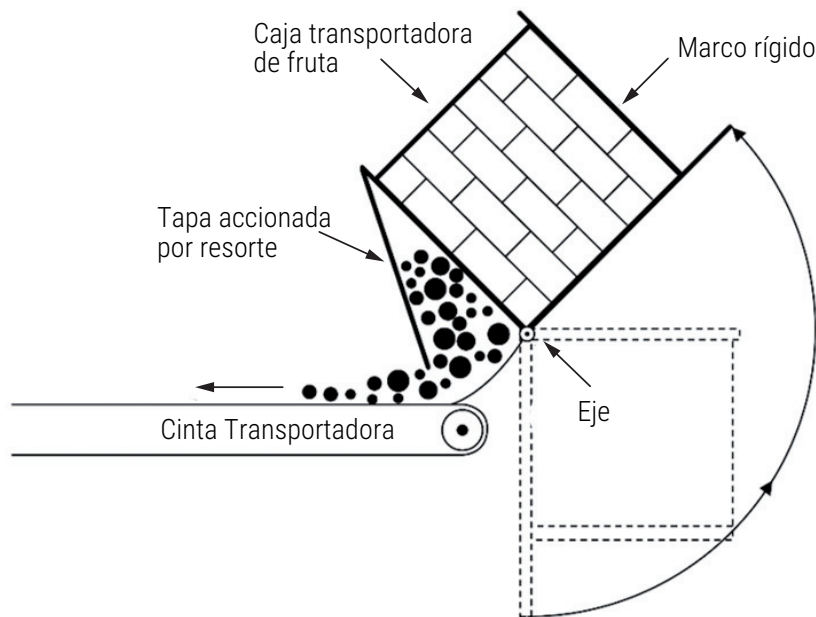


Figura 5.4 Mecanismo de descarga de fruta por pivote
Adaptado de: Singh, R. P. y Heldman, D. R. (2014). *Introduction to Food Engineering*. (Fifth edition). USA: Academic Press.

El proceso de selección es en sí una necesidad, pues un producto seleccionado posee características deseables tanto para acoplarse a operaciones mecanizadas, como para proporcionar mejor control de pesos y uniformidad de aspecto (Ostrovski, 1980).

5.7 Decantación gravitatoria

Este sistema sirve tanto para la calificación de materia prima, así como para el arrastre de cualquier sustancia, conociendo su velocidad de sedimentación. Un cuerpo de volumen V y densidad δ_2 , en un fluido de densidad δ_1 , está sometido a una fuerza gravitacional F_1 (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979), (Mafart y Beliard, 1994):

$$F_1 = V \times (\delta_2 - \delta_1) \times g \quad (5.5)$$

a F_1 se opone otra fuerza F_2 , de resistencia viscosa, que provoca una desaceleración:

$$\frac{dv}{d\theta} = \frac{(F_1 - F_2)}{m} \quad (5.6)$$

donde g es la aceleración gravitacional y m la masa del cuerpo

El movimiento de un cuerpo esférico en un fluido se expresa mediante cinco variables: fuerza (F), viscosidad (μ), diámetro (D), velocidad (v) y densidad (δ), las que se relacionan de la siguiente manera:

$$Ne' = f(Re)$$

$$\frac{2 \times F_2}{\frac{\pi \times D^2}{4} \times v^2 \times \delta_1} = f\left(\frac{v \times D \times \delta_1}{\mu}\right) \quad (5.7)$$

cuando:

$$10^{-4} < Re < 2$$

$$Ne' = 24/Re$$

$$2 < Re < 500$$

$$Ne' = 18,5/Re^{0,6}$$

$$500 < Re < 200000$$

$$Ne' = 0,45$$

Para $Re < 10^{-4}$ el desplazamiento es afectado por el movimiento browniano y para $Re > 200000$ el fluido no puede ser considerado incompresible con relación al movimiento de la partícula.

En régimen laminar:

$$\frac{2 \times F_2}{\frac{\pi \times D^2}{4} \times v^2 \times \delta_1} = \frac{24}{Re} \quad (5.8)$$

de donde:

$$F_2 = 3 \times \pi \times \mu \times D \times v \quad (5.9)$$

En régimen de transición:

$$F_2 = 2,3125 \times \left(\pi \times D^{1,4} \times v^{1,4} \times \delta_1^{0,4} \times \mu^{0,6} \right) \quad (5.10)$$

En régimen turbulento:

$$F_2 = 0,05625 \times \pi \times D^2 \times v^2 \times \delta \quad (5.11)$$

5.7.1 Cálculo de la velocidad límite

Si se conoce el régimen de decantación, la velocidad límite se obtiene cuando F_2 es igual a F_1 :

$$\frac{2 \times V \times (\delta_2 - \delta_1) \times g}{\frac{\pi \times D^2}{4} \times v^2 \times \delta_1} = Ne'$$

que es menester el uso del número de Arquímedes (Ar):

$$Ar = Ne' \times Re^2 = f(Re)$$

$$\frac{4 \times D \times (\delta_2 - \delta_1) \times g}{3 \times v^2 \times \delta_1} = Ne' \quad (5.12)$$

$$Ar = \frac{4 \times D^3 \times \delta_1 \times (\delta_2 - \delta_1) \times g}{3 \times \mu^2} \quad (5.13)$$

y se puede calcular v.

En general, cuando se tienen los datos D, δ_2 , δ_1 y μ , se ignora el régimen de decantación, por lo

Con el número de Arquímedes se puede obtener directamente el valor de Reynolds a partir de la Figura 5.5.

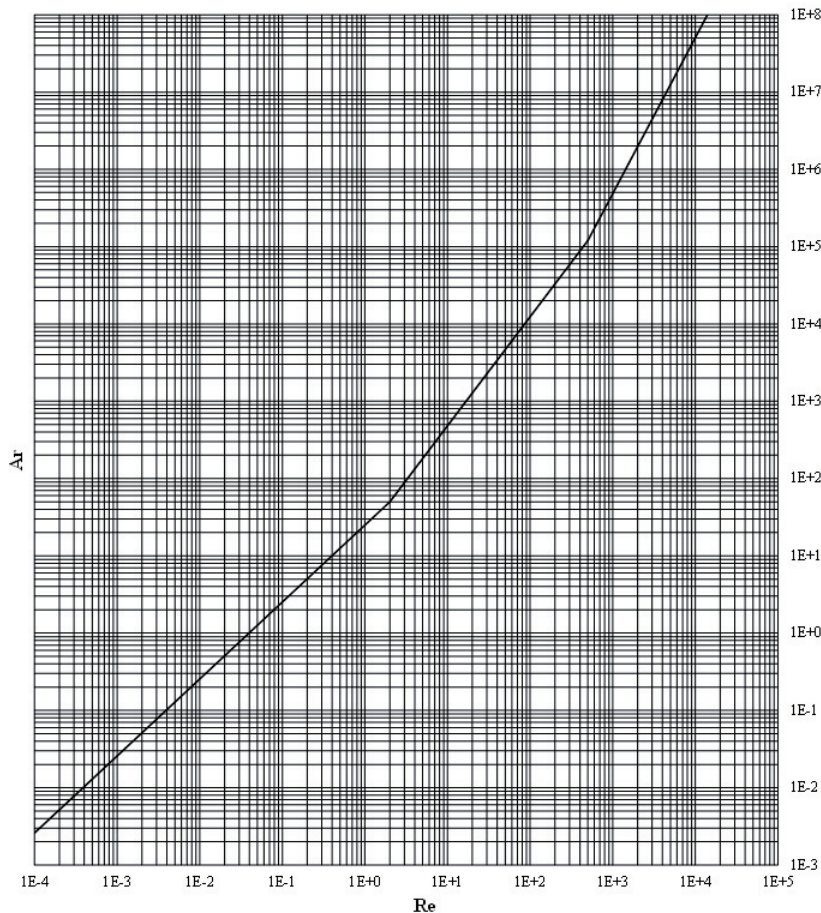


Figura 5.5 Función de Reynolds vs. Arquímedes

Adaptado de: Loncin, M. y Merson, R. L. (1979). *Food Engineering. Principles and Selected Applications*. USA: Academic Press.

Ejemplo 5.2

Calcular la velocidad de decantación de granúlos de almidón ($D=1 \times 10^{-4}$ [m] y $\delta=1500$ [kg/m³]) en el aire ($\delta_1=1,2$ [kg/m³] y $\mu=1,8 \times 10^{-5}$ [P]).

$$\delta_1 = 1,2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\delta_2 = 1500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$D = 0,0001 \text{ [m]}$$

$$\mu = 1,8 \times 10^{-5} \text{ [P]}$$

$Re = 2,75$ según la Figura 5.5 (régimen de transición)

$$v = \frac{Re \times \mu}{D \times \delta_1}$$

$$v = 0,41 \text{ [m/s]}$$

que es también la velocidad límite de arrastre de los granos de almidón en el aire.

$$Ar = \frac{4 \times D^3 \times \delta_1 \times (\delta_2 - \delta_1) \times g}{3 \times \mu^2}$$

$$Ar = 72.53$$

5.7.2 Influencia del movimiento del fluido

En la Figura 5.6 se presenta el diagrama de decantación de una partícula dentro de un fluido en movimiento.

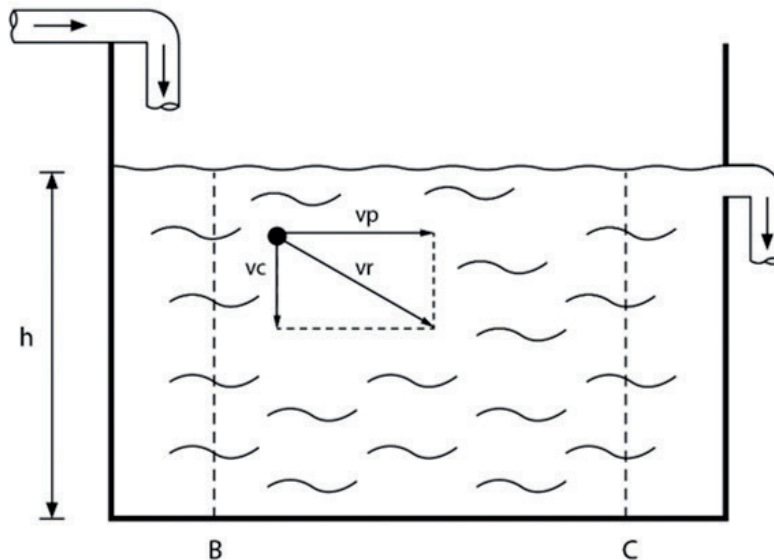


Figura 5.6 Esquema del proceso de decantación de una partícula con movimiento de fluido

Adaptado de: Loncin, M. y Carballo Caabeiro, J. (1965). Técnica de la Ingeniería Alimentaria (Primera edición) España: Editorial Dossat.

El tiempo necesario para la decantación será:

$$\theta = \frac{h}{v_c} \quad (5.14)$$

donde h es la profundidad del tanque y v_c la velocidad de caída.

Si el fluido se mueve horizontalmente, la partícula está sometida a una velocidad de paso v_p (igual a la velocidad media del fluido) y a la velocidad de caída v_c . El vector resultante v_r indica el desplazamiento de la partícula.

Existirá decantación si se cumple:

$$\frac{h}{v_c} < \frac{BC}{v_p}$$

o sea: $\frac{v_c}{v_p} > \frac{h}{BC}$

donde BC es la longitud, h/v_c es el tiempo necesario para la decantación y BC/v_p es el tiempo permanencia.

$$v_p = v_c \times \left(\frac{BC}{h} \right) \quad (5.15)$$

En un aparato rectangular de altura h , longitud BC y anchura l , el gasto volumétrico es:

$$\frac{dv}{d\theta} = h \times l \times v_p$$

por lo que el gasto límite será:

$$\frac{dv}{d\theta} = v_c \times BC \times l$$

Es decir:

$$\frac{dv}{d\theta} = v_c \times A \quad (5.15)$$

El gasto límite depende únicamente de la velocidad de decantación y del área del decantador. Expresiones similares sirven para movimiento vertical u oblicuo del fluido; pero en cualquier caso la partícula decanta cuando:

$$v_c > v_p$$

Cuando una partícula ha sedimentado puede ser arrastrada por la corriente de fluido, siempre que la fuerza de arrastre sea mayor que las de rozamiento e inercia.

Ejemplo 5.3

Usando un decantador rectangular de 0,5 [m] de profundidad, 0,2 [m] de ancho y 0,5 [m] de largo; se decantan granos de 1010 [kg/m³] de densidad y 0,005 [m] de diámetro, en agua fluyente (densidad de 1000 [kg/m³] y viscosidad igual a 1×10^{-3} [P]). Calcular el gasto o caudal límite suponiendo un régimen turbulento.

$$a = 0,2 \text{ [m]}$$

$$h = 0,5 \text{ [m]}$$

$$l = 0,5 \text{ [m]}$$

$$\delta_1 = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\delta_2 = 1010 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$D = 0,005 \text{ [m]}$$

$$\frac{\pi \times D^3}{6} \times (\delta_2 - \delta_1) \times g = 0,05625 \times \pi \times D^2 \times v^2 \times \delta_1$$

$$\frac{dv}{d\theta} = a \times l \times v \quad \frac{dv}{d\theta} = 0,0076 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

(Ecuaciones 5.5 y 5.11)

$$\frac{D \times (\delta_2 - \delta_1)}{6 \times 0,05625 \times \delta_1} = v^2$$

$$v = 0,038 \text{ [m/s]}$$

Esta es la velocidad de decantación con la cual calculamos el gasto límite:

5.7.3 Aparatos de decantación

Los de tipo discontinuo se conocen como tanques de decantación (Figura 5.7), como los que se usan para la clasificación de arvejas. Aquí se usan soluciones de diferentes densidades preparadas con NaCl (1,04 - 1,06 - 1,08 [g/cm³]). Se llena el tanque y se espera el tiempo necesario para que sedimente. En principio se realiza una sedimentación libre y luego una con influencia mutua, de tal forma que el tiempo puede ser algo diferente al teórico.

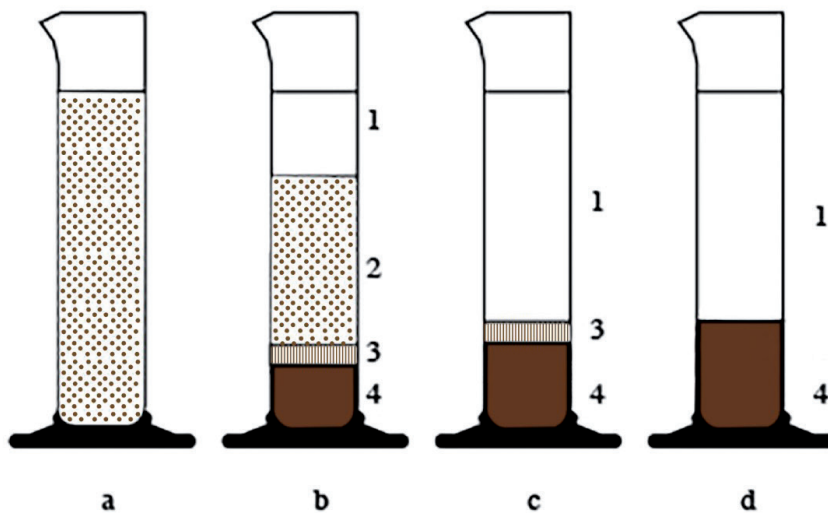


Figura 5.7 Etapas del proceso de decantación

Adaptado de: Ibarz, A., Barbosa-Cánovas, G. y Garza, S.; V, G. (2000). *Métodos Experimentales en la Ingeniería Alimentaria*. España: Editorial Acribia, S.A.

En los decantadores semicontinuos o mesas de decantación, usados en la industria del almidón, la suspensión fluye continuamente durante el tiempo necesario para que el aparato contenga cierta cantidad de precipitado, saliendo líquido claro en forma continua; entonces, se

interrumpe la operación con el fin de retirar el sedimento. Por otra parte, en los decantadores continuos o baterías de decantación, como el Cono de Allen (Figura 5.8), el precipitado impulsa un flotador hacia arriba, el que abre la compuerta de descarga por medio mecánico.

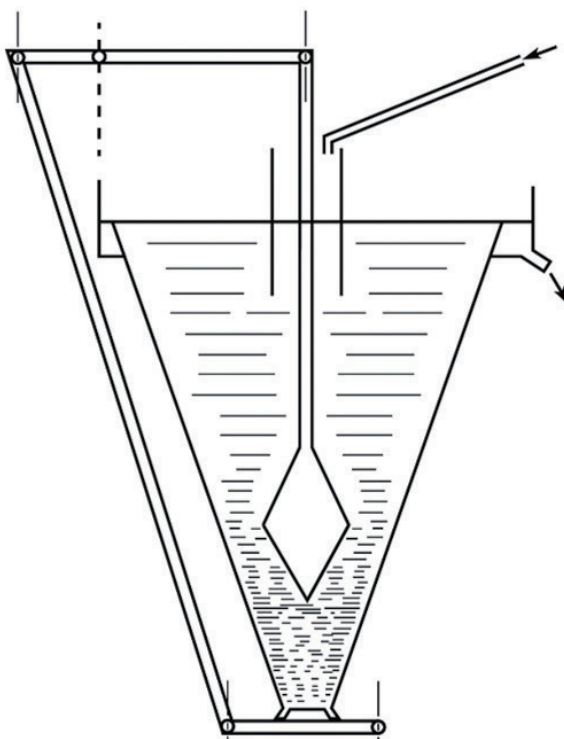


Figura 5.8 Decantador continuo (cono de Allen)

Adaptado de: Loncin, M. y Carballo Caabeiro, J. (1965). Técnica de la Ingeniería Alimentaria (Primera edición) España: Editorial Dossat.

5.8 Tamizado

Es un proceso de separación mecánico basado en las dimensiones de los materiales (clasificación volumétrica). Se lo realiza vertiendo el producto sobre superficies que tienen orificios o ranuras de dimensiones definidas; pasando las

partículas de menor tamaño (finos) y quedando retenidas las de mayor tamaño (gruesos) (Ibarz, Barbosa-Cánovas, Garza et al., 2000). La velocidad de tamizado depende de la probabilidad que tiene toda partícula fina de encontrarse delante de un orificio. La probabilidad es directamente proporcional a la fracción X de finos

en la mezcla considerada, e inversamente proporcional a la carga sobre la superficie de tamizado. Cuando la carga m no es muy grande se la incluye en la constante de proporcionalidad y se obtiene (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979):

$$\frac{dX}{d\theta} = -k \times A \times X \quad (5.17)$$

Integrando queda:

$$X = X_0 \times e^{-k \times A \times \theta} \quad (5.18)$$

donde X y X_0 son los finos actuales y finos iniciales, respectivamente; A la superficie de tamizado y θ el tiempo de tamizado.

La constante de proporcionalidad k , o coeficiente de facilidad, depende del número de orificios del tamiz, de la naturaleza del producto (especialmente de la granulometría y textura) y la naturaleza del tamiz. Asimismo, depende de la aceleración de las partículas sobre el tamiz que se mide con $\omega^2 R$, siendo ω la velocidad angular y R el radio de giro en el movimiento del tamiz. Esta relación se observa en la Figura 5.9.

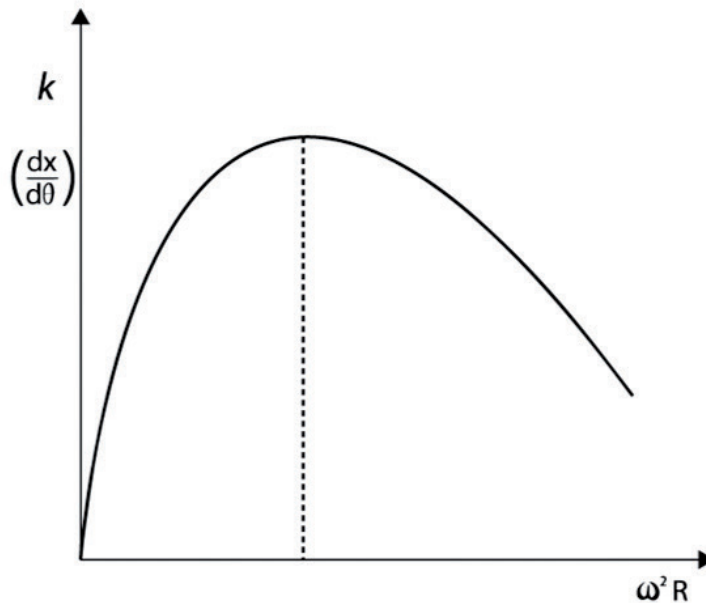


Figura 5.9 Curva de eficiencia de tamizado

Adaptado de: Loncin, M. y Merson, R. L. (1979). *Food Engineering. Principles and Selected Applications*. USA: Academic Press.

La selección por tamaño usa tamices de diseño diferente que pueden ser clasificados de la siguiente manera (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Singh y Heldman, 2014):

Apertura variable	Apertura fija
Rodillos	Estacionario
Cable o cinta	Vibratorio
Cinta y rodillo	Rotatorio
Tornillo	Giratorio
Alternante	

Los tamices de apertura fija son de fondo plano y de tambor. Los de fondo plano poseen un marco estacionario inclinado provisto de una malla en el fondo. Se emplean en la selección preliminar de patatas, zanahorias y nabos en las granjas; así como en las fábricas de cereales y nueces, harina, azúcar y sal.

Los de tambor pueden ser de dos tipos: 1) varios tambores concéntricos (Figura 5.10) con alimentación del producto al tambor más interno con la malla de orificio mayor y 2) de un solo tambor con segmentos que poseen orificios de distintos diámetros, avanzando la carga desde los de menor diámetro hacia los de mayor.

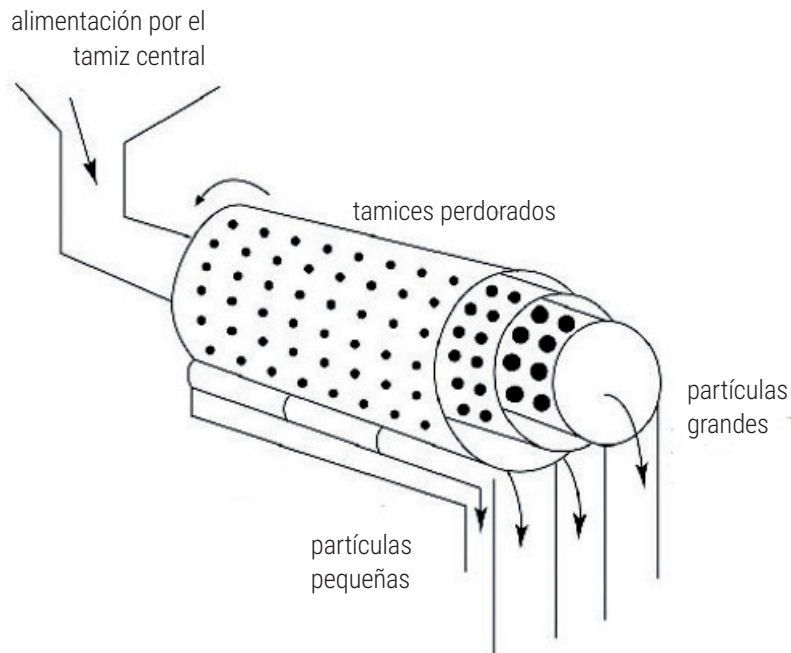


Figura 5.10 Tamiz de tambores concéntricos

Adaptado de: Singh, R. P. y Heldman, D. R. (2014). *Introduction to Food Engineering*. (Fifth edition). USA: Academic Press.

Los tamices de apertura variable tienen su pared construida por varillas de sección decreciente y su separación aumenta paulatinamente desde la entrada. Asimismo, en los de cintas o rodillos, las separaciones crecen de la entrada a la salida; se usan para separar manzanas y peras

(Figura 5.11). Por otra parte, la seleccionadora de tornillo arrastra la fruta por medio de dos espirales parcialmente superpuestas. Una es continua y se puede ajustar de forma que proporcione un aumento escalonado de aperturas; mientras que la otra está dividida en secciones.

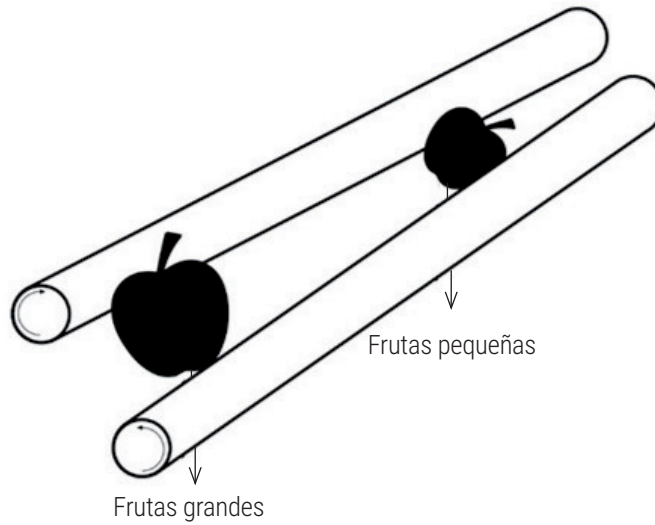


Figura 5.11 Esquema del sistema de selección de manzanas a través de rodillos inclinados

Adaptado de: Singh, R. P. y Heldman, D. R. (2014). *Introduction to Food Engineering*. (Fifth edition). USA: Academic Press.

Ejemplo 5.4

Usando un tamiz rotatorio discontinuo de 100 [kg] de capacidad y 1 [m²] de superficie, con un diámetro de orificios de 5 [mm], se clasifican granos de arvejas con 85 % de finos. Si el 50

% del material fino total pasa el tamiz en 30 [s], ¿en qué tiempo pasará el 95 % del fino (considerado como eficiencia de la operación)? ¿Qué peso de producto fino se obtuvo?

peso inicial =	100 [kg]
peso de finos iniciales =	85 [kg]
50 % de finos =	42,5 [kg]
95 % de finos =	81,5 [kg] *** (respuesta del peso de finos)
5 % de finos residuales =	4,5 [kg]
tiempo para el 50 % =	30 [s]

$$k = \frac{-\ln \frac{X}{X_0}}{\theta \times A}$$

$$k = 0,0235 [1/s.m^2]$$

$$\theta_f = \frac{-\ln \frac{X_f}{X_0}}{k \times A}$$

$$\theta_c = 130 [s]$$

5.9 Ejercicios

Ejercicio 5.1

En un decantador discontinuo que usa una solución salina de densidad 1,04 [g/cm³], decantan arvejas de un diámetro medio de 0,6 [cm] y de densidad igual a 1,21 [g/cm³]. Si la viscosidad de la solución es de 1 [cP], calcular la velocidad de caída límite suponiendo un régimen turbulento.

$$\text{Sol.: } v = 0,1689 [m/s] \quad (Re = 1053,575)$$

Ejercicio 5.2

Una muestra de arveja (densidad 1,1 [g/cm³]) está impurificada con arena (densidad aproximada de 2,5 [g/cm³]); la cual se quiere separar por decantación en una solución de densidad igual a 1,2 [g/cm³] y viscosidad de 1,15 [cP]. Si el diámetro equivalente esférico de la arena es de 1 [mm], calcular el tiempo que se necesita para que este material decante en un equipo de 1 [m] de profundidad.

$$\text{Sol.: } \theta = 8,547 [s]$$

Ejercicio 5.3

De un lote de arvejas tiernas se tomó una muestra de 150 granos para realizar una calificación por decantación; se pusieron los granos en una solución de cloruro de sodio de 1,12 [g/cm³] de densidad, sometiéndolos a una lenta agitación. Al cabo de 3 [min] se contaron un total de 55 arvejas decantadas.

- ¿Qué porcentaje decantó?
- ¿Serán aptas para proceso?

Sol.: Porcentaje decantado X = 36,67 %, y como el valor es superior al 25 % (*ad hoc*), no son aptas para proceso.

Ejercicio 5.4

Usando un decantador rectangular de 0,5 [m] de profundidad, 0,2 [m] de ancho y 0,5 [m] de largo; se decantan granos de 1010 [kg/m³] de densidad y 0,012 [m] de diámetro, en agua fluyente (densidad de 1000 [kg/m³] y viscosidad igual a 1×10⁻³ [P]). Suponiendo un régimen turbulento, calcular el gasto o caudal límite.

$$\text{Sol.: } \frac{dv}{d\theta} = 0,00591 m^3 / s$$

Ejercicio 5.5

¿En qué tiempo se reducirá el 99 % de finos de un producto (100 [kg] en total), en el que originalmente había 20 % de finos? Considere el valor de k = 3×10⁻² [1/m².s] y el área del tamiz de 0,45 [m²].

$$\text{Sol.: } \theta = 341,124 [s]$$



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa 
Editora

Operaciones de Acondicionamiento **de Materias Primas**



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa
Editora

06

6.1 Lavado de vegetales

Los productos vegetales cosechados pueden contener tierra y otros sólidos extraños. Mediante el lavado se remueven estos materiales, se reduce la carga microbiana y ayuda a la sanitización del producto. En la industria de conservas vegetales el agua también se utiliza para otros propósitos diversos al lavado (Durán, 2007), (Mishra y Sinha, 2011):

1. para el pelado químico y otros tratamientos preliminares de las materias primas;
2. para la preparación de jarabes y salsas;
3. para la generación de vapor de agua usado durante la esterilización;
4. para el enfriamiento de productos envasados; y
5. para limpieza y desinfección de instalaciones, maquinaria, envases.

Las frutas y hortalizas pueden ser lavadas con agua por tres vías diferentes: remojo, lavado con agitación y con pulverizadores.

6.1.1 Remojo

El remojo en sí no es un método muy efectivo para remover la suciedad, pero es usado como un tratamiento preliminar al lavado con agitación o con pulverizadores. Es especialmente aplicado a tomates, a causa de que afloja la tierra adherida y vuelve más eficiente el lavado

posterior. Generalmente, los tomates se descargan en un tanque de remojo con agua caliente (mejor agente de remojo que el agua fría). Es esencial que el agua sea abundante y se cambie con cierta frecuencia, de lo contrario el baño de remojo serviría como fuente de contaminación antes que de limpieza. Por tal motivo, el agua de lavado debe ser continuamente clorada (Arthey y Dennis, 1992), (Arthey y Ashorst, 1997).

6.1.2 Lavado por agitación con agua

Si las frutas y hortalizas son agitadas en agua se mejora sustancialmente la eficiencia del proceso de remojo. Una forma muy simple de lavado por agitación es aquella que se usa en algunas fábricas para lavado de manzanas para la manufactura de la sidra, en la que las manzanas son conducidas a través de una rápida corriente de agua en un canal de madera. El aire comprimido se usa algunas veces para agitar el agua en los tanques de lavado (así se lavan las espinacas) o puede agitarse por circulación mediante bomba. Algunos tanques de remojo están equipados con hélices o paletas (Figura 6.1), las que pueden estar en contacto con el producto, en cuyo caso deberían moverse lentamente para evitar magulladuras; o pueden estar encerradas en una pequeña caja cribada en un costado del tanque (Arthey y Dennis, 1992), (Arthey y Ashorst, 1997).

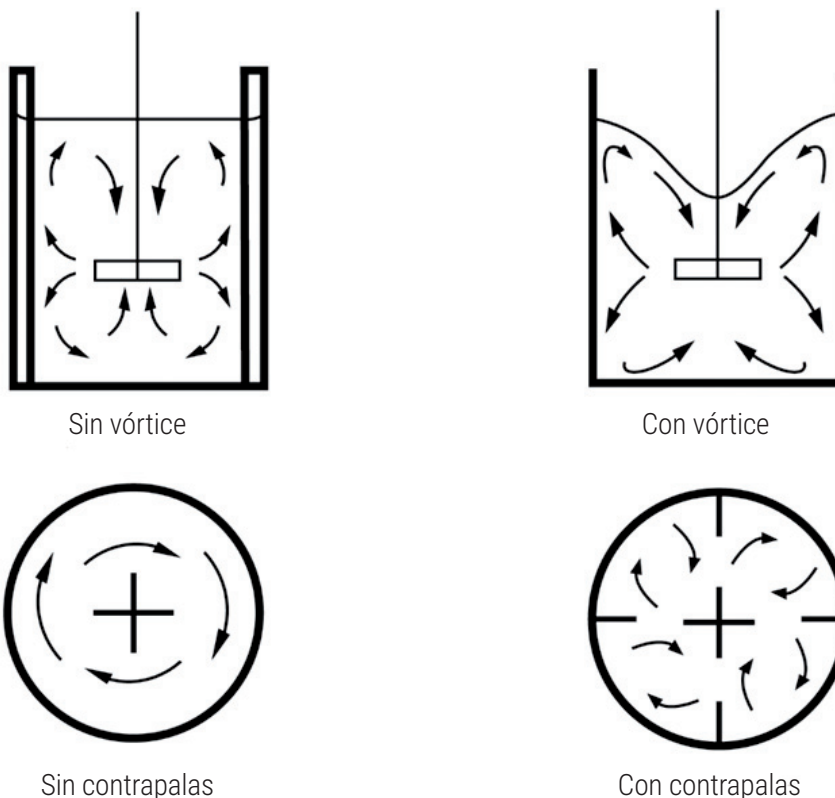


Figura 6.1 Distintas formas de flujo durante el proceso de agitación
Adaptado de: Baquero, J. y Llorente, V. (1985). *Equipos para la Industria Química y Alimentaria*. (Primera Edición). España: Editorial Alhambra S.A.

Los lavaderos rotativos usados después del pelado químico de duraznos son efectivos. Estos consisten en un tambor rotativo o en una serie de tambores equipados interiormente con un transportador helicoidal. Los tambores rotan en tanques de agua, la que es cambiada continuamente. La espiral acarrea la fruta progresivamente a través de los diferentes tanques de lavado, el primero de los cuales está cargado con agente químico de pelado procedente del tanque de pelado, mientras que los dos últimos

se llenan con agua caliente y fría, respectivamente. Este lavado es usado también luego del sodado por inmersión y enjuagado de las ciruelas pasas para secado. Tiene gran capacidad, no se magulla la fruta y economiza el agua, aunque no es tan efectivo ni económico como el sistema de pulverización. En el lavado de algunas frutas, especialmente naranjas, se agrega algún detergente de grado alimenticio para mejorar la acción limpiante (Arthey y Dennis, 1992), (Arthey y Ashorst, 1997).

6.1.3 Lavado por aspersión o pulverización

El método más conveniente es el lavado de las frutas y hortalizas por aspersores o rociadores de agua (Figura 6.2) (Durán, 2007). Los productos que están fuertemente contaminados con tierra y otros materiales, deberían ser remojados para que pierdan la adherencia antes de ser sometidos a la aspersión. La eficiencia de un aspersor de agua para el lavado depende de la presión y volumen del agua, así como de la distancia entre la boquilla del aspersor y el producto a lavarse. El aspersor en el cual se utilice un reducido volumen de agua a gran presión, es mucho más eficiente que aquel que use gran volumen y poca presión. La distancia entre la boquilla del aspersor y el producto es un detalle importante al que se le ha dado poca atención en algunas máquinas lavadoras.

Algunos sistemas de lavado por aspersión consisten en tubos con perforaciones; sin embargo, para presiones de agua sobre las 20 [psi] (libras por pulgada cuadrada) deben usarse boquillas ajustables a fin de que los chorros no se dis-

persen. Los pulverizadores son efectivos solo si el agua toca toda la superficie del producto. Esto quiere decir que para conseguir tal objetivo se deben colocar pulverizadores por encima y por detrás de la cinta transportadora. El mismo efecto se conseguiría provocando una rotación del producto durante el proceso.

La manera más práctica de agitar el producto bajo los aspersores es la que se consigue en la máquina usada para lavar tomates y raíces (revolving spray-washing machine), que consta de un tambor perforado, ligeramente inclinado y provisto en su interior de espirales o corrugados. Este tipo de lavador es usado también en el procesamiento de espinacas. La efectividad del lavador rotativo depende tanto de la velocidad a la que el producto pasa por él, como del volumen de agua usado, la temperatura del agua, la distancia de los aspersores al producto y la profundidad que tiene en el lavadero. En varias ocasiones los lavaderos se 'sobrecargan' con materiales tales como tomates, con el resultado de que gran parte del material no recibe la acción total de los aspersores.

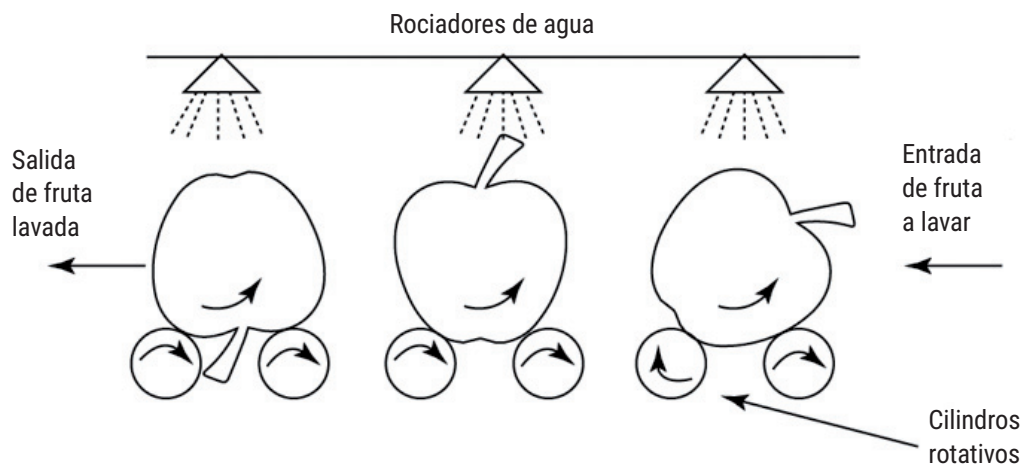


Figura 6.2 Diagrama del equipo de lavado por aspersión para frutas
Adaptado de: Singh, R. P. y Heldman, D. R. (2014). *Introduction to Food Engineering*.
(Fifth Edition). USA: Academic Press.

En muchas plantas de procesamiento de tomate se usa una combinación del transportador rotativo y lavado por aspersores. El transportador tiene cerca de 45 [cm] de ancho y contiene tubos transversales de bronce o acero inoxidable de 3 [in] de diámetro y movidos por una cadena que los liga en sus extremos. Al igual que el transportador, los tubos rotan revolviendo una y otra vez los tomates y exponiéndolos totalmente a los aspersores. Se usan dos grupos de aspersores, uno de baja presión (400 [psi]) y otro a presión media. Estos lavaderos rotativos también se usan para patatas y otros productos (Fellows, 2007).

6.1.4 Limpieza y desinfección de equipos

El depósito de impurezas en las superficies de los aparatos empleados en la industria alimentaria depende, entre otras cosas, de la naturaleza de los materiales y del pulido de sus superficies; factores que influyen en los fenómenos de adherencia y en la retención de los microorganismos en los depósitos. La frecuencia de estos depósitos y su textura determinan las condiciones de acción de los agentes antimicrobianos. La cinética de la eliminación de las impurezas por soluciones detergentes ha sido expresada matemáticamente de la siguiente manera (Brennan et al., 1998), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979):

$$\frac{dm}{d\theta} = -A \times E_0 \times m \quad (6.1)$$

m = masa de impurezas aún no eliminadas

A = superficie a limpiar

E_0 = coeficiente de facilidad de transferencia de materia

Integrando tenemos:

$$\ln \frac{m_0}{m} = A \times E_0 \times \theta \quad (6.2)$$

Esta hipótesis simplificada tiene un interés considerable a pesar de que la experiencia no siempre la confirma. El coeficiente de facilidad E_0 depende de la naturaleza de la impureza y de su superficie; de la naturaleza, concentración y temperatura de la solución detergente; así como del movimiento de esta solución en contacto con la superficie. Jennings, utilizando como trazador el P^{32} obtuvo una relación lineal entre E_0 y $1/T$ entre 36 y 82 [°C], análoga a la de Arrhenius en cinética química; así también, este coeficiente de facilidad es sensiblemente proporcional al $\log(Re)$, y para concentraciones bajas de OH^- varía proporcionalmente a su concentración. La destrucción química de los microorganismos se efectúa como si se tratara de una reacción de primer orden, en la que si Nm es el número de microorganismos que existen en un cultivo determinado por [kg] de producto, se tiene (Brennan et al., 1998), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979):

$$\frac{dNm}{d\theta} = -k \times Nm \quad (6.3)$$

Que integrando resulta:

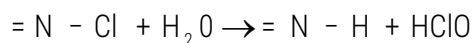
$$\ln \frac{Nm_0}{Nm} = k \times \theta \quad (6.4)$$

El coeficiente de proporcionalidad k es función del cultivo microbiano, de la naturaleza y concentración del agente bactericida, así como de la temperatura y composición del medio en el

cual se efectúa la destrucción. La relación que existe entre la concentración C_m del agente bactericida y el tiempo necesario para que se obtenga una destrucción microbiana es (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965):

$$C_m^n \times \theta = k \quad (6.5)$$

Lo que significa que C_m^n es en cierto sentido proporcional a k . El valor de la potencia n es variable: así, para *Salmonella* a 25 [°C] es igual 4 si se trata de fenol y de 1 si se trata de cloruro de mercurio. Los principales agentes de limpieza y desinfección son ácidos, álcalis, diversas sales alcalinas, agentes de quelación, agentes abrasivos, compuestos oxidantes o sustancias que reaccionan con grupos químicos que pertenecen a las proteínas de las células vivas, así como agentes tensioactivos que merecen especial atención. Se conocen varios agentes tensioactivos, como los de tipo aniónico: alquilsulfatos primarios y secundarios, alquilaril sulfonatos; los catiónicos: alquilaminas primarias, aminas etoxiladas, derivados de amonio cuaternario. Como agentes bactericidas que se pueden agregar al agua para lavar alimentos tenemos: la cloramina T, la dicloro dimetil hidantoína y los ácidos isocianúricos; los cuales reaccionan con el agua de la siguiente manera (Arthey y Ashorst, 1997), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Mossel et al., 2003):



Formándose ácido hipocloroso que es un desinfectante activo, pues en el agua se descompone en ácido clorhídrico y oxígeno naciente. Los hipocloritos en medio ácido también lo generan, al igual que el cloro y el dióxido de cloro

gaseosos. También son agentes desinfectantes de uso industrial el ozono, agua oxigenada, dióxido de azufre, entre otros. De hecho, el ozono ha sido aceptado para lavado de alimentos, lo cual representa una alternativa al agua tratada tradicionalmente con cloro. Además, el ozono se reconoce como seguro para el agua de consumo humano. Como agente oxidante, el ozono es 52 % más fuerte que el cloro (Arthey y Ashorst, 1997).

De acuerdo a varias investigaciones, la mayoría de microorganismos asociados con frutas y hortalizas son inofensivos para los seres humanos. Esto incluye las bacterias *ácido lácticas*, *pseudomonas*, *xanthomonas*, *micrococcus* y *coliformes*. Estos microorganismos juegan un papel importante en la descomposición de los alimentos y determinan la vida media de las frutas frescas y hortalizas. El producto agrícola crudo más saludable tendrá entre miles y millones de microorganismos por cada gramo. La presencia de muchos de estos microorganismos es preocupante, pues causan descomposición del producto. Los procesos de lavado pueden reducir la carga microbiana autóctona en la superficie hasta en un 99 % (Mossel et al., 2003). El ozono es un desinfectante muy eficaz para virus, bacterias, levaduras, mohos, tanto en forma vegetativa como en esporas, así como para los parásitos. Se estima que no hay ningún residuo químico prolongado en el agua tratada con ozono, pues se convierte rápidamente en oxígeno. Las investigaciones de la Agencia de protección del Ambiente Americana (EPA) demostraron que el ozono es más benigno en la generación de derivados tóxicos cuando se lo comparó con el cloro y el dióxido de cloro. El uso extendido de cloro en la industria de alimentos y su aceptación como el agente desinfectante primario están actualmente bajo escrutinio (Hayes, 1993), (Mossel et al., 2003).

6.2 Pelado y segmentación

Los vegetales deben someterse a un tratamiento de separación de las partes no comestibles, tales como cáscaras, semillas o pepas y los centros. Estas operaciones se realizan en máquinas apropiadas y muy eventualmente de forma manual; de acuerdo con la clase de materia prima y el producto a elaborar (Arthey y Dennis, 1992), (Arthey y Ashorst, 1997), (Mishra y Sinha, 2011).

6.2.1 Pelado de frutas y hortalizas

Existen diferentes formas de pelado: con vapor de agua, mecánico, químico y otros (Hayes, 1993), (Mishra y Sinha, 2011). Por ejemplo, para pelar patatas y raíces alimenticias se usan máquinas con superficie abrasiva de carborundo

(carburo de silicio). En el pelado manual se usan cuchillas de acero inoxidable. Sin embargo, el sistema de agua a ebullición o vapor es uno de los métodos de uso más frecuente. Aquí, el producto se somete a la acción del agua caliente por unos pocos minutos. Este proceso puede servir simultáneamente como escaldado o por lo menos como blanqueamiento. Los métodos mecánicos usan máquinas muy variadas, como la mencionada para patatas, o la ginaca para piñas (Figura 6.3). Finalmente, para el pelado químico se usan sustancias alcalinas como el hidróxido de sodio, de calcio, o los carbonatos solubles, en concentraciones del 2 al 4 % (bajas) o hasta el 10 % en el caso de patatas.

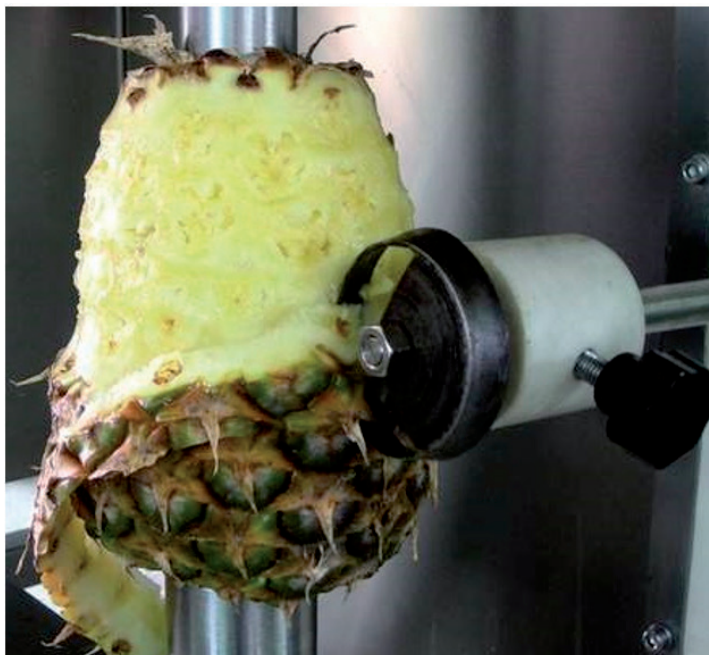


Figura 6.3 Sistema de pelado mecánico para piña

Adaptado de: Madrid, A., Cenzano, I. y Vicente, J. (1994). *Nuevo Manual de Industrias Alimentarias*. España: AMV Ediciones y Mundi-Prensa.

6.2.2 Segmentación

Una vez limpia y descascarada la materia prima, es común someterla a cortes en partes homogéneas y pequeñas. Las frutas como duraznos, peras y manzanas se envasan cortadas en mitades. Las patatas y plátanos verdes se cortan en barras o en láminas para freírlas; el pepino en rodajas, la zanahoria en barras, la coliflor en gajos (Arthey y Dennis, 1992), (Mishra y Sinha, 2011).

6.3 Escaldado y blanqueamiento

La mayoría de los vegetales, luego de haber sido seleccionados y lavados, son sumergidos por pocos minutos en un baño de agua a ebullición o tratados con vapor de agua antes de ser sometidos a otras operaciones. En la industria de conservas este tratamiento se conoce como blanqueamiento (Grandison, 2012), (Ostrovski, 1980), (Sharma et al., 2003). Este proceso limpia el producto y disminuye su volumen, de tal forma que se puede obtener un correcto llenado. En algunos casos se eliminan olores desagradables y en ciertos vegetales las sustancias mucilaginosas; asimismo, puede o no contribuir a la retención del color verde de las verduras. La finalidad principal de esta operación, en la mayoría de los casos, consiste en la destrucción de las enzimas que forman parte de la materia prima. La inactivación de las enzimas pépticas del tomate o de las polifenoloxidasas de los jugos, se realizan mediante este proceso. De igual forma, las catalasas, oxidasas y peroxidasas existentes en las verduras son inactivadas y como estas enzimas son responsables del oscurecimiento enzimático que se produce en estos vegetales, se usa el término *blanqueamiento* para dicho proceso de inactivación (Durán Ramírez, 2008), (Mafart, 1994).

Durante el almacenamiento de la materia prima, sobre todo cuando ha sido limpiada y segmentada, si se demora su elaboración, las enzimas continúan operando activamente, acelerando los procesos oxidativos y otros indeseables que provocan deterioro o una brusca reducción de la calidad de los alimentos. Las enzimas se destruyen fácilmente durante un calentamiento a 70 [°C] o más, por lo que, usando agua a ebullición o vapor de agua se interrumpe la actividad enzimática a corto tiempo.

Por otra parte, el proceso de escaldado (Brennan et al., 1998), (Durán, 2007), (Durán Ramírez, 2008), (Mafart, 1994), que suele confundirse con el anterior, presenta algunas diferencias. El escaldado es un proceso térmico más intenso, tendiente a obtener una precocción de los materiales con gelatinización de los almidones y proteínas; en tanto que el blanqueamiento persigue solo la inactivación enzimática. Tanto en el blanqueamiento como en el escaldado, el color verde de las verduras se ve, con frecuencia, perjudicado. Esto se debe a la hidrólisis de la clorofila, por lo que algunos industriales recurren al reverdecimiento con sulfato de cobre (no siempre conveniente debido a su toxicidad) (Durán Ramírez, 2008), (Ostrovski, 1980).

Ejemplo 6.1

Calcular la cantidad de calor necesaria para escaldar 10 [kg] de arvejas en 80 [L] de agua calentada por vapor saturado a 120 [°C] a través de superficie de intercambio. Los calores específicos del agua y del producto son 4,186 [kJ/kg.K] y 3,1 [kJ/kg.K], respectivamente. La temperatura inicial es, igual para ambos, de 20 [°C]. La temperatura de ebullición del agua es de 92 [°C]. La arveja se coloca en el agua a esta temperatura y se mantiene en ebullición por 10 [min]. El caudal de agua condensada procedente del vapor de

agua es de 0,5 [kg/min]. Las pérdidas térmicas se estiman en 30 % para el escalador usado. ¿Qué cantidad de agua se evapora?

Peso de agua escaldante (m_a) = 80 [kg]

Peso de producto a escaldar (m_p) = 10 [kg]

calor específico del agua (Cp_a) = 4,186 [kJ/kg.K]

calor específico del producto (Cp_p) = 3,1 [kJ/kg.K]

temperatura inicial (t_i) = 20 [°C]

temperatura de ebullición (t_e) = 92 [°C]

caudal másico de vapor de agua (Q_v) = 0,5 [kg/min]

temperatura del vapor de agua (t_v) = 120 [°C]

tiempo de escaldado (θ) = 10 [min]

Los calores latentes del vapor de agua y del agua a ebullición, se obtienen de las tablas de vapor saturado (Wagner y Kretschmar, 2008):

calor latente del vapor de agua (λ_v) = 2201,417 [kJ/kg]

calor latente del agua a ebullición (λ_a) = 2277,351 [kJ/kg]

El calor para calentar el agua, el producto y el calor total se calculan usando las siguientes ecuaciones

$$qc_1 = m_a \times Cp_a \times (t_e - t_i)$$

$$qc_2 = m_p \times Cp_p \times (t_e - t_i)$$

$$q_T = qc_1 + qc_2$$

calor para calentar el agua (qc_1) = 24111,36 [kJ]

calor para calentar el producto (qc_2) = 2232,00 [kJ]

Calor total para calentamiento (q_T) = 26343,36 [kJ]

La cantidad de vapor de agua es:

$$Q_v \times \theta = m_v$$

cantidad de vapor (m_v) = 5 [kg]

y el calor para escaldado se evalúa así:

$$m_v \times \lambda_v = q_e$$

calor para escaldado (q_e) = 11007,09 [kJ]

el agua evaporada:

$$\frac{q_e}{\lambda_a} = m_{ae}$$

agua evaporada en el escaldado (m_{ae}) = 4,83 [kg]

Esta sería la masa de agua evaporada si existiera el 100 % de transferencia térmica; pero como existe un 30 % de pérdidas térmicas, el agua evaporada será:

$$m_{ae} = 4,833 \times \frac{70}{100}$$

$$m_{ae} = 3,38 \text{ [kg]}$$

El calor total de calentamiento más el de escaldado y sumado el 30 % de pérdidas, nos dará el calor total:

calor necesario + 30 % de pérdidas =

$$(q_T + q_e) \times \frac{100}{70} = 53357,78 \text{ [kJ]}$$

6.3.1 Escaldado de productos vegetales

Las arvejas (guisantes) y fréjoles (judías) tiernos usualmente se escaldan en agua a ebullición. La severidad del tratamiento dependerá del grado de madurez o inmadurez de los vegetales, variando el período de escaldado o la temperatura del agua. Es aconsejable para reducir el tiempo de tratamiento la adición de pequeñas cantidades de bicarbonato de sodio, el que acelera el proceso por su acción alcalina reblandecedora de la cáscara. En las arvejas se pueden usar agentes reverdecedores como el sulfato de cobre, siempre que no se excedan los límites de toxicidad en el producto final (máximo 100 [ppm] en el líquido escurrido del producto envasado) (Mishra y Sinha, 2011). Aguas duras con altos contenidos de sales de calcio o magnesio causarán endurecimientos superficiales, probablemente debido a las reacciones con las sustancias pécticas (Grandison, 2012).

Aunque los espárragos se blanquean y escaldan colocándoles en cestas perforadas que se pasan por baños de agua a temperaturas ligeramente inferiores a la de ebullición, actualmente en la mayoría de industrial son tratados con vapor de agua. En el blanqueamiento de vegetales verdes para almacenamiento congelado, se sabe que es necesario un calentamiento suficiente para destruir la catalasa a fin de que los productos congelados no desarrollen aromas extraños. Se ha demostrado que el blanqueamiento debería destruir no solo la catalasa, sino también la peroxidasa, por lo que el proceso tendría que ser más severo que el aconsejado.

El maíz (estilo-crema) para enlatado no se blanquea en la mazorca, pero es precocido antes de enlatarlo. La calabaza es cortada en largas piezas y luego cocinada en la cáscara hasta suavizarse, con el objeto de permitir la separación mecánica de la pulpa antes del enlatado. Los

tomates son blanqueados en vapor o con agua a ebullición durante un corto tiempo hasta que se rompa y separe la piel. Los camotes y remolachas usualmente se calientan con vapor para facilitar el pelado. Por otra parte, los pimientos son 'rostizados' en una llama de gas o en un tambor metálico calentado al rojo vivo para que pierdan la piel.

Generalmente, los duraznos se blanquean después del pelado con sosa, para de esta forma remover las trazas de esta sustancia e inactivar la oxidasa (responsable del pardeamiento). Existen otras frutas que no se blanquean, por ejemplo, las ciruelas que se preparan para el secado se mantienen por 30 [s] en una solución diluida de sosa (0,5 a 1,5 % de hidróxido de sodio) para romper la piel y así facilitar el secado. Algunas variedades de uva son tratadas de forma análoga.

Magoon y Culpepper concluyeron en sus investigaciones que es preferible el blanqueamiento con vapor al uso de agua a ebullición, debido a que se pierden menos nutrientes en los productos. No obstante, Adam y Horner en Inglaterra, así como Wagner y colaboradores en la Universidad de Winsconsin, hallaron que las pérdidas en el tratamiento con vapor eran igualmente severas; incluso no solo afecta el color verde de la espinaca, sino que su efecto se extiende aclarándolo a amarillo verdoso durante la esterilización en la lata (Singh y Heldman, 2014). Queda claro que el blanqueamiento es un proceso muy importante a tal punto que siguen desarrollándose investigaciones en este campo.

6.3.2 Ventajas y desventajas del escaldado y del blanqueamiento

Entre las principales ventajas anotaremos (Arthey y Ashorst, 1997), (Durán Ramírez, 2008), (Francis, 1999), (Grandison, 2012), (Mishra y Sinha, 2011):

1. Exterminación de la mayoría de los microorganismos de la superficie de los alimentos, especialmente en la forma vegetativa, lo que contribuye a una mayor conservación de la calidad durante la elaboración ulterior.
2. Los tejidos de las frutas y vegetales se reblandecen volviéndose más tiernos; así, la materia prima blanqueada se procesa con mayor facilidad (por ejemplo, puede ser enlatada con mayor comodidad).
3. Disminuye el volumen de los pedazos del alimento a consecuencia de la eliminación del aire de los tejidos y del desprendimiento parcial del agua, lo que facilita el embalaje más compacto.
4. Aumenta la penetrabilidad de las membranas celulares, lo que genera que se pierda con mayor facilidad el agua de los tejidos cuando el alimento es deshidratado.
5. Se eliminan muchos componentes indeseables, por ejemplo, los que ocasionan el amargor de las berenjenas.
6. Facilita el pelado de productos como el tomate y los espárragos, principalmente.
7. Elimina la solución alcalina que sirvió para el pelado de frutas como el durazno.
8. Una última ventaja que anotaremos es la fijación del color, aunque, como se indicó, si se extremen las condiciones también puede desvanecerlo.

El escaldado y el blanqueamiento presentan también problemas para la materia prima:

1. Se lixivian componentes de alto valor nutritivo, principalmente los hidrosolubles: azúcares, sustancias albuminosas, vitaminas hidrosolubles, sales minerales, más aún cuando el escaldado es realizado en agua a ebullición; por ello es que se prefiere el vapor (en ciertos casos).
2. Se destruyen vitaminas termolábiles como la vitamina C, las que se oxidan rápidamente en caliente.

6.3.3 Equipos de blanqueamiento

El blanqueamiento puede realizarse en forma continua o discontinua (Francis, 1999), (Grandison, 2012). El blanqueamiento continuo habitualmente se realiza en blanqueadores de tambor (Figura 6.4), los que se componen de un tambor metálico horizontal con pequeños orificios por toda su superficie lateral y un espiral metálico en su parte interior. El tambor se encuentra semisumergido en un baño de agua caliente. La materia prima se carga en la tolva por un elevador y se transfiere al interior del tambor. Durante la rotación del tambor la materia prima avanza a lo largo del mismo y de acuerdo a la velocidad de rotación tendrá distintos tiempos de permanencia, desde 3 hasta 10 [min]. Variando el número de revoluciones y la temperatura del agua, se puede regular el régimen de blanqueamiento.

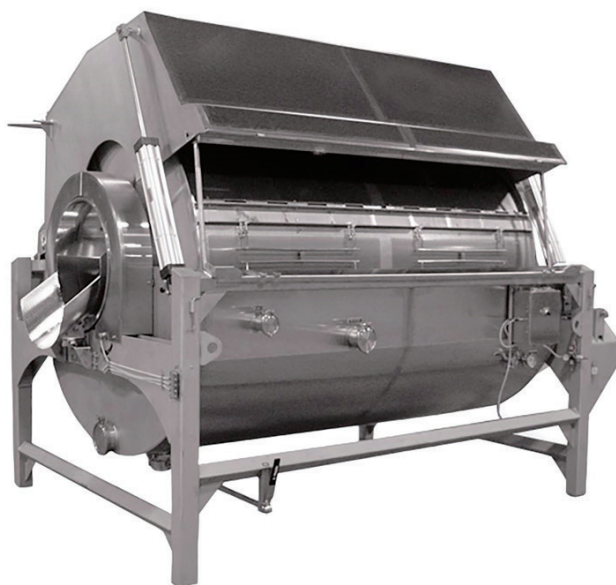


Figura 6.4 Escaldador de tambor rotatorio
Adaptado de: Lyco Manufacturing, Inc. <http://lycomfg.com/>.

Para el blanqueamiento a vapor se utilizan los escaldadores de tornillo transportador de acción continua. Este gira en un canal metálico sobre un árbol hueco con orificios para el suministro de vapor. Por medio del tornillo transportador la materia prima se desplaza a lo largo del canal, sometiéndose al mismo tiempo a la acción del vapor y del condensado que se forma (Mishra y Sinha, 2011).

En las empresas pequeñas, donde no existe producción en cadena, el blanqueamiento se realiza en forma discontinua, tanto si es con agua caliente como con vapor de agua. En este caso se usan escaldadores de doble pared (Fi-

gura 6.5) o de serpentín, en los que el medio de calefacción es el vapor y el medio escaldador es el agua a ebullición, sumergiéndola en ella las cestas metálicas con material preparado, manteniéndolas durante el tiempo necesario y extrayéndolas. Los escaldadores discontinuos a vapor son cámaras cerradas, aunque no herméticas, que poseen en su interior una serie de tubos perforados por los que se descarga el vapor sobre los materiales que se introducen a través de compuertas convenientes, en charolas o fuentes perforadas, las mismas que son extraídas cuando hubiere transcurrido el tiempo previsto para el proceso.



Figura 6.5 Escaldador discontinuo

Adaptado de: Carrión, M. (1995). *Manual de Prácticas en Tecnología de Conservas Vegetales*. Ecuador: IICT de la Universidad de Cuenca.

Carrión, M. (1997). *Tecnología de Conservas Vegetales*. Ecuador: IICT de la Universidad de Cuenca.

6.4 Ejercicios

Ejercicio 6.1

¿Qué cantidad de calor se necesita suministrar a 200 [kg] de fréjol tierno para subir su temperatura desde 18 [°C] hasta 92 [°C] durante un

proceso de escaldado? El calor específico del fréjol tierno y humedecido es 0,87 [cal/g.°C].

Sol.: $q_T = 53898,94$ [kJ]

Operaciones específicas de **transformación**



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa
Editora

07

7.1 Freimiento y sofreimiento

El freimiento se puede definir como la sustitución del agua presente en el alimento por aceite, con formación de una costra sensorialmente agradable. Cuando se sumerge el producto en aceite caliente su temperatura superficial crece aceleradamente, produciendo que el agua sea eliminada en forma de vapor; consecuentemente, la superficie se deshidrata en forma similar a como sucede en el asado y horneado. La temperatura superficial alcanza la del aceite, mientras que la interna va aumentando paulatinamente hasta llegar a la temperatura de ebullición. En el caso de una rebanada de papa el contenido de humedad decrece del 80 al 2 % en menos de 5 [min], mientras que el contenido de aceite aumenta de 0 hasta el 35 %, aproximadamente (Ostrovski, 1980), (Sharma et al., 2003). La fritura representa uno de los métodos más antiguos de cocción de alimentos y uno de los mayores aportes de la ingeniería de alimentos, que la distingue de los procesos tradicionales de conservación por la presencia de altas temperaturas, deshidratación y absorción de aceite. La fritura se usa para impartir al alimento textura y sabores que le son inconfundibles (Aguilera, 2011), (Gupta, Warner y White, 2004).

El freimiento es un proceso unitario cuyo objetivo específico es la modificación de las características organolépticas de un alimento. Adicionalmente, se puede citar el efecto conservador debido a la reducción parcial o total (alimentos en rodajas finas) de la actividad de agua superficial y la destrucción térmica de enzimas y microorganismos. Por otra parte, el sofreimiento es la elaboración de vegetales u otros productos en grasas por un tiempo breve, hasta que aparezcan los síntomas primarios del freimiento (costra incipiente). Con el sofreimiento se pretende endurecer el producto para tratamien-

tos posteriores como el cocinado. Entre los beneficios de la fritura se pueden citar (Aguilera, 2011), (Coenders, 2001), (Ostrovski, 1980):

1. Aporta sabor al alimento.
2. Brinda excelente sensación de palatabilidad.
3. Desarrolla una textura exterior apetecible debida a una corteza crocante con un color dorado agradable, al mismo tiempo que mantiene la textura interna del alimento húmeda pero cocida.
4. Escalda alimentos por inactivación de enzimas, reducción del aire internuclear y destrucción de ciertos microorganismos.
5. Existen pocas pérdidas por rendimiento.

La diferencia entre la temperatura del aceite y del alimento determina la velocidad de transferencia de calor y el coeficiente de transferencia de calor superficial. La velocidad de penetración del calor hacia el interior del producto depende de la conductividad térmica del alimento. El tiempo necesario para someter un alimento a fritura está en función de (Aguilera, 1997):

1. Tipo de alimento a procesar y su grosor.
2. Temperatura del aceite.
3. Tipo de fritura: por inmersión o superficial.
4. Cambios que se pretenden conseguir.

La vida de estante de los alimentos que retienen altas cantidades de agua, tal es el caso de alimentos de uso en catering (pescado, pollo, donas y productos empanados) es relativamente corta. Esto se debe a la migración de agua y aceite que se produce durante el almacenamiento. Por otra parte, los alimentos sometidos a procesos de fritura riguroso (snacks) tienen mayor tiempo de vida debido a su bajo contenido de agua. Obviamente esto también va a depender de un correcto envasado y almacena-

do. Durante el proceso de fritura los productos sufren modificaciones químicas sustanciales: pierden parte de su humedad, sobre todo de la capa superficial. En esta capa, como consecuencia de la interacción con la grasa a alta temperatura, se forma la costra o corteza, la cual posee un gusto particularmente agradable, con consistencia crujiente y coloreada. La costra tiene una estructura porosa formada por conductos capilares de diámetro heterogéneo. El aceite caliente desplaza el agua y vapor de agua que rellenan los capilares de mayor tamaño. El vapor de agua que se elimina desde la capa superficial debe atravesar una fina película de aceite y sus velocidades de transferencia de masa y energía están determinados por el espesor de dicha capa (Aguilera, 2011).

La temperatura de fritura se establece más por cuestiones económicas y por el tipo de alimento a procesar. A altas temperaturas, por ejemplo 180 - 200 [°C], los tiempos de fritura son más cortos. Por otro lado, se desarrollan ácidos grasos libres que modifican el color, sabor, aroma, y la viscosidad genera la formación de espuma. Adicionalmente, el aceite se debe cambiar con mayor frecuencia, aumentando el costo del proceso. La fritura a altas temperaturas se aplica en aquellos alimentos con cortezas superficiales duras y blandas en el interior, en los cuales la formación rápida de corteza ayuda a retener una proporción de agua interna y dificulta la transmisión de calor hacia el alimento. Cuando se persigue una deshidratación, los productos se fríen a temperaturas bajas para que la evaporación interna avenga antes de la formación de la costra superficial. El freimiento de materia prima se emplea para elaborar diferentes conservas de vegetales o carnes, debido a que mejora considerablemente el gusto (Aguilera, 1997), (Aguilera, 2011), (Ostrovski, 1980).

7.1.1 Tipos de aceite para fritura

Inicialmente la grasa para fritura se escogía según la disponibilidad, por ejemplo, grasas animales en los países del norte y aceite de oliva en el Mediterráneo. Prácticamente todos los aceites y grasas pueden ser usados para fritura: grasas animales, aceites vegetales (con o sin hidrogenación), combinación de los anteriores y margarina. Los criterios que se utilizan para seleccionar el aceite o grasa de fritura son (Aguilera, 1997):

- No debe aportar sabores extraños al alimento.
- Brindar una excelente textura y superficie café-dorada al producto.
- Debe suministrar una larga vida de anaquel.
- Tener alta resistencia térmica: no humear en exceso durante el uso continuado.
- Ser resistente a la rancidez y a la polimerización (formación de gomas) que ensucia el equipo de fritura.

7.1.2 Efecto del calor sobre el aceite

A causa del calentamiento a temperaturas altas, la presencia de oxígeno y agua; el aceite se oxida causando el oscurecimiento y formación de sabores desagradables. Estos sabores se deben a compuestos como los epoxiácidos, cetoácidos, carbonilos volátiles e hidroxiácidos. Los productos de la degradación del aceite se pueden clasificar en (Aguilera, 1997):

1. *Productos de descomposición volátiles (PDV)*: con peso molecular menor al del aceite, se eliminan en los vapores expulsados del equipo. Se han identificado alrededor de 220 sustancias que constituyen el humo y brindan el olor característico de la fritura. Por otro lado, varias de estas sustancias también se encuentran presentes en el aceite y aportan al sabor del producto frito.

2. *Productos de descomposición no volátiles (PDNV)*: se forman a partir de la polimerización (formación de dímeros o polímeros) y oxidación del aceite, formando sedimentos en el fondo y las paredes del equipo de fritura. Es común observar un aumento en la viscosidad del aceite debido a la presencia de componentes cíclicos y polímeros de alto peso molecular generados por la polimerización en ausencia de oxígeno, la cual genera una mayor retención de aceite por parte del alimento. Algunos de estos compuestos poliméricos son nocivos para la salud, tal es el caso del benzopireno y acrilamida que son sustancias potencialmente cancerígenas.

Otros de estos compuestos son polares y brindan beneficios al proceso, por ejemplo, contribuyen al color dorado característico, aportan sabor al alimento y favorecen una retención óptima de grasa. Es importante indicar que la calidad del aceite se deteriora al ser reutilizado durante mucho tiempo, debiendo cuidarse en la fritura continua una renovación periódica, además de una filtración de los PNDV. En algunos casos se reemplaza el 50 % del aceite usado por aceite nuevo, pero no es una práctica recomendable debido a que la polimerización continúa y deteriora el aceite nuevo. La pérdida del valor nutritivo en el aceite se debe a la oxidación de vitaminas liposolubles, tales como tocoferoles, retinol y carotenoides, generando cambios en el sabor y color del aceite. No obstante, la oxidación de los tocoferoles es benéfica debido a que tiene un efecto antioxidante que protege el aceite. Esto es fundamental en el caso de aceites vegetales que poseen una proporción importante de grasas insaturadas que tienden a oxidarse fácilmente; tal es el caso del ácido linoleico (ácido graso esencial).

3. *Hidrólisis*: debido a la temperatura alta de fritura se produce un producto denominado acroleína, que es un compuesto de gran capacidad contaminante de la atmósfera, además de conferirle a la superficie del aceite un tono azulado.

7.1.3 Efecto de la fritura en el alimento

La fritura se caracteriza por ser una operación unitaria en la que un alimento (aceite) se usa como medio de transferencia de calor para otro alimento. Por consiguiente, la fritura incluye los efectos sobre el aceite (mencionados previamente) y sobre el alimento mismo. En el alimento en proceso el efecto es que adquiera una textura determinada en su capa exterior; así como cambios de color y aroma característicos. Estos atributos se generan por la reacción de Maillard y la absorción de compuestos del aceite. Los cambios en el alimento están determinados por (Aguilera, 1997), (Gupta et al., 2004):

- a. Tipo de aceite
- b. Tiempo de uso e historial térmico del aceite
- c. Temperatura y tiempo de fritura
- d. Tamaño y forma del alimento
- e. Tensión interfacial entre el alimento y el aceite
- f. Procesos previos como escaldado o secado
- g. Procesos de transformación posteriores a la fritura

La textura del producto frito se genera por cambios en las grasas, proteínas y polisacáridos. Usar temperaturas altas de fritura provoca una formación rápida de la costra, sellando la superficie del alimento, reduciendo la pérdida de nutrientes y cambios internos. Cuando la fritura busca deshidratar el producto para prolongar su tiempo de vida de anaquel, se provocan pérdidas sustanciales de nutrientes, especialmente vitaminas liposolubles (vitamina E) que se absorben en el aceite de fritura.

El principal factor que determina la aceptabilidad de un producto frito es la textura, la cual depende de la materia prima a utilizar; así también, como del procesamiento y periodo pos-fritura. Por ejemplo, una papa frita debe tener una costra crocante, no dura ni chiclosa y un centro húmedo, similar al de una patata cocida (Ostrovski, 1980).

7.1.4 Incorporación de aceite

Existen diversos factores que afectan a la incorporación de aceite en el producto frito. Se han identificado los siguientes (Aguilera, 1997):

1. *Composición y calidad del aceite:* además de los productos que se forman por la degradación térmica del aceite, existe la producción de surfactantes, que son los responsables de reducir la tensión superficial entre el aceite y el agua. Esto genera una absorción excesiva de aceite y mayor transferencia de calor, que se traduce en un mayor oscurecimiento de la superficie.

2. *Contenido de humedad del alimento:* casi todos los estudios indican que un contenido alto de humedad genera una mayor absorción de aceite. Un contenido bajo de humedad, especialmente en la capa externa, resulta en una baja evaporación de agua y por consiguiente en una menor porosidad interna donde vaya a ubicarse el aceite.

3. *Forma del producto, temperatura y duración de la fritura:* entre 155 y 200 [°C] se ha demostrado que la temperatura no influye en el tiempo de fritura. La absorción de grasa es mayor a medida que aumenta la relación superficie/masa. Además, la rugosidad también tiene un rol importante en la absorción, por lo que se busca generar superficies con una rugosidad establecida.

4. *Consideraciones pre y pos-fritura:* el escalado y el secado son dos tratamientos previos para controlar la absorción de aceite,

principalmente en patatas. Durante el escalado se gelatiniza el almidón externo que, seguido de un secado, forma una costra que minimiza la entrada de aceite.

5. *Uso de coadyuvantes:* la absorción de aceite y pérdida de agua puede ser controlada mediante el uso de recubrimientos y aditivos. Por ejemplo, en las milanesas de carne, el uso de batidos protectores funciona bien para evitar la pérdida de agua; mientras que la reducción de absorción de aceite se puede controlar con aditivos como proteína de soya, alginatos, celulosa, entre los más usados.

7.1.5 Fenómenos de transferencia durante la fritura

Durante la fritura por inmersión se observa una transferencia simultánea de calor y de masa (Figura 7.1). En la transmisión de calor se observa (Aguilera, 1997), (Aguilera, 2011), (Gupta et al., 2004):

1. Transferencia de calor por convección desde el aceite hacia la superficie del alimento.
2. Transferencia de calor por conducción desde la superficie hacia el interior del producto.
3. Enfriamiento en el frente de evaporación debido al agua que escapa del producto alimenticio.

La velocidad de transferencia de calor está definida por las propiedades térmicas y la viscosidad del aceite, al igual que las condiciones de agitación. La transferencia de masa se produce por pérdida de humedad del alimento y ganancia de aceite por parte del producto.

Transcurrida la fase inicial en la que se evapora el agua superficial, el frente de evaporación regresa al interior del alimento y comienza la formación de la corteza.

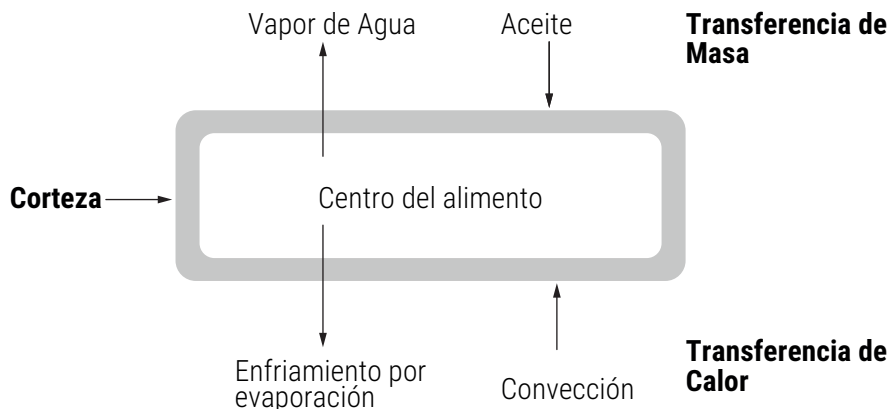


Figura 7.1 Procesos de transferencia de calor y masa durante la fritura

Adaptado de: Aguilera, J. M. (1997). *Temas en Tecnología de Alimentos*. México: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Instituto Politécnico Nacional.

Diferentes investigadores han realizado experimentalmente balances de calor y de masa, así como el modelado del proceso de fritura. En términos generales, los mecanismos de transferencia son complejos de estudiar y modelar, incluso modelos trabajados con una misma variedad de papa generan cambios en la reproducibilidad de los resultados (Aguilera, 1997).

7.1.6 Transferencia de masa y microestructura

Uno de los modos por los que se da la transferencia de masa es el de difusión, el cual corresponde al transporte por movimiento aleatorio de moléculas de una zona de mayor concentración a otra de menor concentración. Cuando el sólido es poroso y se ha omitido por completo el mecanismo de transporte, se denomina difusividad aparente (D_a) (Aguilera, 1997):

$$D_a = \frac{\varepsilon \times D}{\tau}$$

donde ε es la porosidad o fracción de huecos y τ un factor de corrección debido a que los poros no son rectos. Ambos parámetros se estiman con el estudio de la microestructura de los alimentos (Aguilera y Stanley, 1999). La mayoría de cambios se generan en la costra, donde se observa la deshidratación, encogimiento de células y gelatinización de los gránulos de almidón; así como formación de ampollas y acumulación de aceite. Las sustancias pécticas, presentes en la lámina media de la pared celular, se suavizan y debilitan por acción del calor. Por otro lado, el agua que abandona las células lo hace en forma de vapor sobrecalentado. Aunque las proteínas se encuentran en pequeña concentración, también sufren cambios, tales como desnaturalización y degradación. Indudablemente, la absorción de aceite también está determinada por la microestructura del producto. La microscopía de luz se ha utilizado ampliamente para estudiar los cambios a nivel de la microestructura en alimentos fritos (Aguilera y Stanley, 1999)

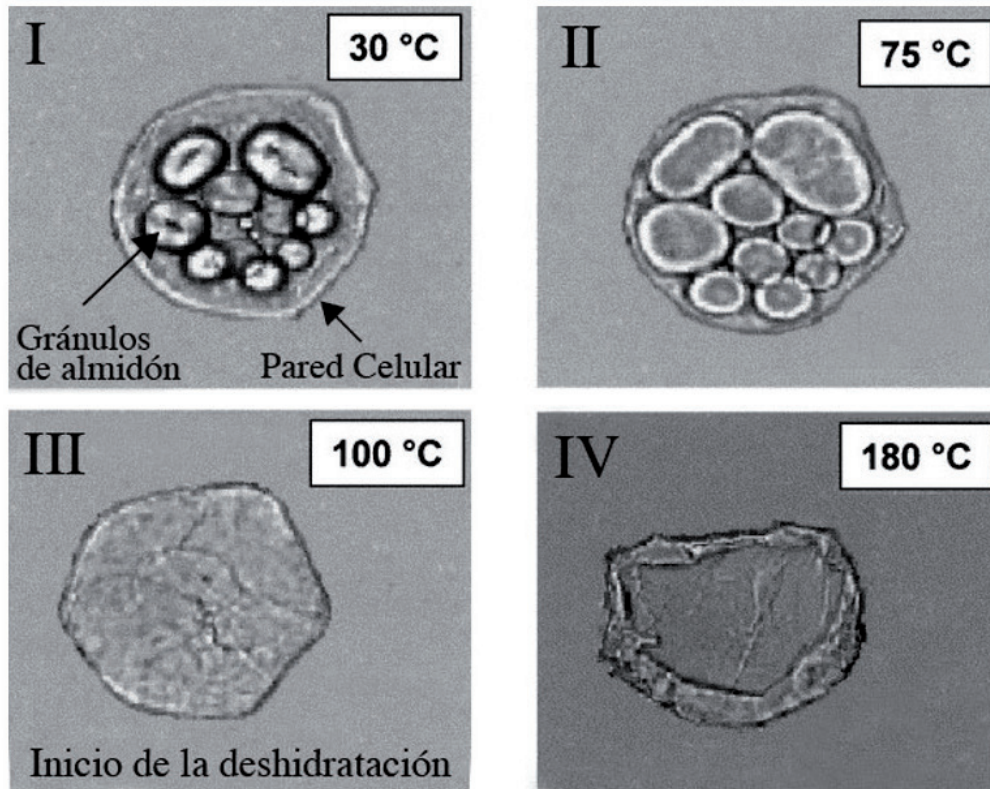


Figura 7.2 Cambios que presentan las células de patatas durante el calentamiento

Adaptado de: Aguilera, J. M. (2011). *Ingeniería Gastronómica*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

7.1.7 Métodos de fritura comercial

1. *Fritura superficial o por contacto:* en este tipo de fritura la transmisión de calor hacia el alimento se da por conducción desde la superficie de la sartén atravesando una capa fina de aceite, la cual varía según la irregularidad de la superficie del alimento. Es adecuado para productos en los que la relación superficie/volumen es favorable, por ejemplo, hamburguesas, huevos, rodajas de pescado y demás alimentos similares. El coeficiente de

transmisión de calor es elevado, del orden de 200 a 450 [W/m².K], pero no es homogéneo en toda la superficie. Se usa ampliamente en restaurantes y hoteles, donde la fritura se realiza de forma discontinua o por lotes (Aguilera, 1997), (Aguilera, 2011), (Ostrovski, 1980).

2. *Fritura por inmersión:* se caracteriza porque el alimento recibe un tratamiento homogéneo en toda su superficie, por lo que se puede aplicar a alimentos de superficie irregular. Se produce una transmisión de calor mixta, es

decir, por convección en la masa del aceite y por conducción en el interior del producto. En la primera etapa comienza la evaporación de agua en la superficie con un coeficiente de transmisión de calor de 250 - 300 [W/m².K]; mientras que en etapas posteriores, debido a

la turbulencia que produce el vapor de agua al eliminarse del alimento, llega a valores de 800 - 1000 [W/m².K]. La fritura por inmersión puede ser (Aguilera, 1997), (Aguilera, 2011), (Ostrovski, 1980):



Figura 7.3 Equipo discontinuo de fritura

Adaptado de: Michelis, A. (2008). *Elaboración de Conservas de Frutas y Hortalizas. Procedimientos para el Hogar y para Pequeños Emprendimientos Comerciales*. (Primera edición). Argentina: Editorial Hemisferio Sur S.A.

a. *Discontinua*: el aceite se calienta por medio de una resistencia ubicada dentro de un equipo con un recipiente de acero inoxidable, en el cual se introduce un cestillo con el producto a procesar (Figura 7.3). Es usada en restaurantes y hoteles para fritura por lotes (Ostrovski, 1980).

b. *Continua*: se utiliza ampliamente en la industria de snacks, donde el alimento ingresa a la zona de fritura por medio de una cinta

de acero inoxidable, cuya velocidad es variable según el tiempo requerido para obtener los cambios deseados en el alimento (Figura 7.4). Desde el punto de vista industrial, los equipos de fritura continuos son los más relevantes. Aquí, el alimento se mantiene dentro de un baño de aceite hasta que alcanza el grado de fritura deseado, el cual se mide cualitativamente por el cambio de color. Los freidores industriales están cons-

tituidos por una cinta transportadora sinfín de acero inoxidable que se sumerge en un recipiente con aceite termostatado, el cual se calienta eléctricamente o por gas. El alimento se introduce en el baño de aceite a una velocidad constante. Si el alimento flota debido a su densidad, una segunda cinta sinfín lo mantiene sumergido. Una vez frito el producto, se lo extrae y escurre. El aceite circula a través de intercambiadores de ca-

lor ubicados en el exterior del equipo dotados de un filtro para eliminar partículas de producto. El proceso de filtrado aumenta el tiempo de uso del aceite debido a que elimina partículas que se quemarían y afectarían al color y aroma del alimento. Existe también un dispositivo que añade aceite para mantener constante el volumen. Estos equipos funcionan con una capacidad de hasta 15 [t/h] (Aguilera, 1997).



Figura 7.4 Sistema continuo de fritura

Adaptado de: CESELSAN Machinery Industry and Trading Incorporated Company, <http://www.ceselsan.com/>.

Las instalaciones de fritura disponen de sistemas de recuperación de energía y aceite para minimizar los costos. La recuperación de energía se realiza por medio de intercambiadores de calor localizados en los conductos de evacuación de los gases de fritura, de esta manera se utiliza para el precalentamiento del aceite. Este proceso permite reducir la temperatura de los gases de 240 a 110 [°C] y alcanzar una eficiencia térmica del 85 %. El sistema de recupe-

ración permite captar el aceite arrastrado por el vapor para devolverlo al equipo de fritura.

Es evidente que los productos fritos pesan menos que el material original, pues se absorbe aceite y se evapora agua. En los productos fritos, el aceite logra hasta un 45 % del peso total (Ostrovski, 1980). Los cambios de masa durante el proceso de fritura se analizan de la siguiente forma:

$$W_i - W_f = M_{\text{aparente}} \quad (\text{merma aparente}) \quad (7.1)$$

$$W_f - W_a = W_r \quad (\text{peso real del producto}) \quad (7.2)$$

$$W_i - W_r = M_{\text{real}} \quad (\text{merma real}) \quad (7.3)$$

donde W_i es el peso inicial del material, W_f el peso del producto frito y W_a el peso de aceite.

Ejemplo 7.1

En un proceso de fritura de patatas en aceite, 298 [kg] de producto inicial se redujeron a 128 [kg] de producto frito con 34,7 % de aceite. ¿Cuáles son la merma aparente y la merma real?

$$W_i = 298 \text{ [kg]}$$

$$W_f = 128 \text{ [kg]}$$

$$\% \text{ aceite} = 34,7 \%$$

$$M_{\text{aparente}} = W_i - W_f$$

$$M_{\text{aparente}} = 170 \text{ [kg]}$$

$$W_a = \frac{W_f \times \% \text{ aceite}}{100}$$

$$W_a = 44,42 \text{ [kg]}$$

$$W_r = W_f - W_a$$

$$W_r = 83,58 \text{ [kg]}$$

$$M_{\text{real}} = W_i - W_r$$

$$M_{\text{real}} = 214,42 \text{ [kg]}$$

La merma real es la pérdida de humedad. Normalmente este último valor es mayor que el aparente.

7.2 Extracción de pulpas, jugos y derivados

7.2.1 Generalidades

Los jugos se obtienen a partir de las frutas y son productos constituidos por azúcares como la fructosa y ácidos como el málico, el tartárico y el cítrico; los cuales estimulan las funciones glandulares. También poseen sustancias minerales, vitaminas, enzimas y compuestos aromáticos y cromáticos. La producción de jugos de frutas se ha incrementado desde el enlatado de varios jugos en 1929, año en el cual el jugo de tomate fue el primero en ser enlatado en cantidades industriales. Actualmente, las pulpas, jugos y néctares se envasan en botellas de vidrio y envases tetra pak. Los jugos más importantes, desde el punto de vista industrial, son los de frutas cítricas: naranja, toronja y limón; así como los de uva, manzana, durazno, naranjilla, maracuyá, taxo, moras, albaricoques, zarzamoras, ciruelas, arándanos y piña. Algunas frutas, como el albaricoque, también se preparan como néctares o como purés diluidos (Michelis, 2008).

Por otra parte, también se producen grandes cantidades de concentrado y jarabe de naranja como bases para bebidas embotelladas carbonatadas (gaseosas) y no carbonatadas. En ambos casos, el jarabe o el concentrado es diluido con agua antes de ser embotellado y se usa benzoato de sodio como conservante (0,1 % como máximo). También se producen pulpa o concentrados de frutas congelados (Madrid et al., 1994), (Michelis, 2008). Durante la segunda guerra mundial se exportaban cantidades considerables de concentrado de naranja desde USA a Gran Bretaña. En la producción de los jugos tenemos que distinguir los siguientes pasos (Hui, 2006), (Michelis, 2008):

7.2.2 Preparación de la fruta y extracción del jugo

Es importante siempre lavar las frutas antes de triturarlas, prensarlas o exprimirlas, según sea el caso (Michelis, 2008). El método de extracción se denomina fluidificación y depende no solo de la estructura de la fruta, sino también de las características de los tejidos en los cuales se encuentra el jugo. En algunas frutas, como en las manzanas y las uvas, el jugo está repartido en toda la fruta y debe ser recuperado por molienda y presión. En otros casos, como en las frutas cítricas y en las granadas, el tejido que contiene el jugo se encuentra rodeado por una gruesa cáscara que tiene sustancias solubles con sabor y aroma desagradables, por lo que la extracción del jugo se realiza de manera que se impida el paso de dichas sustancias indeseables (Hui, 2006).

Los molinos se usan generalmente para las uvas y consisten en dos rodillos metálicos estriados que se encuentran fijos a una distancia de tal forma que se desmenucen las frutas, pero no las semillas. Están dotados de paletas giratorias dentro de un cilindro perforado bajo los rodillos que lanzan la fruta molida contra los orificios del cilindro, pasando el jugo y la pulpa fina; en tanto que las semillas y cáscaras salen por el extremo del cilindro. En otros tipos de molino, las uvas son trituradas por impacto contra paletas que giran rápidamente dentro del cilindro perforado. El jugo es bombeado hasta un tanque para el proceso de fermentación (Charley, 2012), (Ostrovski, 1980).

Las manzanas son preparadas para prensarse por tratamiento con una troceadora o un molino de martillos. La troceadora consiste en un cilindro de metal, con un diámetro de 8 a 12 [in], que gira y en cuya superficie están implantados cuchillos algo sobresalidos en todo el largo del

cilindro. Paralelo al cilindro está un conjunto de cuchillos curvos o una placa de metal estriada hacia el cual el cilindro avanza en su giro. La fruta al pasar a través del aparato es troceada y molida. La finura de los pedazos es regulada por ajuste de la distancia entre el cilindro y los cuchillos o el plato. Este aparato se usa también para uvas, bayas y peras (Hui, 2006). Actualmente el troceador de manzanas ha sido reemplazado por molinos de martillos, los que se encuentran ligados a un cilindro giratorio y muelen la fruta muy finamente. Los martillos operan dentro de un cilindro de metal perforado, vertical u horizontal. El molino de martillos brinda un mayor desmenuzamiento de la fruta y por consiguiente un mayor rendimiento de jugo que el troceador (Madrid et al., 1994).

Los trituradores o molinos se deberían construir con materiales que no reaccionen con el jugo. El hierro de las cuchillas o rodillos causan el oscurecimiento de algunos jugos, puesto que al disolverse pequeñas cantidades de este metal reaccionan con los taninos produciendo colores oscuros. El acero inoxidable (particularmente el AISI 304 y AISI 316) es extremadamente resistente a la acción ácida de los jugos de frutas y corrosiva de los agentes de limpieza, por lo que debería usarse para la construcción de los equipos de uso en la industria de alimentos (López-Gómez y Barbosa-Cánovas, 2005).

Las frutas cítricas requieren de equipos y procedimientos especiales. Las naranjas se prensan sin molienda o se pasan entre dos conjuntos de dedos metálicos, uno fijo y otro giratorio, que las exprimen (Figura 7.5) (Hui, 2006), (Michelis, 2008).

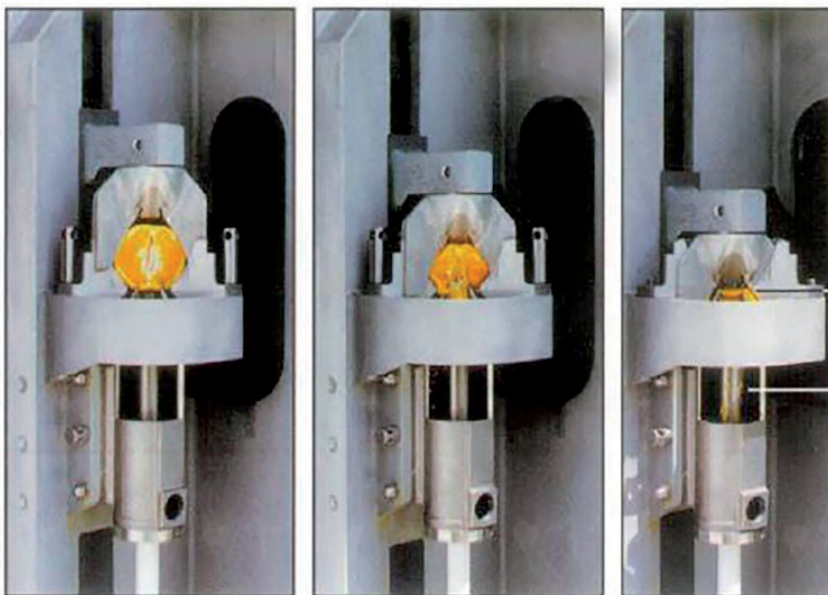


Figura 7.5 Esquema del extractor de manos metálicas para frutos cítricos
Adaptado de: Madrid, A., Cenzano, I. y Vicente, J. (1994). *Nuevo Manual de Industrias Alimentarias*. España: AMV Ediciones y Mundi-Prensa.

Posteriormente, se realiza una filtración que tiene la finalidad de eliminar semillas, cáscaras, fibras y otras impurezas. En algunos casos se clarifican, pero no siempre es aconsejable. Más adelante lo veremos con detalle. Cuando los jugos quedan con partículas en suspensión, como en el caso de la naranja o maracuyá, presentan un aspecto atractivo y agradable. Desafortunadamente, luego de envasados y transcurrido un tiempo de reposo producen sedimento, lo cual disminuye su calidad a la vista. En estos

casos es posible recurrir al tratamiento de estos productos en un molino coloidal (Figura 7.6) para disgregar las partículas en suspensión hasta un estado *cuasi* coloidal. De esta manera se mantiene estable el sistema disperso por mucho tiempo, sobre todo si se combina este proceso con el uso de ciertos aditivos como los alginatos (Madrid et al., 1994).



Figura 7.6 Molino coloidal horizontal de alta velocidad

Adaptado de: InduHerzig, <http://www.herzig.com.co/>

Según se estableció al referirnos a los requisitos de la materia prima, los jugos pueden tener diferentes calidades de acuerdo a la relación entre sólidos solubles y acidez (Ecuación 4.1). Si la relación de calidad está fuera de los valores que se prevén, es posible modificarla, sea por la adición de algunos de sus ingredientes o por mezclas de jugos de distintas relaciones, que sería la opción más recomendable (Michelis, 2008).

Ejemplo 7.2

Un jugo contiene 13 % de sólidos solubles. ¿Qué cantidad de jarabe glucosado con 40 % de azúcares debe agregársele para obtener 14,5 % de sólidos?

$$W_j = 100 \text{ [kg]} \text{ (como base de cálculo)}$$

$$B_j = 13 \%$$

$$B_g = 40 \%$$

$$B_f = 14,5 \%$$

$$(W_j + W_g) \times B_f = (W_j \times B_j) + (W_g \times B_g)$$

$$W_g = \frac{W_j \times (B_f - B_j)}{B_g - B_f}$$

$$W_g = 5,88 \text{ [kg]}$$

También se obtienen pulpas mediante trituración de la fruta, generalmente luego de un escaldado que ablanda la pulpa. Se utilizan molinos de tornillo sinfín o fluidificadores de paletas acoplados a placas tamizadoras que realizan un filtrado que separa cáscaras y pepas, al mismo

tiempo que homogeneiza el producto (Figura 7.7). Las pulpas así obtenidas son generalmente dedicadas a la producción de salsas, dulces, jaleas y mermeladas (Hui, 2006), (Madrid et al., 1994), (Ostrovski, 1980).



Figura 7.7 Fluidificador para la obtención de pulpas de frutas y hortalizas
Adaptado de: Corporación JARCON del Perú, <http://www.jarcondelperu.com/>.

7.2.3 Clarificación

Es un proceso que tiene el objetivo de eliminar las partículas suspendidas y que se producen normalmente en jugos con alto contenido de pulpa, por ejemplo, uvas, manzanas peras, o en productos terminados como vinos o cervezas (Charley, 2012), (Ostrovski, 1980):

1. *Clarificación natural:* Llamada también autoclarificación. Se realiza por acción de las sustancias químicas propias del producto, como en el caso de los vinos, donde los taninos arrastran las proteínas dispersadas y con ellos otras impurezas coloidales y sustancias mucilaginosas en suspensión. También se genera por la acción de enzimas sobre las pectinas, las que

precipitan en forma de copos. Sin embargo, este proceso es muy lento, lo que puede favorecer el inicio de otros procesos fermentativos, que para evitarlos se necesitan emplear bajas temperaturas y aditivos como el SO_2 (Ostrovski, 1980).

2. *Clarificación inducida*: se realiza usando materias clarificantes que se adicionan a los jugos para acelerar dicho proceso. Aquí se tiene al caolín, tierra de diatomeas, carbón activado, bentonitas. Posterior a este tipo de clarificación se realiza una filtración, pero sus resultados no son siempre tan favorables (Hui, 2006). Otro método inducido es la clarificación por centrifugación (Madrid et al., 1994). Por cualquiera de estos dos procedimientos se consigue clarificar un jugo previo al envasado. También se ha pensado en una clarificación enzimática capaz de transformar rápidamente la pectina en compuestos solubles que hacen posible la conservación de la transparencia de los jugos, sin alterar sus características organolépticas ni fisicoquímicas. Actualmente, se encuentran disponibles en el mercado diversos preparados enzimáticos (Madrid et al., 1994).

7.2.4 Filtración

Es una operación que casi siempre constituye el complemento a la extracción de jugos, se lleve a cabo o no la clarificación. Este proceso consiste en la separación de los sólidos en suspensión mediante el uso de capas, láminas o placas porosas. Es decir, un fluido que contiene un producto sólido pasa por un material denominado medio filtrante, que posee poros de dimensiones inferiores a las del sólido a separar. El fluido atraviesa el medio filtrante dejando en su superficie un lecho de partículas denominado torta de filtración (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Toledo, 2007).

7.2.4.1. Proceso

La filtración es un proceso de aplicación específica para remover partículas sólidas que se encuentran contenidas en un líquido por medio de diversas técnicas. El proceso de filtración está relacionado directamente a dos factores (Earle, 1988), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965):

1. *El fluido a ser filtrado*: normalmente el fluido se describe en términos de la viscosidad, la cual está inversamente relacionada con la tasa de filtración; es decir, la tasa de filtración decrece a medida que la viscosidad del fluido aumenta. Este parámetro juega un rol muy importante para el proceso (más adelante veremos las características reológicas de los fluidos). Por otro lado, durante la filtración el líquido debe vencer tres resistencias: a) la resistencia ejercida por los conductos que lo transportan hacia el medio de filtración, b) la resistencia ejercida por el medio de filtración y c) la resistencia al paso ejercida por la torta de filtración. Esto genera que exista una caída de presión en el medio de filtración.

2. *El medio de filtración*: el filtro se describe en términos del área y de la resistencia específica, que dependerán del tipo de fluido a ser filtrado. La función principal del filtro es retener sólidos mayores a una cierta dimensión (Figura 7.8), los cuales paulatinamente formarán la torta de filtración. Dentro de las principales características de un filtro podemos citar:

- Alta capacidad de retención de sólidos y mínima resistencia al flujo para dar un líquido filtrado más claro. Asimismo, no debe obstruirse durante el proceso.
- Evitar que se transfieran compuestos químicos constituyentes del mismo al alimento. Esto es importante cuando se trabaja con jugos de alta acidez.

- c. Tener alta resistencia al desgaste mecánico generado por la presión de filtración.
- d. Facilitar el retiro completo de la torta de filtración.

- e. Tener un costo aceptable de tal forma que no encarezca el proceso y por ende al producto.

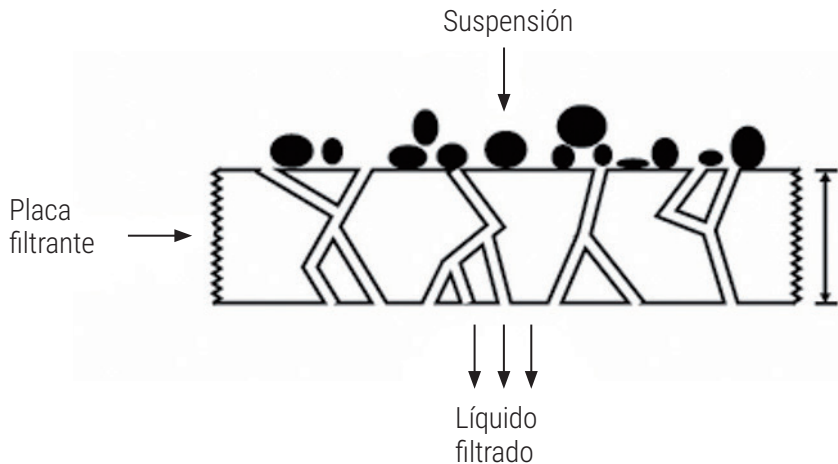


Figura 7.8 Esquema del proceso de filtración

Adaptado de: Loncin, M. y Carballo Caabeiro, J. (1965). Técnica de la Ingeniería Alimentaria (Primera edición) España: Editorial Dossat.

Las ecuaciones que gobiernan el proceso de remoción de partículas y sus aplicaciones prácticas se basan en la ecuación de Poiseuille (Earle, 1988), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979):

$$v = \frac{D^2 \times \Delta P}{32 \times \mu \times \Delta l} \quad (7.4)$$

donde v es la velocidad media del fluido, D es el diámetro medio de los poros, ΔP es la diferencia de presiones a la entrada y salida, μ es la viscosidad del líquido, Δl es el espesor de la capa filtrante l y $\Delta P/\Delta l$ es la pérdida de carga por unidad de longitud.

Por otro lado, el gasto de un poro de diámetro D viene dado por:

$$\frac{\pi \times D^2}{4} \times v$$

Si el material filtrante posee n poros por unidad de superficie, el gasto instantáneo total para la superficie A es:

$$\frac{dV}{d\theta} = A \times n \times \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{D^2}{32 \times \mu} \times \frac{(P_1 - P_2)}{l}$$

$$\frac{dV}{d\theta} = k \times A \times n \times \frac{D^4 \times (P_1 - P_2)}{\mu \times l}$$

En la ecuación anterior se puede proponer el factor R_s , característico del material filtrante y que representa su resistencia específica:

$$R_s = \frac{1}{k \times n \times D^4} \quad (7.5)$$

Con lo que la ecuación de gasto resulta:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A \times (P_1 - P_2)}{\mu \times R_s \times l} \quad (7.6)$$

La Ecuación 7.6 se aplica tanto para gases como para líquidos. En este último caso, a medida que se realiza la filtración aumenta el factor de resistencia R_s . Por lo tanto, se lo puede descomponerse en dos fracciones: R_{s1} , que mide la resistencia del filtro inicial de grosor l_1 y R_{s2} , debido a la torta de filtración de espesor l_2 , que va aumentando según transcurre el proceso (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979).

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A \times (P_1 - P_2)}{\mu \times (R_{s1} \times l_1 + R_{s2} \times l_2)} \quad (7.7)$$

Cuando los líquidos tienen poco precipitado, el término $R_{s2} \times l_2$ no tiene incidencia. Aunque los términos R_{s1} , A y μ son constantes, ocurre a veces que la presión varía durante la filtración, debido principalmente a que el recipiente que contiene el líquido que alimenta al filtro se vacía en forma progresiva y su nivel va de h_1 a h_2 . En este caso, si la superficie de ese recipiente es A_b , se tiene:

$$dV = A_b \times dh$$

$$P_1 - P_2 = h \times \delta \times g$$

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A_b \times dh}{d\theta} = \frac{A \times h \times \delta \times g}{\mu \times R_{s1} \times l_1}$$

Por integración se obtiene:

$$\ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) = \frac{A \times \delta \times g \times \theta}{A_b \times \mu \times R_{s1} \times l_1} \quad (7.8)$$

Cuando los líquidos tienen gran cantidad de materia en suspensión la resistencia de la sustancia depositada es importante e incluso puede llegar a determinar la velocidad de filtración. Como l_2 se incrementa con el tiempo, su valor viene dado por (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979):

$$l_2 = \frac{V \times \delta \times X \times v_a}{A}$$

donde V es el volumen de fluido, δ es la densidad del fluido, X es la fracción de precipitado en peso, v_a es el volumen específico aparente del precipitado y A es la superficie filtrante. Si R_{s1} es despreciable frente a R_{s2} , resulta:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A^2 \times (P_1 - P_2)}{\mu \times R_{s2} \times V \times \delta \times X \times v_a}$$

$$V \times dV = \frac{A^2 \times (P_1 - P_2) \times d\theta}{\mu \times R_{s2} \times \delta \times X \times v_a}$$

que por integración se obtiene:

$$V^2 = \frac{2 \times A^2 \times (P_1 - P_2) \times \theta}{\mu \times R_{s_2} \times \delta \times X \times v_a}$$

Ejemplo 7.3

En la lámina filtrante de un filtro semicontinuo se deposita sedimento, por lo que se debe limpiar el filtro cuando el espesor del sedimento llegue a ser de 2 [cm]. ¿Cada qué tiempo hay que realizar la limpieza? Bajo estas condiciones, ¿cuál será el valor de R_{s_2} ?

Densidad (δ) = 1,12 [g/cm³] = 1120 [kg/m³]

suspens. (X %) = 2,5 % = 0,025

(v_a) = 0,87 [cm³/g] = 0,00087 [m³/kg]

(A) = 1,8 [m²]

$V/\theta^{0,5} = 15000$ [cm³·s^{-0,5}] = 0,015 [m³·s^{-0,5}]

$l_2 = 2$ [cm] = 0,02 [m]

$\mu = 0,01$ [P]

$\Delta P = 1$ [at] = 101300 [Pa]

Calculamos primero el volumen de fluido que ha pasado al sedimentarse materiales en un espesor de 2 [cm]:

$$V = \frac{A \times l_2}{\delta \times X \times v_a}$$

$$V = 1,478 \text{ [m}^3\text{]}$$

de tal forma que el tiempo será:

$$\theta^{0,5} = \frac{V}{0,015 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}^{-0,5}}}$$

$$\theta = 9706,6 \text{ [s]} = 2,7 \text{ [h]}$$

y la resistencia:

$$R_{s_2} = \frac{2 \times A^2 \times (P_1 - P_2)}{\mu \times \frac{V^2}{\theta} \times \delta \times X \times v_a}$$

$$R_{s_2} = 1,2 \times 10^{14} \text{ [m}^{-2}\text{]}$$

Cuando no se conocen los valores de la viscosidad del líquido y la resistencia, se recurren a pruebas piloto para determinar el volumen de líquido filtrado luego de un determinado periodo de tiempo a presión constante. De hecho, Earle (1983) demostró que esta información puede ser usada para realizar un gráfico donde se obtiene una recta de calibración entre la relación V/A y tV/A , para posteriormente determinar la constante de filtración. Para ello, se necesita recolectar datos de la prueba piloto a diferentes presiones y/o diferentes áreas de filtración (Kar et al., 2017).

7.2.4.2 Medios de filtración

La filtración puede realizarse con filtros alimentados por gravedad o por presión. Previo a esta operación, la práctica común es agregar coadyuvantes de filtración para evitar la acción de ciertos precipitados muy finos que tienden a obstruir los filtros. Se aconseja el uso de agen-

tes coadyuvantes como el caolín, sobre todo si el precipitado no tiene valor posterior (Earle, 1988), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965).

7.2.4.3 Aparatos de filtración

A continuación se indican las bases del funcionamiento de los principales tipos de filtros (Earle, 1988), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965).

Los filtros prensa (Figura 7.9) permiten obtener superficies grandes de filtración en pequeños

espacios. Estos filtros están formados por placas rígidas y por marcos que tienen la misma forma exterior, intercalándose lienzo o telas filtrantes. El líquido atraviesa una pared lisa cribada y la tela, y es recolectado en un solo canal exterior; quedando retenido el depósito dentro del marco. Se usan para filtrar productos que tienen gran cantidad de suspensión.



Figura 7.9 Filtro prensa para ensayos de laboratorio

Adaptado de: Enoveneta. Tecnología Enologíche, <http://www.enoveneta.it/index.php/>.

En los filtros continuos de tambor a vacío, la solución a filtrar pasa a través de una malla cilíndrica donde actúa el vacío. La torta de filtración se la puede retirar sin necesidad de parar el

proceso. Se utilizan para la filtración productos granulados. Un ejemplo es el filtro de tambor tipo Oliver (*Rotary Vacuum Drum Filter*, Figura 7.10).



Figura 7.10 Filtro continuo de tambor a vacío

Adaptado de: Enoveneta. Tecnología Enológica, <http://www.enoveneta.it/index.php/>.

Por otra parte, los filtros de cuba están formados por un recipiente con un falso fondo cribado y que constituye la placa filtrante, por debajo del cual se colecta el líquido filtrado. Se usan para mostos de cervecería. Una variante es el filtro que contiene capas sucesivas de grava y arena, que es usado principalmente para la potabilización de agua. Se puede encontrar una gran variedad de filtros en el mercado y su selección dependerá de la industria en la que se utilizará.

Finalmente, los jugos son sometidos, en el menor tiempo posible desde la extracción, a una estabilización por calor llamada pasteurización. Este tema lo trataremos en el Capítulo 9. No solo los microorganismos o las enzimas son responsables del deterioro de los jugos, sino también los procesos químicos oxidativos, por ejemplo, en frutas como la naranjilla,

la extracción del jugo se realiza en sistemas con desaireación simultánea (Michelis, 2008).

7.3 Mezclado

Mezclar es dispersar dos o más componentes entre sí; es decir, homogenizar un conjunto de cuerpos, tanto si son sólidos, líquidos, líquidos con sólidos y excepcionalmente gases. Probablemente sea la operación unitaria utilizada con mayor frecuencia en los procesos de producción de alimentos. Se encuentra influenciado principalmente por los caracteres reológicos, la granulometría y la heterogeneidad (Aguilera, 1997), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965).

7.3.1. Caracteres reológicos

Un fluido es considerado como newtoniano si sigue la ley de Newton, es decir, si la gradiente de velocidad de desplazamiento entre superficies paralelas es directamente proporcional a la fuerza tangencial aplicada (Ibarz y Ribas, 2005), (Steffe, 1996):

$$\tau = \frac{F}{A} = \eta \times \frac{dv}{dl} \quad (7.11)$$

donde η es la viscosidad dinámica y τ la fuerza tangencial.

Normalmente los líquidos siguen esta ley, pero pueden presentarse desviaciones a este comportamiento, las cuales son más o menos significativas en el caso de polímeros (con peso molecular elevado) en dispersiones coloidales o en estado de fusión; así como en las suspensiones de sólidos en líquidos, especialmente cuando el sólido se hincha y se asocia el líquido. Ambos casos revisten cierta importancia en la práctica y su estudio permite pasar de una forma más o menos continua de las propiedades de los líquidos a las de los sólidos. Así, la reología es el estudio de la relación entre la fuerza tangencial y el gradiente de velocidad.

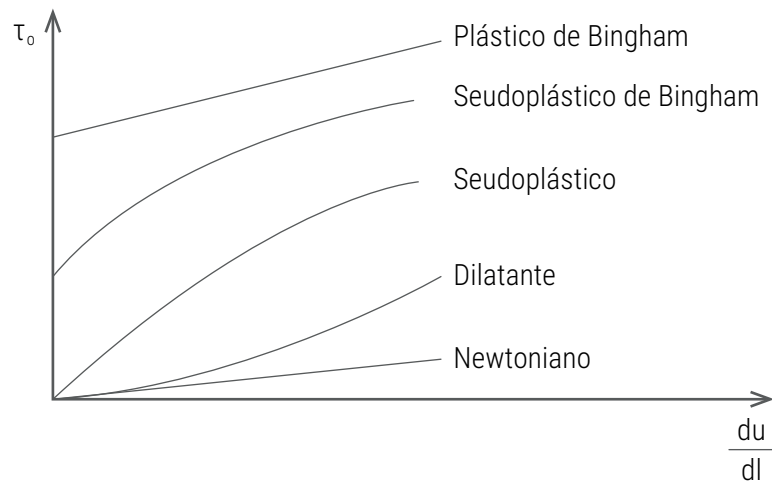


Figura 7.11 Reograma independiente del tiempo para diversos tipos de fluidos
Adaptado de: Ibarz, A. y Ribas, A. I. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. España: Ediciones Mundi-Prensa.
 Alvarado, J. de D. (2018). *CÁLCULO de procesos en leche y productos lácteos*. España: Editorial Acirbia, S.A.

En la Figura 7.11 están trazadas las distintas funciones de variación del esfuerzo de corte (τ_o) con respecto a la gradiente de velocidad (du/dl). De esta manera se puede identificar un fluido newtoniano cuando presenta el comportamiento de una recta con ordenada al origen. Los fluidos no newtonianos, como los pseudoplásticos y dilatantes, corresponden a la siguiente la función (Steffe, 1996):

$$\tau^n = \eta' \times \frac{dv}{dl} \quad (7.12)$$

donde η' es un valor aproximadamente constante llamado 'pseudoviscosidad'. Dependiendo de las características del fluido, n puede ser mayor o menor a 1. Si el fluido se hace cada vez más blando conforme aumenta la fuerza tangencial, tenemos el caso de un fluido 'pseudoplástico' y n será mayor a 1. Por el contrario, si se vuelve más duro a medida que aumenta la fuerza tangencial, entonces es un fluido 'dilatante' y n será menor a 1.

Un caso diferente, pero muy importante en la práctica, es el de los fluidos conocidos como plásticos de Bingham, en los que la fuerza tangencial está dada por (Steffe, 1996):

$$\tau = \tau_o + \eta' \times \frac{du}{dl} \quad (7.13)$$

En estos fluidos se presentará desplazamiento de las capas solo si se supera el valor de fuerza tangencial τ_o , lo cual se puede asimilar a una carga de rotura, por debajo de la cual el cuerpo es absolutamente rígido. Cuando se supera el valor de τ_o , el valor de gradiente de velocidad se incrementa linealmente con la fuerza tangen-

cial. Las pastas obtenidas por mezclas entre sólidos y líquidos, así como las dispersiones de macromoléculas (como jaleas o mermeladas) son típicamente plásticos de Bingham. Como se sabe del curso de transferencia de fluidos, durante la circulación de fluidos por un conducto cilíndrico hay una proporcionalidad entre la fuerza tangencial y el radio. Si se aplica una diferencia creciente de presiones para obligar al plástico de Bingham a circular por la tubería, la fuerza tangencial alcanzará el valor τ_o , primero en las proximidades de la pared y posteriormente, cuando τ es mayor a aquel valor, el fluido se desplazará, tal como sucede cuando sacamos una salsa de ají muy viscosa comprimiendo las paredes del envase plástico (Ibarz y Ribas, 2005).

También debemos mencionar los plásticos de Herschel-Buckley o mezclas tixotrópicas, en los que el gradiente de velocidad es proporcional a $(\tau - \tau_o)^n$ y cuya pseudoviscosidad es función del tiempo de aplicación de la fuerza tangencial (Steffe, 1996).

7.3.2. Granulometría

Un cuerpo sólido triturado se define granulométricamente por las dimensiones de las partículas y eventualmente por su forma. Es posible determinar las dimensiones por medición directa, por macro o microscopía, por sedimentación fraccionada en un fluido y por tamizado. De estos métodos, los de observación directa son los únicos capaces de brindar información definida sobre la forma. En general, un cuerpo triturado no es homogéneo en su granulometría o su forma, pero estos son factores importantes para reducir el tiempo de mezclado, por lo que se debe hacer hincapié en la importancia de un correcto diseño de los fluidificadores, tamices y refinadores para que permitan obtener pulpas

muy homogéneas, fáciles de trabajar y para poder mezclarlas con otros materiales. Este mismo principio se aplica para obtener harinas finas y de fácil mezclado (Earle, 1988), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Sharma et al., 2003).

7.3.3 Grado de heterogeneidad de una mezcla

En muchos casos, el grado de homogeneidad o heterogeneidad es apreciado de una forma subjetiva. En un proceso de mezcla ideal, se empieza con los componentes puros en recipientes separados. Por lo tanto, al tomar una muestra pequeña en algún punto de él, estará compuesta casi exclusivamente por el componente puro. A medida que tiene lugar la mezcla, las muestras que se tomen contendrán fracciones crecientes de los otros componentes, en proporciones muy próximas a las globales de los mismos en todo el recipiente. Por consiguiente, la mezcla completa se puede definir como aquella condición en la que todas las muestras contienen las mismas proporciones que la mezcla global. En realidad, esta situación solo podría obtenerse por una agrupación ordenada de los componentes, lo cual es muy improbable en cualquier caso práctico de mezclado. Otro enfoque consiste en considerar una mezcla perfecta, es decir, aquella en la que los componentes de las muestras están en proporción y cuya probabilidad estadística de ocurrencia es la misma que la de una dispersión estadísticamente aleatoria de sus componentes originales (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965).

A fin de llegar a una relación entre las condiciones de mezcla y el resultado obtenido, hay que valorar su heterogeneidad. Para ello, a menudo se realiza el análisis de muestras tomadas al azar de una misma masa. En cada una de estas muestras, prolijamente homogenizadas, se determinan las proporciones de cada uno de los constituyentes de la dispersión, ya sea por análisis químico o por separación mecánica basada en la diferencia de dimensiones, densidad u otra propiedad de tales elementos constitutivos (Earle, 1988). De cualquier forma, la manera más adecuada de expresar el grado de heterogeneidad es mediante la estimación de la variancia (σ^2) o la desviación estándar (σ) (Balzarini et al., 2012), (Saltos, 1986):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (7.14)$$

donde $\bar{x}$, es la media aritmética de los resultados obtenidos y x es el valor encontrado por análisis en cada una de la n muestras.

Ejemplo 7.4

Se mezclan 35 [kg] de sal con 65 [kg] de azúcar. Luego de un cierto tiempo de funcionamiento del mezclador se toman 10 muestras, cada una de 100 [g] y se analiza la cantidad de sal que contenían, obteniéndose los siguientes resultados en gramos: 31,2; 37,8; 30,6; 39,1; 33,5; 32,7; 34,9; 41,0; 35,2 y 32,4. Calcular la desviación estándar.

Peso de NaCl	Fracción χ	$(\chi - \bar{\chi})$	$(\chi - \bar{\chi})^2$
31,2	0,312	-0,0364	$1,325 \times 10^{-3}$
37,8	0,378	0,0296	$8,762 \times 10^{-3}$
30,6	0,306	-0,0424	$1,798 \times 10^{-3}$
39,1	0,391	0,0426	$1,815 \times 10^{-3}$
33,5	0,335	-0,0134	$1,796 \times 10^{-4}$
32,7	0,327	-0,0214	$4,580 \times 10^{-4}$
34,9	0,349	0,0006	$3,600 \times 10^{-7}$
41,0	0,410	0,0616	$3,795 \times 10^{-3}$
35,2	0,352	0,0036	$1,296 \times 10^{-2}$
32,4	0,324	-0,0244	$5,954 \times 10^{-4}$

$\bar{\chi} = 0,3484$ y aplicando la Ecuación 7.14 se obtiene $\sigma = 0,03473$, lo cual es bastante bueno para un proceso práctico de mezcla.

Evidentemente, es importante tomar precauciones para que las muestras se tomen al azar y manejarlas siempre de la misma manera, pues la toma de muestras influye sobre el valor de la desviación estándar. La heterogeneidad de una mezcla puede apreciarse en algunos casos por la coloración de ciertos constituyentes sobre placas apropiadas. La heterogeneidad también puede ser estimada por otros procedimientos tales como la determinación de la superficie de contacto entre fases, las dimensiones de los gránulos en las dispersiones o de los glóbulos en las emulsiones (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965).

7.3.4 Mezclas de líquidos y pastas

Las muestras de líquidos se pueden tomar y analizar en forma análoga a las de sólidos. Muchos de los datos que se disponen se centran en la potencia necesaria para operar estas mezcladoras, de acuerdo a los distintos tipos de agitadores de aletas o hélices que disponga el equipo. Las medidas están en términos de relaciones de números adimensionales que engloban a todos los factores que influyen en el consumo de energía, llegándose a una ecuación como la siguiente (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979):

$$[Ne] = K [Re]^n \times [Fr]^m \quad (7.15)$$

El número de Reynolds es:

$$[Re] = \left[\frac{D^2 \times N \times \delta}{\eta} \right] \quad (7.16)$$

El número de Newton es:

$$[Ne] = \left[\frac{P}{D^5 \times N^3 \times \delta} \right] \quad (7.17)$$

El número de Froude es:

$$[Fr] = \left[\frac{D \times N^2}{g} \right] \quad (7.18)$$

donde D es el diámetro de la hélice, N la frecuencia de rotación, δ la densidad del líquido, η la viscosidad del líquido y P la potencia consumida por la hélice.

Se incluye una corrección en el número de Reynolds al utilizar el producto $D \times N$ para la velocidad, que difiere en el factor π de la velocidad real del extremo de la hélice. Por otro lado, el número de Froude relaciona los efectos de las fuerzas gravitatorias y solo es importante cuando la hélice afecta la superficie del líquido. Cuando $Re < 300$, se ha encontrado que el número de Froude tiene poco o ningún efecto, por lo tanto (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979):

$$[Ne] = K \times [Re]^n \quad (7.19)$$

Los valores de K y n se los puede obtener experimentalmente. Según Rushton, para una hélice con ranuras iguales al diámetro, $K=1,23$ y $n = -1$ (en el sistema internacional). Si la paleta tiene forma rectangular vertical o inclinada y la altura del líquido se encuentra por encima del nivel del agitador, se pueden en principio despreciar los coeficientes de forma; además, cuando las olas en la superficie tienen poca importancia, el número de Froude es despreciable (como ya se dijo), por lo que se tiene la siguiente relación (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979):

$$f(Ne, Re) = 0$$

Cuando se desee obtener la potencia necesaria para el funcionamiento del equipo, el número de Ne puede expresarse de la siguiente forma:

$$Ne = \frac{P}{\omega^3 \times h \times D^4 \times \delta} \quad (7.20)$$

donde ω es la velocidad angular y h es la altura de la hélice

El número de Reynolds es convencionalmente en este caso:

$$Re = \frac{\omega \times D^2}{\nu} \quad (7.21)$$

donde ν es la viscosidad dinámica expresada como $\nu = \eta/\delta$. Si se precisa usar el número de Froude:

$$Fr = \frac{\omega^2 \times D}{g} \quad (7.22)$$

En el caso de contenedores cilíndricos de paredes lisas y con la condición de que el nivel del líquido rebase la parte superior del agitador, la relación entre Ne y Re se representa en forma gráfica (Figura 7.12).

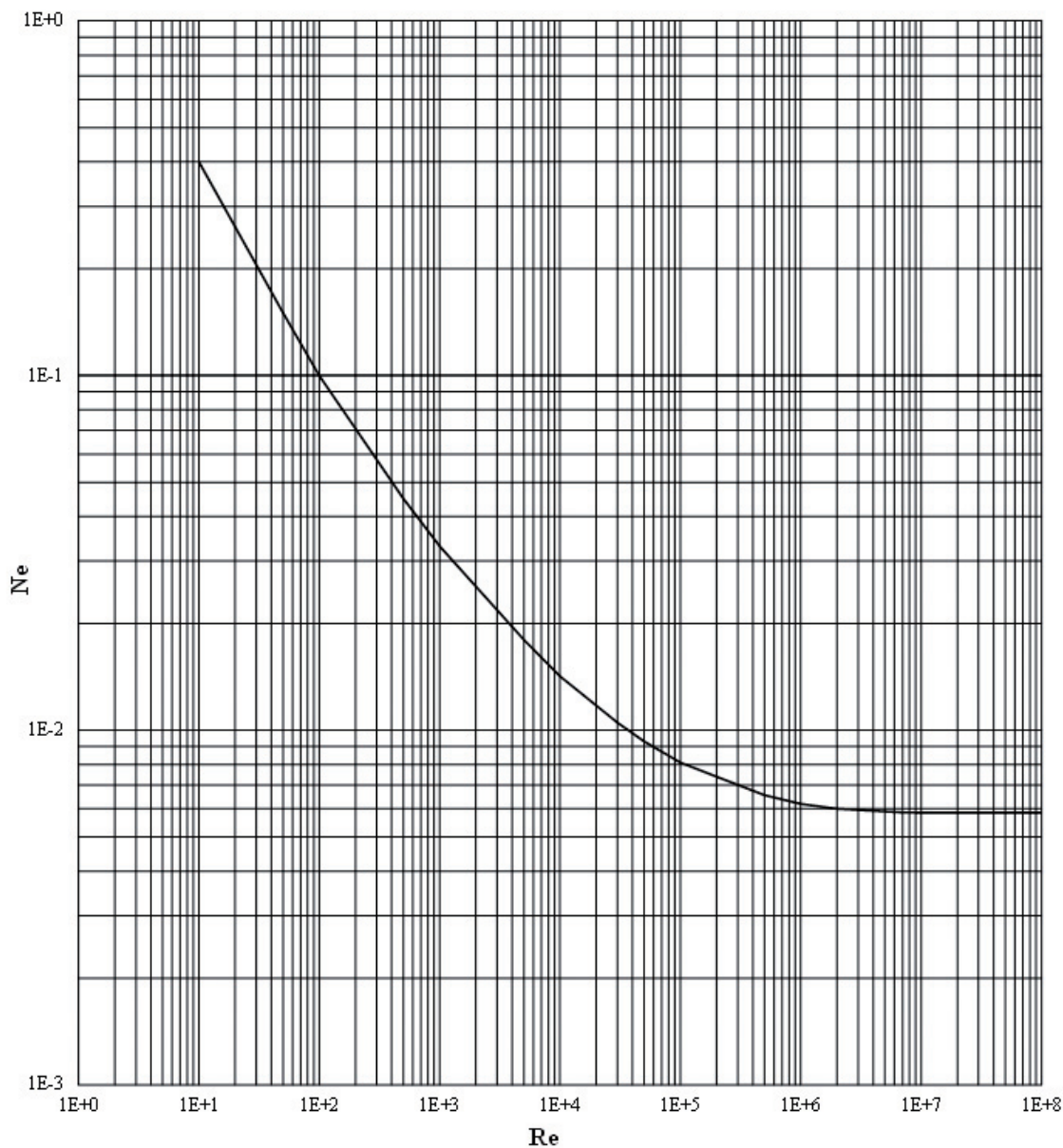


Figura 7.12 Función del número de Reynolds y el número de Newton
Adaptado de: Loncin, M. y Carballo Caabeiro, J. (1965). Técnica de la Ingeniería Alimentaria (Primera edición) España: Editorial Dossat.

Ejemplo 7.5

Si un mezclador está provisto de un agitador con paleta de 2 [m] de diámetro y 0,5 [m] de altura que gira a 25 [rpm] en agua a temperatura ambiente, ¿qué potencia consumirá?

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times 25}{60} = 2,62 [\text{rad} / \text{s}]$$

$$\delta = 1000 [\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$\nu = 1 \times 10^{-6} [\text{m}^2/\text{s}]$$

$$\text{Re} = \frac{2,62 \times 4}{10^{-6}} = 1,05 \times 10^7$$

De la Figura 7.12 se obtiene que $\text{Ne} = 6,0 \times 10^{-3}$. Así pues:

$$6,0 \times 10^{-3} = \frac{P}{2,62^3 \times 0,5 \times 2^2 \times 1000}$$

$$P = 860 [\text{W}]$$

La potencia puede incluso duplicarse por la presencia de aletas radiales.

En el caso de las mezcladoras de bombeo usadas para líquidos y pastas, la potencia requerida se expresa por:

$$P = p \times \frac{dV}{d\theta} \quad (7.23)$$

donde p es la contrapresión a la que funciona la bomba, V es el volumen de líquido y θ es el tiempo.

Ejemplo 7.6

Calcular la potencia necesaria de una bomba en una mezcladora de bombeo si el gasto $dV/d\theta = 2,78 \times 10^{-3} [\text{m}^3/\text{s}]$ y la diferencia de presión entre la aspiración y la impulsión de la bomba es de $9,81 \times 10^5 [\text{Pa}]$.

$$P = p \times \frac{dV}{d\theta} = 2,78 \times 10^{-3} \times 9,81 \times 10^5 = 2727 [\text{W}]$$

7.3.5 Velocidad de mezcla

Las mezclas en la práctica se efectúan entre sólidos, entre líquidos, y entre líquidos y sólidos. En ciertos casos se incorporan gases, como en las espumas o bebidas carbonatadas. Para obtener una mezcla se pueden seguir algunas técnicas (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965):

- los ingredientes se introducen en un equipo giratorio que posee ciertos dispositivos que facilitan la mezcla
- los ingredientes se introducen en un equipo dotado de paletas giratorias que los remueven dispersándolos
- los ingredientes se bombean a través de orificios de mayor a menor tamaño, con lo cual se disgregan y se dispersan

Las mezclas pueden hacerse en forma continua o discontinua. En el primer caso, los ingredientes se introducen de forma continua y separada al recipiente de mezcla, o habiendo pasado previamente por una premezcla. La velocidad a la que este proceso se lleva a cabo depende tanto del grado de heterogeneidad (factor de potencialidad) como de la naturaleza de los materiales y del equipo empleado. La ecuación que más se adapta a este proceso es (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979):

$$\frac{d\sigma^2}{d\theta} = -k \times \sigma^2 \quad (7.24)$$

donde σ^2 es la varianza de la distribución de un ingrediente en el tiempo θ en una muestra de masa constante. Integrando se obtiene:

$$\ln \left(\frac{\sigma_0^2}{\sigma^2} \right) = k \times \theta \quad (7.25)$$

donde σ_0^2 es la varianza inicial y k es el coeficiente o constante de facilidad.

Esta fórmula ha sido comprobada experimentalmente en mezclas de sustancias pulverulentas, de tal suerte que al graficar el logaritmo contra el tiempo se obtiene una recta entre amplios límites.

El valor de σ_0^2 puede obtenerse considerando una mezcla de dos componentes, consistentes en una fracción a del componente A y una fracción b del componente B, de tal forma que $a + b = 1$. Antes de mezclar, cualquier mezcla que se tome consistirá en un componente puro A o en un componente puro B, pero si se toma un gran número de muestras es de esperar que una proporción a de las muestras contenga el componente puro A; es decir, que la desviación de la composición media será $1 - a$. Con un tratamiento matemático simple, es posible demostrar que (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979):

$$\sigma_0^2 = a \times (1 - a) \quad (7.26)$$

El coeficiente o constante de facilidad k no varía para un mismo equipo, lo que permite, a partir de la Ecuación 7.26, calcular la influencia de un incremento o disminución del tiempo de mezcla

sobre el resultado final, sin entrar en un detalle pormenorizado de la funcionalidad entre los parámetros del aparato y los productos a mezclar (cuando mucho la velocidad de rotación de las paletas o de giro del mezclador). De todos modos, hay factores difícilmente previsibles, tales como la aglomeración de partículas de pequeño tamaño (grumos) o la presencia de agentes tensioactivos en las pastas que pueden modificar radicalmente el coeficiente de facilidad (Earle, 1988).

Ejemplo 7.7

En una mezcladora intermitente, en la que se mezclan almidón y legumbres secas pulverizadas para preparar una mezcla a utilizar como sopa, las proporciones iniciales de legumbre y almidón eran de 60:40. Si la varianza de las composiciones de las muestras medidas en términos de las composiciones fraccionales de almidón resultó ser de 0,0823 después de 5 [min] de mezcla, ¿por cuánto tiempo se debe continuar la mezcla para lograr una varianza de composición de muestra máxima especificada de 0,02?

Como la composición inicial contenía 40 % de almidón, $a = 0,4$ y por tanto:

$$\sigma_0^2 = a \times (1 - a) = 0,4 \times (1 - 0,4) = 0,24$$

con lo que:

$$k = \frac{1}{\theta} \times \ln \frac{\sigma_0^2}{\sigma^2} = \frac{1}{5 \text{ min}} \times \ln \frac{0,24}{0,083} = 0,214 \text{ min}^{-1}$$

el tiempo total será:

$$\theta = \frac{1}{k} \times \ln \frac{\sigma_0^2}{\sigma^2} = \frac{1}{0,214 \text{ min}^{-1}} \times \ln \frac{0,24}{0,02} = 11,6 \text{ min}$$

es decir, la mezcla deberá continuar por 6,6 [min] más.

7.3.6 Equipos para mezclado

1. *Mezcladores rotatorios*: uno de los más comunes es el cilindro de giro horizontal, a veces con paredes incompletas radiales o inclinadas que incrementan la eficiencia de la mezcla. Se emplean para mezclar sólidos, líquidos y sobre todo pastas. En otros casos, el recipiente no es cilíndrico sino cúbico o troncocónico (como el de cono doble usado para sólidos) y dotado de movimientos de rotación y traslación. Normalmente estos equipos son discontinuos, pero en los continuos la alimentación se introduce como premezcla. Las velocidades de rotación o de traslación pasan por un óptimo que hay que determinarlo experimentalmente. La relación entre la velocidad de giro y el diámetro (para igual rendimiento)

es el número de Froude. En todo caso, esta velocidad varía en forma proporcional a $D^{-1/2}$. La energía necesaria para el funcionamiento de estos equipos se calcula mediante una estimación simple del trabajo requerido para vencer la fuerza gravitatoria (Earle, 1988), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965).

2. *Mezcladores con agitadores*: los equipos provistos de uno o más agitadores internos son muy usados por su versatilidad. Entre estos agitadores están: 1) el rotativo coaxial para mezclar líquidos o pastas, 2) el de hélice para productos fluidos que evita la formación de flujos regulares (no deseables en un mezclado), montando la hélice asimétricamente o con la adición de contrapalas, 3) el de tornillo (Figura 7.13), ya sea de tornillo central o de giro orbital (Earle, 1988), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965).

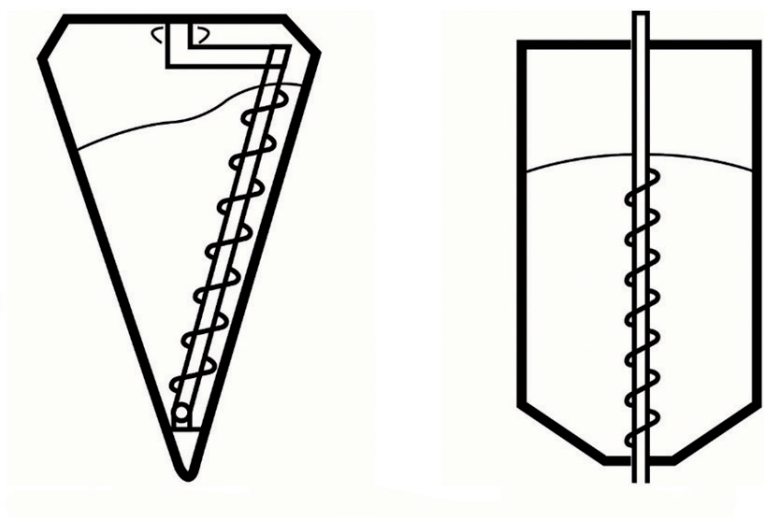


Figura 7.13 Mezcladores de tornillo vertical

Adaptado de: Durán, F. (2007). *Manual del Ingeniero de Alimentos*. Colombia: Grupo Latino Editores.

Sobre el proceso de mezcla influyen los fenómenos de inercia, de viscosidad y de gravedad; así como la forma del recipiente y del agitador. Su funcionamiento se estudia por los métodos de semejanza previamente indicados, especialmente para determinar la energía necesaria. Los números adimensionales de semejanza empleados son los números de Ne, Re y Fr. De igual forma, se deberían considerar relaciones tales como las que existen entre la altura de la paleta y su diámetro, así como el diámetro de la paleta y del recipiente. Cuando se realizan mezclas con productos no newtonianos en mezcladores provistos de agitadores, siempre es posible obtener relaciones sencillas entre Ne y Re modificado. En el caso de mezcla de pastas consistentes casi sólidas en mezcladoras de brazos no rotativos (como la de rosca inclinada), solo es posible calcular la energía necesaria por estimación de las fuerzas que hay que emplear para desplazar el aparato móvil y el camino recorrido por el mismo (Earle, 1988), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965).

Los equipos con agitadores permiten el trabajo continuo, sea que se les alimente con una premezcla o con los ingredientes separados. El mezclador de cilindros coaxiales se usa para margarina, grasas preparadas o nata helada. En este equipo el exterior es fijo y el interior, que lleva las paletas, es giratorio. El producto a mezclar está entre los dos cilindros que pueden calentarse o enfriarse de forma controlada. La mezcla de productos tixotrópicos plantea un problema, puesto que la energía que hay que gastar al principio es superior a la que se necesita para la marcha normal; por lo que se emplea un aparato de velocidad variable, con un arranque a menor velocidad que la que existe durante el período de mezcla (Durán, 2007). Para mezclar productos que se adhieran o formen grumos se emplean piezas móviles aco-

pladas al recipiente, dispuestas de forma que una raspe el producto que ha sido arrastrado por la otra (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965).

3. *Mezcladoras por bombeo*: se usan únicamente para mezclas líquidas o pastas fluidas y constan de un tanque con bomba de circulación. El producto recogido al fondo se envía a la parte superior donde atraviesa una serie de orificios o choca contra deflectores que facilitan la mezcla. En la industria de lácteos estas mezcladoras poseen bombas de varios pistones que envían la leche entre 2×10^7 a 3×10^7 [Pa] a la entrada de los homogeneizadores. Algunas mezcladoras en lugar de la bomba poseen solo un rotor de poco diámetro que gira a velocidad elevada, siendo apropiadas para la mezcla de productos muy fluidos, donde las corrientes creadas bastan para producir una mezcla rápida (Earle, 1988), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Madrid et al., 1994).

7.4 Concentración

La concentración se define como la cantidad de una sustancia, generalmente sólidos, contenidos en una unidad de volumen. Este parámetro se expresa en unidades de masa/masa (gramos de sustancia por cada 100 [g] de alimento) o masa/volumen (gramos de sólidos disueltos en 100 [mL] de solución) (Singh y Heldman, 2014). Por consiguiente, la concentración es una de las operaciones unitarias más usadas en la industria de conservas, debido a que busca incrementar los sólidos solubles en soluciones para obtener concentrados de jugos, salsas, dulces, mermeladas, zumos de uva, leche condensada y soluciones acuosas alimenticias denominadas líquidos de gobierno (Charley, 2012), (Potter y Hotchkiss, 1999), (Sharma et al., 2003). Los métodos de concentración pueden ser considerados como:

1. simple: por evaporación del agua
2. adición de sólidos: azúcar para los edulcorados y sal para los salados
3. mixto: adición de sólidos y evaporación de agua

La evaporación puede realizarse en forma discontinua, semicontinua o continua; en sistemas abiertos o al vacío (Toledo, 2007). Por ejemplo, para evaporar jugos como el de naranja, se usan evaporadores de película descendente (al vacío),

mientras que para salsas y productos de alta viscosidad se deben usar los de camisa de vapor o marmita (Figura 7.14) (Durán, 2007). Los jugos de frutas, como el de naranja, se concentran hasta 60 °Brix, luego se reintegran los aromas y se envasan a 40 °Brix. Para obtener la pasta de tomate industrial, el jugo se pasa de una concentración inicial de 7 °Brix al doble, triple y hasta el quíntuple de su concentración inicial (aproximadamente 35 °Brix) (Madrid et al., 1994).



Figura 7.14 Equipo de concentración discontinuo (marmita)

Adaptado de: Casearmeccanica Vicentina s.r.l., <http://www.casearmeccanica.it>.

Otros productos concentrados son los dulces, mermeladas y jaleas. Un dulce es un producto obtenido por evaporación de pulpa de fruta edulcorada hasta un valor final de 50 a 60 °Brix, por lo que es muy viscoso y fluye lentamente.

Análogamente, la mermelada es un producto obtenido por evaporación de pulpa de fruta edulcorada, pero con adición de pectina y ácido en determinado porcentaje, para obtener una concentración de 67,5 % de sólidos, pH de 3,1

a 3,5 y 1 % de pectina (si es de 150 grados). Los valores previamente indicados no son estrictos, pero dan una buena información para obtener un producto con las características deseadas, es decir, que no fluya y tenga un 'corte de mantequilla'. Por otra parte, una jalea es un producto formado por jugo clarificado o filtrado o por líquidos obtenidos por ebullición a reflujo de cáscaras de frutas, adicionando azúcares, ácido y pectina como en el caso anterior (Mi-

chelis, 2008). La proporción de jugo de fruta, azúcar, agua y pectina es variable y depende en gran medida del tipo de fruta y del grado de madurez. Alvarado ha propuesto en la literatura una ecuación que usa el balance de materia para relacionar la densidad de jugos de frutas y jarabes en función del contenido de sólidos solubles y de la temperatura (Alvarado, 1996), (Alvarado, 2013).

Producto	Pulpa		Jugo	
	Humedad %	Calor específico [J/kg.K]	Humedad %	Calor específico [J/kg.K]
Aguacate	74,0	3,410	98,4	4,110
Babaco	2,5	3,880	92,7	4,050
Banano	74,8	3,350	79,5	3,570
Banano seda	75,6	3,410	80,1	3,580
Banano orito	68,1	2,980	74,7	3,370
Banano limeño	73,8	3,350	78,8	3,510
Banano maqueño	70,0	2,960	76,1	3,170
Capulí	77,5	3,330	79,2	3,560
Claudia	88,9	3,680	91,0	3,860
Durazno	87,5	3,450	89,7	3,470
Fresa	92,0	3,820	93,1	4,030

Frutilla	90,4	3,700	91,0	3,810
Guayaba	86,6	3,570	97,2	3,970
Lima	89,9	3,660	91,7	3,780
Limón	90,3	3,690	91,6	3,790
Mandarina	87,0	3,670	88,1	3,760
Mango	76,5	3,350	81,0	3,680
Manzana	87,6	3,660	88,0	3,750
Maracuyá	82,1	3,690	84,5	3,810
Melón	93,9	3,760	94,2	3,640
Mora	86,5	3,620	89,4	3,710
Naranja	83,1	3,530	86,2	3,640
Naranjilla	92,4	3,690	93,1	3,900
Papaya	89,7	3,380	90,6	3,470
Pera	81,2	3,530	83,3	3,600
Piña	84,7	3,480	88,9	3,510
Sandía	92,0	4,010	92,5	4,110
Tomate de árbol	87,4	3,570	96,0	3,980
Toronja	88,7	3,700	90,4	3,850
Uva	81,2	3,510	84,4	3,790

Tabla 7.1 Humedad y calor específico de pulpa y jugo de frutas

Adaptado de: Alvarado, J. de D. (2001). Calor Específico. En Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos, Alvarado, J. de D.; Aguilera, J. M. (Editores). España: Editorial Acribia, S.A. pp. 189-212.

La concentración tiene además la ventaja de permitir la conservación de los alimentos por cierto tiempo y de reducir notablemente el volumen y peso, de lo que se deriva una notable economía de embalaje, transporte y almacenaje de los productos concentrados. Finalmente, debe indicarse que la concentración no se consigue solo por conversión del agua en vapor (efecto ebulloscópico), también se la obtiene por congelación (efecto crioscópico). Los dos procesos tienen sus ventajas y sus inconvenientes. En el primer proceso, por el calentamiento

prolongado se observa una disminución de los compuestos orgánicos volátiles (aroma) y del color. Estos problemas se superan usando una concentración por congelación; sin embargo, el procedimiento presenta dificultades para la separación del hielo que se retiene en la superficie del producto concentrado (Potter y Hotchkiss, 1999). Un parámetro importante para los balances de concentración es el calor específico del alimento, el mismo que se encuentra normalmente tabulado en tablas (Tabla 7.1).



Figura 7.15 Sistema de concentración de triple efecto a vacío
Adaptado de: John Bean Technologies, <http://www.jbtfoodtech.com/>.

Ejemplo 7.8

En un concentrador abierto de doble camisa se quiere preparar una jalea, para lo cual se vierten en él 200 [kg] de jugo azucarado con 55 % de sólidos solubles. Se pretende llegar a 67 % de sólidos. ¿Cuánta agua se debe evaporar? El calentamiento se hace con vapor saturado: $t_v = 130$ [°C] y calor latente 519 [cal/g], saliendo el

condensado a la temperatura de condensación. ¿Cuánto vapor de agua es necesario? ¿Cuál es el calor total que se precisa? Considere una pérdida térmica del 35 %.

$$W_a = 200 \text{ [kg]}$$

$$B_a = 55 \%$$

$$B_p = 67 \%$$

pérdidas = 35 %

$$t_v = 130 [^{\circ}\text{C}] = 403 [\text{K}]$$

$$\lambda_v = 519 [\text{cal/g}] = 2172,534 [\text{kJ/kg}]$$

$$\lambda_a = 536 [\text{cal/g}] = 2243,696 [\text{kJ/kg}]$$

$$t_i = 20 [^{\circ}\text{C}] = 293 [\text{K}]$$

$$t_e = 104 [^{\circ}\text{C}] = 377 [\text{K}]$$

$$C_p = 0,92 [\text{cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}] = 3,85 [\text{kJ/kg} \cdot \text{K}]$$

masa de sólidos iniciales en el jugo:

$$W_{\text{sol}} = \frac{W_a \times B_a}{100}$$

$$W_{\text{sol}} = 110 [\text{kg}]$$

masa del producto final:

$$W_p = \frac{W_{\text{sol}} \times 100}{B_p}$$

$$W_p = 164,18 [\text{kg}]$$

masa de agua evaporada:

$$W_{\text{agua}} = W_a - W_p$$

$$W_{\text{agua}} = 35,82 [\text{kg}]$$

calor para calentamiento de la alimentación:

$$q_1 = W_a \times C_p \times (t_i - t_e)$$

$$q_1 = 64698,82 [\text{kJ}]$$

calor para evaporación del agua:

$$q_2 = W_{\text{agua}} \times \lambda_a$$

$$q_2 = 80371,2 [\text{kJ}]$$

calor total más las pérdidas:

$$q_t = (q_1 + q_2) \times \left(\frac{100}{65} \right)$$

$$q_t = 223184,65 [\text{kJ}]$$

cálculo del vapor de agua:

$$W_{\text{vapor}} = \frac{q_t}{\lambda_v}$$

$$W_{\text{vapor}} = 102,73 [\text{kg}]$$

7.5 Deshidratación

La deshidratación se refiere a la remoción de humedad del alimento, en el cual intervienen varios mecanismos de transferencia de calor y materia de manera simultánea. Ayuda a reducir el peso y el volumen del producto permitiendo reducir los costos de manipulación, embalaje y transporte. Constituye uno de los procesos de conservación más antiguos y utilizados, cuya finalidad es reducir la actividad microbiana y el deterioro del alimento (Alvarado, 2012), (Alvarado, 2013). El producto se concentra más por deshidratación que por cualquier otro medio. El almacenamiento es más fácil y barato, pues en un mismo espacio se pueden almacenar pesos 10 veces mayores con relación a la materia prima (Charley, 2012), (Potter y Hotchkiss, 1999), (Toledo, 2007).

Todos los granos y cereales son preservados por secado en un proceso natural tan eficiente que difícilmente requeriría intervención adicional del hombre. Así, el maíz, arroz o trigo, después de cosechados, si no estuvieren con el grado de humedad adecuado, una simple exposición al sol será suficiente para adquirir el grado deseado. Durante muchos años fue usado el

secado solar para deshidratar frutas, hortalizas, carne y pescado (Ostrovski, 1980), (Potter y Hotchkiss, 1999). La reducción de humedad hasta valores entre el 5 y 15 % genera un aumento de la presión osmótica y por ende impide o reduce el desarrollo de microorganismos. Las bacterias se desarrollan en humedad relativa superior a 0,90

($HR > 0,90$); las levaduras lo hacen en $HR > 0,88$; los hongos en $HR > 0,80$. Por lo que si la humedad relativa de equilibrio (HRE) es de 0,75, prácticamente se impide cualquier desarrollo microbiano. En la Tabla 7.2 se muestran valores de HRE para diversas soluciones salinas.

Sal	10 [°C]	20 [°C]	30 [°C]
Bromuro de litio	7,14	6,61	6,16
Cloruro de litio	11,29	11,31	11,28
Yoduro de litio	20,61	18,56	16,57
Acetato de potasio	23,38	23,11	21,61
Cloruro de magnesio	33,47	33,07	32,44
Carbonato de potasio	43,14	43,16	43,17
Nitrato de magnesio	57,36	55,87	51,40
Bromuro de sodio	62,15	59,14	56,03
Yoduro de potasio	72,11	69,90	67,89
Cloruro de sodio	75,67	75,47	75,09
Cloruro de amonio	80,55	69,90	67,89
Sulfato de amonio	82,06	81,34	80,63
Cloruro de potasio	86,77	85,11	83,62
Nitrato de potasio	95,96	94,62	92,31
Sulfato de potasio	98,18	97,59	97,00

Tabla 7.2 Humedad relativa de equilibrio (HRE) de soluciones salinas saturadas a diferentes temperaturas

Adaptado de: Martínez Navarrete, N., Andrés Grau, A. M., Chiralt Boix, A. y Fito Maupoey, P. (1998).

Termodinámica y Cinética de Sistemas Alimento Entorno. España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

Chiralt, A., Martínez, N., Carmen, C. M. d. y González, C. (1998). *Experimentos de Fisicoquímica de Alimentos*. España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia

7.5.1 Actividad de agua

Los tejidos de las frutas y hortalizas contienen agua en diversas concentraciones y distribuida de manera compleja, debido a que existen regiones donde la concentración alta de lípidos imposibilita su presencia; asimismo, en otros lugares el agua se encuentra interactuando con los solutos. La importancia del agua radica en su capacidad de transportar ciertas sustancias y de disolver otras para mantenerlas como suspensión coloidal (del Pilar Buera, Welte-Chanes, Lillford et al., 2006). Así, la vida útil de los alimentos no depende del contenido de agua sino más bien de la actividad de agua, la cual es simplemente su HRE a una temperatura T (Ecuación 5.3) (Alvarado, 2012), (Toledo, 2007):

$$a_w = HRE = \left(\frac{P_m}{P^0} \right)_T$$

La a_w depende de factores tales como el pH, composición de alimento, presión osmótica, presencia de conservantes y tratamientos físicos. La relación entre el contenido de agua y la actividad de agua de un alimento está dada por las isotermas de sorción (Figura 7.16) (del Pilar Buera et al., 2006), (Fontana Jr, 2007).

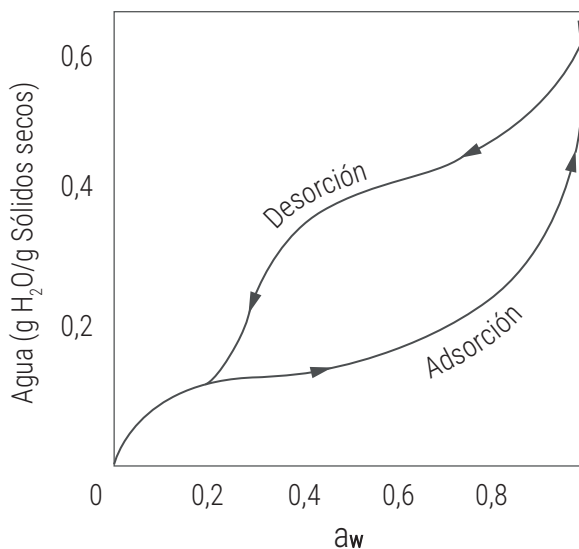


Figura 7.16 Isotermas de sorción para alimentos con bajo contenido de agua
Adaptado de: Badui, S. (2013). *Química de los Alimentos*. (Quinta edición). México: Pearson Educación de México, S.A de CV.

A valores menores al 50 % de contenido de agua (valores bajos), sutiles variaciones del mismo generan fuertes cambios en la actividad de agua. En el caso de productos con poca cantidad de agua, la isoterma de sorción se presenta con el eje de las ordenadas expandido con respecto a la gráfica para alimentos con alta cantidad de agua. La isoterma de desorción perteneciente a un proceso de desecación está ubicada algo más arriba que la de adsorción. Esto es importante en la conservación de alimentos susceptibles de captar humedad.

Existe una amplia gama de métodos para medir la a_w entre los cuales podemos citar (del Pilar Buera et al., 2006), (Fontana Jr, 2007), (Martínez Navarrete, Andrés Grau, Chiralt Boix et al., 1998):

1. Métodos isopiésticos (a presión constante)
2. Métodos de intervalos
3. Método de interpolación gráfica
4. Método dinámico de interpolación
5. Métodos basados en las propiedades coligativas del agua
6. Métodos psicrométricos
7. Métodos higrométricos
8. Grupo de medidores de la a_w con diversas características
9. Métodos gravimétricos
10. Métodos manométricos/higrométricos

Por otro lado, existe en la literatura una amplia variedad de ecuaciones teóricas o experimentales para el cálculo de la actividad de agua y el ajuste del comportamiento de las isotermas (Toledo, 2007), (Vélez Ruíz, 2001).

7.5.1.1 Relación entre la actividad de agua y la humedad relativa de equilibrio

A presión ambiental o presiones bajas, el vapor de agua se comporta prácticamente como un gas ideal. Asimismo, los valores de fugacidad son iguales a los de la presión de vapor, resultando que (Martínez Navarrete et al., 1998):

$$a_w = \frac{HRE}{100}$$

7.5.1.2 Relación entre la actividad de agua y la concentración de solutos

En los alimentos se encuentra una mezcla de sólidos insolubles y soluciones, existiendo una correspondencia con la teoría de las soluciones como base termodinámica para establecer la a_w . De hecho, la ley de Raoult se utiliza como el modelo más simple para la predicción de la actividad de agua en soluciones ideales, es decir, las que contienen solutos de bajo peso molecular. Para el cálculo de la a_w se consideran los moles existentes en el agua (n_w) y en el soluto (n_s) (Martínez Navarrete et al., 1998):

7.5.1.3 Relación entre la actividad de agua y el contenido de agua

La relación entre la composición de un alimento y su a_w es bastante compleja. Para conocer esta relación lo habitual es determinar los valores de la a_w del alimento a diferentes concentraciones de agua, los que se representan gráficamente con el fin de obtener la isoterma de adsorción de agua. Los factores que reducen la presión de vapor de agua en los alimentos y, por tanto, la a_w , son la adsorción de las

moléculas de agua a las superficies, las fuerzas capilares y las sustancias disueltas que se han mencionado anteriormente. Normalmente se acepta que el primer ascenso de la isoterma representa la adsorción del agua formando una monocapa de moléculas en los lugares de adsorción del producto sólido. Al añadir más agua, la isoterma crece rápidamente a medida que los solutos se disuelven y llenan los espacios capilares. Estos fenómenos se solapan y algunos pueden no estar representados en la isoterma. Puede no verse la monocapa en los alimentos que contienen poco material estructural si las fuerzas capilares tienen poca influencia (Martínez Navarrete et al., 1998).

7.5.1.4 Relación entre la actividad de agua y la calidad microbiológica y química

Los alimentos deshidratados se preservan debido a que su actividad de agua se reduce a un nivel en el cual la actividad microbiana se inhibe y las reacciones de deterioro químico y bioquímico se reducen. No obstante, la autooxidación de lípidos podría tener lugar incluso a una $a_w < 0,20$. La reducción de la a_w por debajo de 0,70 previene el deterioro microbiano.

La tasa máxima de las reacciones de Maillard o pardeamiento no enzimático, se logra a valores de a_w intermedia, es decir del orden de 0,40 a 0,65. Se debe evitar las reacciones de Maillard especialmente cuando los productos se almacenan en ambientes con alta temperatura, por lo que la a_w debe estar en el rango de 0,20 a 0,40. Por otro lado, el escaldado se puede usar para inactivar las enzimas y los antioxidantes para evitar la oxidación lipídica.

En 1970, Labuza presentó una revisión de la influencia de la actividad de agua sobre las reacciones químicas en los alimentos, proponiendo al mismo tiempo el mapa de estabilidad relativa de los alimentos en función de la actividad de agua (Figura 7.17) (Labuza, Tannenbaum y Karel, 1970), (Labuza y Altunakar, 2007). El descenso de la actividad de agua frena inicialmente el crecimiento de los microorganismos (curvas V, VI y VII), siguiendo las reacciones catalizadas por enzimas (curva IV) y las reacciones de pardeamiento enzimático (curva III). La oxidación de los lípidos (curva I) constituye una excepción, dado que en el alimento seco su velocidad se incrementa nuevamente (Fontana Jr, 2007).

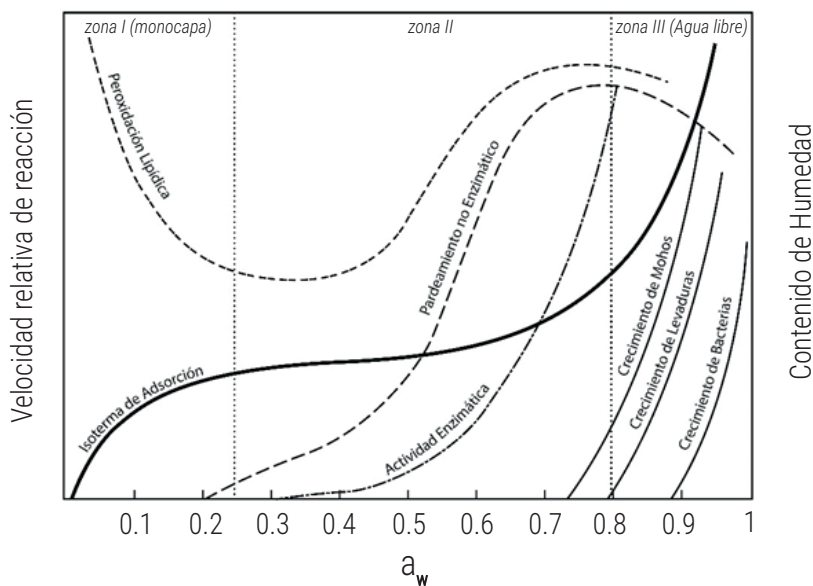


Figura 7.17 Mapa de Labuza: estabilidad relativa de los alimentos vs. actividad de agua

Adaptado de: Labuza, T. P. y Altunakar, B. (2007). Water Activity Prediction and Moisture Sorption Isotherms. En *Water Activity in Foods. Fundamentals and Applications*. Barbosa-Cánovas, G. V.; Fontana Jr, A. J.; Schmidt, S. J.; y Labuza T. P. (Editors). USA: John Wiley & Sons. pp. 109-154

7.5.1.5 Actividad de agua y conservación de alimentos

Desde el punto de vista microbiológico, la estabilidad de los productos se logra reduciendo el contenido de agua o mediante el agregado de solutos hasta alcanzar un valor bajo de a_w . La actividad enzimática persistiría, sobre todo las de aquellas enzimas que producen pardeamiento de los vegetales, por lo que el proceso debe ir precedido del blanqueamiento, como ya se explicó. Un grupo importante constituyen los alimentos de humedad intermedia, dado que se encuentran protegidos de las alteraciones generadas por los microorganismos. Estos productos presentan una a_w que está entre 0,60 y 0,80. En este grupo encontramos a productos como salame, frutas desecadas, miel de abeja,

mermelada, entre otros (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 2000). Una forma de conseguir reducir la actividad de agua y, por tanto, prolongar la conservación de un producto es la adición de sustancias humectantes, las que poseen una alta capacidad de retener agua. Tienen gran importancia el azúcar y la sal común, además de productos como el glicerol y sorbitol. El azúcar se agrega a las frutas, generalmente en solución, previo al secado. La sal se usa principalmente en productos de carne y en fabricación de quesos y se puede añadir directamente en seco o en solución (salmuera). No obstante, se debe considerar que estos humectantes tienen sabor propio y que no serán de agrado para ciertos consumidores y más aún a altas concentraciones (Potter y Hotchkiss, 1999).

7.5.2 Preparación de los frutos

Una vez que los frutos han sido seleccionados (por madurez y dimensión) y se han excluido aquellos alterados, se hace necesario pelarlos, quitarles el hueso o corazón y cortarlos en trozos (peras, duraznos y albaricoques). En el caso de las manzanas y peras que se oxidan con facilidad y alteran su color, después de cortarlas deben sumergirse en una solución salina del 2 % o cítrica del 0,3 %; sobre todo cuando el pelado se realizó con hidróxido de sodio (Charley, 2012), (Cruess, 2012), (Potter y Hotchkiss, 1999).

7.5.3 Procesos

Se había indicado previamente que la deshidratación se puede efectuar por ebullición, liofilización o por arrastre con aire caliente. En cualquier alimento es importante considerar la humedad libre y el agua ligada o de hidratación. Un producto puede secarse en tres períodos (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 2000), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965):

1. velocidad creciente: que elimina poca agua y corresponde al calentamiento del alimento,
2. velocidad constante: aquí la pérdida de agua es directamente proporcional al tiempo, es decir, el agua hierve o se evapora a temperatura constante con un suministro de calor fijo.
3. velocidad decreciente: elimina el agua ligada para pasar de la humedad crítica superior al límite correspondiente al grado higrométrico del aire de secado.

Al obtenerse la HRE:

$$\frac{P_m}{P^o}$$

puede ser igual o inferior a la unidad y tiende a cero si los moles de solvente por mol de sólido, n_s , tiende a cero. Por el contrario, tiende a uno cuando n_s aumenta.

Es imposible prever teóricamente la relación, pero si:

$$Hr = \frac{P_m}{P^o} \quad y \quad hr = \frac{P_a}{P^o}$$

cuando $Hr = hr$ es porque $P_m = P_a$ y es la condición para que $hr = HRE$. Esto se ve en la curva de equilibrio higroscópico de la Figura 5.3.

7.5.4 Duración del secado

Durante el primer período, de corta duración, el material apenas pierde humedad. Los valores determinantes del tiempo de secado son los que corresponden a los períodos de velocidad constante y decreciente, que pueden calcularse de la siguiente manera (Ibarz y Ribas, 2005), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979):

a velocidad constante:

$$\frac{dn_s}{d\theta} = k \quad (7.27)$$

a velocidad decreciente:

$$\frac{dn_s}{d\theta} = -k' \times (Hr - hr) \quad (7.28)$$

pero si se considera que hr es pequeño, sobre todo si el aire se mantiene en una condición de baja humidificación, y que la HRE varía en forma más o menos proporcional a n_s , la última ecuación cambiaría a:

$$\frac{dn_s}{d\theta} = -k' \times n_s$$

Para el período de velocidad constante la integral es:

$$\theta = k \times (n_{s \text{ inicial}} - n_{s \text{ final}}) \quad (7.30)$$

y para el de velocidad decreciente:

$$\theta = k' \times \ln \left(\frac{n_{s \text{ inicial}}}{n_{s \text{ final}}} \right) \quad (7.31)$$

7.5.5 Métodos de secado

La desecación de los alimentos puede hacerse por varios procedimientos (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 2000), (Madrid et al., 1994), (Sharma et al., 2003):

1. secado ambiental por acción solar
2. por corrientes de aire caliente
3. con vapor sobrecalentado
4. con vapor saturado, a través de superficie de intercambio
5. en frío y al vacío (lío-filización)
6. en gases inertes
7. con aplicación directa del calor

Los procesos de mayor utilización actual son el secado ambiental y el aire calentado artificialmente. Ciertamente la desecación con calor solar requiere de determinadas condiciones ambientales, luego, la rapidez y éxito de este proceso están en relación directa con las condiciones estacionales del clima, temperatura, humedad del aire, entre otros. En cambio, la desecación artificial se la puede llevar a cabo en cualquier estación y en toda localidad y por ello adquiere un carácter industrial importante, dan-

do en varios casos mejores productos finales con mayores rendimientos de proceso.

Los tipos de secadores más usados son (Baquero y Llorente, 1985), (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 2000), (Michelis, 2008), (Potter y Hotchkiss, 1999):

- cabinas de convección natural con bandejas estáticas
- cabinas de convección forzada con bandejas estáticas
- túneles con bandejas estáticas o con cintas transportadoras
- cilindros calentados con vapor saturado
- pulverizadores o atomizadores de aire caliente (spray dryers)
- liofilizadores

En el primer tipo, los productos son calentados en planchas en el interior de las cabinas, pasando el vapor de agua al aire en contacto con ellos y se elimina por la parte superior. El segundo tipo trabaja con un ventilador que obliga a una circulación forzada de aire calentado y deshumidificado. Los secadores de túnel o de galería están constituidos por una larga cámara de sección rectangular, en la que se colocan las bandejas por la cual avanza el producto y en contracorriente circula el aire caliente. Los de cilindros se utilizan para secar líquidos o pastas y obtener polvo. Se encuentran constituidos por uno o varios cilindros calentados internamente con vapor de agua saturado y parcialmente sumergidos en el producto a secar. Los cilindros en su giro se llevan una capa delgada de material, que después de 3/4 de giro se ha secado totalmente y se despega mediante rascador (Figura 7.18).



Figura 7.18 Secador de doble cilindro calentado internamente por vapor de agua
Adaptado de: Tummers Simon Dryers Technology, <http://www.simon-dryers.co.uk/>.

Los de pulverización o atomización (Figura 7.19) son usados para obtener leche en polvo, café o jugos secos. Se basan en el principio de subdividir finamente el líquido a desecar para

ponerse en contacto con una corriente de aire caliente y seco. La pulverización tiene la misión de acelerar la evaporación para evitar modificaciones a causa de la temperatura.



Figura 7.19 Instalación para secado por atomización

Adaptado de: The National Drying Machinery Company, Aeroglide Corporation, www.nationaldrying.com.

Los secadores a vacío o liofilizadores se usan para alimentos sólidos que se descomponen fácilmente a temperaturas altas. El vacío se produce mediante una bomba que aspira el aire y el vapor. Entre la bomba y el secador hay siempre instalado un condensador de vapor para de esta manera obtener una rápida evaporación a temperatura ambiente e incluso inferior.

Ejemplo 7.9

Pequeños cubos de patatas que han sido sometidos a un presecado, pasan luego por un secador. Si entran en él con una humedad crítica superior de 0,15 (moles de agua/mol de pro-

ducto seco) y deben ser deshidratados hasta 0,05 (humedad crítica inferior). ¿Cuánto tiempo se requerirá sabiendo que para reducir un 10 % de humedad se necesitan 10 [min]?

$$n_{cs} = 0,15 \text{ mol}_{\text{agua}}/\text{mol}_{\text{sólido}}$$

$$n_{ci} = 0,05 \text{ mol}_{\text{agua}}/\text{mol}_{\text{sólido}}$$

$$\theta = 10 \text{ [min]}$$

$$\text{red.} = 10 \%$$

como se está en un período de velocidad decreciente:

$$\frac{dn}{d\theta} = -k \times n$$

$$\ln\left(\frac{n_f}{n_i}\right) = -k \times \theta$$

$$k = \frac{1}{\theta} \times \ln\left(\frac{n_i}{n_f}\right) = \frac{1}{\theta} \times \ln\left(\frac{100}{100 - \text{red.}}\right)$$

$$k = 0,010536 \text{ [1/min]}$$

$$\theta = \frac{1}{k} \times \ln\left(\frac{n_{cs}}{n_{ci}}\right)$$

$$\theta = 104,27 \text{ [min]}$$

7.6 Conservación por acidificación

Los medios acidificados obtenidos con ácido acético, como vinagres artificiales o naturales, se usan como líquidos de gobierno para la preservación de vegetales e incluso pescado. Existen fundamentalmente dos tipos de productos que se conservan por este sistema: los encurtidos propiamente dichos y los escabeches (Michelis, 2008). Los escabeches son preparados con vegetales y/o granos tiernos, escaldados y mantenidos en vinagres aromatizados. Por otra parte, los encurtidos son preparados por fermentación láctica de pepinillos o de col, con posterior envasado en medio ácido. Por la diferencia entre los sistemas de preparación, existe una gran variedad de encurtidos; sin embargo, se pueden agrupar en 3 tipos: ácidos, dulces y variantes con especias (Ostrovski, 1980). Una modificación conveniente puede ser la que incluimos en el Capítulo 8 al detallar las diversas formas de productos en conserva.

7.6.1 Preparación de líquidos de gobierno

Para envasar los alimentos se usan los llamados líquidos de gobierno. Un líquido de gobierno es un medio que llena los espacios entre piezas de producto envasado y mejora el aroma, así como permitir la transmisión de calor mediante convección durante la esterilización en el interior del envase. Los líquidos de gobierno pueden ser azucarados o salados, dependiendo del producto a envasar: los azucarados se usan para envasar frutas y los salados se usan para envasar vegetales (Cruess, 2012), (Ostrovski, 1980).

7.6.1.1 Líquidos de gobierno azucarados

Llamados también jarabes o almíbares, en los que se usa principalmente la sacarosa. La dextrosa o azúcar de maíz es también importante en algunas conservas de frutas. Los azúcares no refinados pueden contener azufre, el cual generará sulfuro de hidrógeno dentro de las latas y un depósito de sulfuro metálico, con la subsiguiente corrosión de las latas (Michelis, 2008). Por otro lado, el azúcar invertido y glucosa se usan también para la formación de jarabes. El azúcar invertido se obtiene por hidrólisis de la sacarosa para generar una mezcla de glucosa y fructosa, que es considerablemente más dulce. Toma este nombre por su carácter levógiro frente a la luz polarizada, a diferencia de la sacarosa que es dextrógira. Para muchas aplicaciones, la sacarosa disuelta en agua se invierte con ácido cítrico o con invertasa y se concentra hasta un alto grado; así se usa, por ejemplo, en confitería.

La glucosa en forma de jarabe contiene dextrinas y se usa a veces en la manufactura de mermeladas y jaleas de bajo precio. Este azúcar es menos dulce que la sacarosa (Tabla 1.8) y se produce a partir del almidón de maíz por hidrólisis bajo presión con ácido clorhídrico o sulfúrico diluido. El producto cristalino es obtenido con alto grado

de pureza, pudiendo emplearse en el envasado de alimentos e incluso con fines farmacéuticos. En el primer caso, siempre se usará mezclado con sacarosa, sobre todo si se lo usa para preparar almíbares destinados al envasado de fruta entera o compotas. Otro azúcar proveniente del maíz es la maltosa, que se obtiene por hidrólisis del almidón con diastasas y al concentrarlo se consigue el jarabe de maíz (también usado para alimentos envasados) (Charley, 2012), (Michelis, 2008).

Los almíbares usados en alimentos se preparan disolviendo el azúcar en agua, a veces clarificándolo y concentrándolo hasta 60 o 70 °Brix. Posteriormente, se almacenan en tanques de acero inoxidable bien cubiertos para prevenir el desarrollo de microorganismos en el espacio de cabeza del tanque. Se suele instalar una batería de lámparas ultravioleta sobre el nivel del jarabe y se recomienda que se pase continuamente una corriente de aire a través de ese espacio para prevenir condensaciones de agua. A partir de los tanques el jarabe es bombeado a los lugares de proceso. Tanto los tanques como las bombas y tuberías deben ser lavados y esterilizados regularmente. Para usarlo como líquido de gobierno,

el jarabe se disuelve a 33 °Brix, se agrega ácido cítrico en proporción de 2 a 3 [g/L] y luego se concentra hasta por lo menos 40 °Brix a fin de hidrolizar parte del azúcar. Finalmente, se usa para el envasado (Cruess, 2012).

Determinación del grado de jarabe: esta medición se debe realizar a temperatura estándar de 20 [°C], o en su defecto corregirla según tablas o fórmulas preparadas para este fin. El grado del jarabe debe ser controlado antes del llenado de los envases y durante el control de calidad del producto terminado. Su valor no tiene que cambiar apreciablemente del estandarizado para el producto en cuestión. El uso de instrumentos de medida inadecuados puede llevar a pérdidas considerables durante el proceso, pues se podrían usar jarabes muy concentrados o muy diluidos. El instrumento comúnmente usado es el hidrómetro Brix o Balling, o el refractómetro Abbé que da directamente los grados Brix que con una mínima cantidad de muestra (una gota) (Cruess, 2012). Si se trabaja con un hidrómetro, el valor leído será menor a medida que aumenta la temperatura debido a que disminuye la densidad del jarabe.

°Brix	°Baumé	Densidad [g/cm ³]	°Brix	Baumé	Densidad [g/cm ³]
0,0	0,00	1,00000	34,0	18,73	1,14855
1,0	0,56	1,00039	35,0	19,28	1,15350
2,0	1,12	1,00780	36,0	19,81	1,15847
3,0	1,68	1,01173	37,0	20,35	1,16349
4,0	2,24	1,01569	38,0	20,89	1,16833
5,0	2,79	1,01968	39,0	21,43	1,17362
6,0	3,35	1,02369	40,0	21,97	1,17874



7,0	3,91	1,02773	41,0	22,50	1,18390
8,0	4,46	1,03180	42,0	23,04	1,18910
9,0	5,02	1,03590	43,0	23,57	1,19434
10,0	5,57	1,04003	44,0	24,10	1,19961
11,0	6,13	1,04418	45,0	24,63	1,20491
12,0	6,68	1,04837	46,0	25,17	1,21026
13,0	7,24	1,05259	47,0	25,70	1,21564
14,0	7,79	1,05683	48,0	26,23	1,22106
15,0	8,34	1,06111	49,0	26,75	1,22652
16,0	8,89	1,06542	50,0	27,28	1,23202
17,0	9,45	1,06976	51,0	27,81	1,23756
18,0	10,00	1,07413	52,0	28,33	1,24313
19,0	10,55	1,07853	53,0	28,86	1,24874
20,0	11,00	1,08297	54,0	29,38	1,25439
21,0	11,65	1,08744	55,0	29,90	1,26007
22,0	12,20	1,09194	56,0	30,42	1,26580
23,0	12,74	1,09647	57,0	30,94	1,27156
24,0	13,29	1,10104	58,0	31,46	1,27736
25,0	13,84	1,10564	59,0	31,97	1,28320
26,0	14,39	1,11027	60,0	32,49	1,28908
27,0	14,93	1,11493	61,0	33,00	1,29498
28,0	15,48	1,11963	62,0	33,51	1,30093
29,0	16,02	1,12436	63,0	34,02	1,30694
30,0	16,57	1,12913	64,0	34,53	1,31297
31,0	17,11	1,13394	65,0	35,04	1,31905
32,0	17,65	1,13877	66,0	35,55	1,32516
33,0	18,19	1,14364	67,0	36,05	1,33129

68,0	36,55	1,33748	82,0	43,43	1,42810
69,0	37,06	1,34371	83,0	43,91	1,43486
70,0	37,53	1,34997	84,0	44,38	1,44165
71,0	38,06	1,35627	85,0	44,86	1,44848
72,0	38,55	1,36261	86,0	45,33	1,45535
73,0	39,05	1,36900	87,0	45,80	1,46225
74,0	39,54	1,37541	88,0	46,27	1,46919
75,0	40,03	1,38187	89,0	46,73	1,47616
76,0	40,53	1,38835	90,0	47,20	1,48317
77,0	41,01	1,39489	91,0	47,66	1,49022
78,0	41,50	1,40186	92,0	48,12	1,49730
79,0	41,99	1,40806	93,0	48,58	1,50442
80,0	42,47	1,41471	94,0	49,03	1,51157
81,0	42,95	1,42138	95,0	49,49	1,51876

Tabla 7.3 Relación entre grados Brix, grados Baumé y densidad de las soluciones azucaradas
Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

Antiguamente se usaba el hidrómetro Baumé, basado en la densidad de las soluciones, existiendo tablas de conversión entre grados Brix y Baumé (Tabla 7.3). El uso continuado de hidrómetros en jarabes calientes afecta su exactitud, por lo que deberían recalibrarse con cierta

frecuencia. Los hidrómetros de vástago largo son mejores pues dan mayor facilidad de lectura (Cruess, 2012), (Ostrovski, 1980). Se pueden encontrar tablas que relacionan los grados Brix, grados Baumé, concentración y peso del jarabe (Tabla 7.4).

°Brix	°Baumé	Concentración [g azúcar/L agua]	Peso jarabe [g/L]	°Brix	°Baumé	Concentración [g azúcar/L agua]	Peso jarabe [g/L]
6	3,35	50,9491	851,1489	52	28,33	537,4625	1033,9660
7	3,91	59,9401	854,1459	52,2	29	553,4466	1038,9610
8	4,46	67,9321	858,1419	53,3	30	578,4216	1047,9520
9	5,02	77,9221	861,1389	54	29,38	563,4366	1042,9570
10	5,57	86,9131	865,1349	56	30,42	589,4106	1051,9481
11	6,13	95,9041	868,1319	57,1	31	604,3956	1057,9421
12	6,68	104,8951	871,1289	58	31,46	616,3836	1061,9381
13	7,24	113,8861	875,1249	59,1	32	630,3696	1066,9331
14	7,79	122,8771	879,1209	60	32,49	643,3566	1071,9281
15	8,34	132,8671	882,1179	61	33	656,3437	1075,9241
36	19,81	346,6533	963,0370	62	33,51	670,3297	1081,9181
36,4	20	350,6494	965,0350	63	34	684,3157	1086,9131
38	20,89	369,6304	971,0290	64	34,53	698,3017	1091,9081
38,2	21	371,6284	973,0270	64,9	35	711,2887	1095,9041
40	21,97	391,6084	980,0100	66	35,55	727,2727	1101,8981
40,1	22	391,6084	980,0200	66,9	36	740,2597	1106,8931
41,9	23	414,5854	989,0111	68	36,55	756,2438	1111,8881
42	23,04	415,5844	989,0110	68,9	37	769,2308	1116,8831
43,8	24	436,5634	996,0040	70	37,56	785,2148	1121,8781
44	24,1	438,5614	997,0030	70,9	38	799,2008	1127,8721
45,7	25	459,5405	1004,9950	72,9	39	829,1708	1137,8621
46	25,17	462,5375	1005,9940	74,9	40	861,1389	1148,8511
47,6	26	481,5185	1012,9870	77	41	893,1069	1159,8402

48	26,23	487,5125	1014,9850	79	42	925,0749	1170,8292
49,5	27	505,4945	1021,9780	81,1	43	959,0410	1182,8172
50	27,28	512,4875	1023,9760	83,2	44	993,0070	1193,8062
51,4	28	529,4705	1030,9690	85,3	45	1028,9710	1206,7932

Tabla 7.4 Relación entre grados Brix, grados Baumé, concentración y peso del jarabe
Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

También se puede relacionar los grados Baumé con los grados Twaddell, que es una escala arbitraria para líquidos más densos que el agua (Tabla 7.5).

Densidad [g/cm ³]	Grados Baumé	Grados Twaddell
1,00	0,00	0
1,05	6,91	10
1,10	13,18	20
1,15	18,91	30
1,20	24,17	40
1,25	29,00	50
1,30	33,46	60
1,35	37,59	70
1,40	41,43	80

1,45	45,00	90
1,50	48,33	100
1,55	51,45	110
1,60	54,38	120

Tabla 7.5 Relación entre densidad grados Baumé y grados Twaddell

Adaptado de: Chiralt, A., Martínez, N.; Carmen, C. M. d. y González, C. (1998). *Experimentos de Fisicoquímica de Alimentos*. España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

Chiralt, A., Martínez, N., González, C., Talens, P. y Moraga, G. (2007). *Propiedades Físicas de los Alimentos*. España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

Problemas de los jarabes: la presencia de carbonatos y sulfatos en el agua usada en la preparación de jarabes pueden causar precipitados blancos durante la ebullición. Por otra parte, las sales de hierro en el azúcar oscurecerían el líquido o precipitarían en la lata. Por lo tanto, es imperante el uso de agua blanda. También los jarabes pueden sufrir deterioro si se usan luego de varios días de preparado, si las tuberías entre los tanques y las máquinas de envasado no están limpias. También en los jarabes pueden desarrollarse levaduras o bacterias suficientes como para causar aromas desagradables, textura floja o fermentación. Luego del envasado de frutas en almíbar, cuando el producto final ha sido terminado, el grado del jarabe descende hasta aproximadamente la mitad de su valor inicial. Esto se debe a la difusión entre el líquido y el producto sólido; así como a la mezcla de los líquidos de la fruta con dicho almíbar (Cruess, 2012), (Madrid et al., 1994), (Ostrovski, 1980).

Jarabes clarificados: en la mayoría de los casos se usan jarabes refinados, los que se producen disolviendo el azúcar en agua pura, clarificando

la solución con cal y ácido fosfórico. Posteriormente, se filtran, decoloran con carbón activado y se vuelven a filtrar y decolorar una vez más antes de ser evaporados al vacío hasta 67 °Brix. Otro tratamiento común es el uso de resinas de intercambio para remover los constituyentes de cenizas, color residual y ácidos orgánicos, dando un producto final de alta pureza (Cruess, 2012), (Potter y Hotchkiss, 1999).

Los almíbares preparados no duran mucho si no son pasteurizados, por lo que en varias industrias prefieren prepararlos al momento de usarlos. Generalmente, se usa una proporción inicial de 1 parte de azúcar por cada 2 partes de agua (33 °Brix aproximadamente) y se procede, como ya se indicó antes, a concentrarlos hasta un grado que permita su uso inmediato.

7.6.1.2 Líquidos de gobierno salinos

Los líquidos de gobierno salinos se denominan brine en Norteamérica. La mayoría de las fábricas usan soluciones diluidas de 1 a 2 % de sal (NaCl) para envasar vegetales. En productos

como arvejas tiernas se agrega también azúcar en cantidad mayor que la de sal. Las aceitunas se envasan en líquidos de gobierno con 2 a 3 % de sal. La sal para propósitos de envasado debe tener 99 % de pureza y si el valor es inferior al 98 % no se debería usar ya que los compuestos de hierro en la sal causarían decoloración y precipitación en el envase. Al igual que los líquidos de gobierno azucarados, el agua a usarse tiene

que ser lo más pura posible. En algunos casos puede ser lo mejor hervir la solución salina para precipitar sales de calcio y otras impurezas y filtrarla. La concentración de sal en un líquido de gobierno se mide en grados salinométricos (Tabla 7.6). El salinómetro es un hidrómetro con calibración para dar 100 °S cuando el porcentaje de sal es 26,5 %. Por lo tanto, 4 °S equivalen a aproximadamente a 1 % de sal (Cruess, 2012).

% de sal	°S
1,06	4
2,12	8
3,18	12
4,24	16
5,30	20
6,36	24
7,42	28
8,48	32
9,54	36
10,64	40
15,90	60
21,20	80
26,50	100

Tabla 7.6 Relación entre el porcentaje de sal y los grados salinométricos

Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

Cuando las soluciones salinas van a usarse como líquidos de gobierno, se parten de soluciones más concentradas o se preparan con una concentración entre 3 y 5 % de sal. Para granos tiernos se puede también agregar azúcar entre el 5 y 10 %. De esta forma, al mezclarse con el producto los porcentajes disminuyen por procesos difusionales a casi la mitad (Cruess, 2012). Los líquidos de gobierno usados para envasar encurtidos o para escabechar vegetales se preparan también en base a líquidos salino-azucarados, con adición de ácido acético en un 3 % o menos. Se puede también adicionar 0,5 % de ácido láctico y especias aromatizantes que ceden sus aromas al vinagre artificial así obtenido, ya sea por ebullición durante 10 o 15 [min] o por maceración lenta de uno o dos meses en frío (Cruess, 2012), (Michelis, 2008).

7.7 Ejercicios

Ejercicio 7.1

En el ejemplo 7.1, considere que las patatas tenían inicialmente una humedad del 76 % y calcule el valor de humedad final.

Sol.: $H_f = 14,433 \%$

Ejercicio 7.2

Durante el proceso de fritura, 100 [kg] de banana verde se reducen a 41 [kg] de producto final con 30 % de aceite. ¿Cuáles son las mermas aparente y real?

Sol.: $M_{\text{aparente}} = 59 \text{ [kg]}$

$M_{\text{real}} = 71,3 \text{ [kg]}$

Ejercicio 7.3

Se someten a fritura 50 [kg] de un producto amiláceo con 75 % de humedad y se obtienen 25 [kg] de producto final con 38 % de aceite. ¿Cuáles son la merma aparente y la merma real, y cuál es el porcentaje de agua del producto?

Sol.: $M_{\text{aparente}} = 25 \text{ [kg]}$

$M_{\text{real}} = 34,5 \text{ [kg]}$

$H_f = 19,36 \%$

Ejercicio 7.4

¿Cuántos kilogramos de jugo con 20 % de sólidos solubles y 0,6 % de acidez habrán que agregarse a 50 [kg] de jugo pobre con 11,6 % de sólidos y 1,5 % de acidez para obtener uno normalizado en 14 % de sólidos? ¿Cuál es la relación de calidad ($^{\circ}\text{Brix/acidez}$) que se obtendrá?

Sol.: $R = 11$

Ejercicio 7.5

1000 [L] de jugo de naranja con 14 % de sólidos solubles y 0,9 % de acidez se deben mezclar con 1000 [L] de otro jugo de 12 % de sólidos solubles y 1,5 % de acidez. Si la densidad de los líquidos es de aproximadamente 1 [g/cm³]. ¿Qué cantidad de azúcar y/o ácido habrá que agregar a la mezcla para obtener una relación de calidad de 14?

Sol.: $W_{\text{azúcar}} = 91,346 \text{ [kg]}$

Ejercicio 7.6

En el laboratorio de conservas se desea concentrar 7,5 [kg] de jugo de maracuyá desde un Brix inicial de 5,2 hasta un Brix final de 17. Considerando que se realiza una pseudo pasteurización

y no existe pérdida de agua, ¿qué cantidad de azúcar se debe agregar al jugo?

Sol.: $W_{\text{azúcar}} = 1,0663 \text{ [kg]}$

Ejercicio 7.7

Se tienen 1000 [kg] de jugo de naranja con 10,5 % de sólidos solubles y 0,92 % de ácidos (calidad B), que al ser mezclado con 500 [kg] de otro jugo que tiene 21 % de sólidos solubles y 1,1 % de ácidos, darán un producto final de calidad A. ¿Cuál es la concentración de sólidos solubles resultante, la de ácido y qué relación de calidad se obtendrá?

Sol.: $^{\circ}\text{Bx} = 14 \%$

$\% \text{ A} = 0,98 \%$

$R = 14$

Ejercicio 7.8

Se tienen 1000 [kg] de jugo con 10,5 $^{\circ}\text{Brix}$ y 1 % de acidez (como ácido cítrico).

a. ¿Qué cantidad de jarabe de glucosa con 82 % de sólidos solubles se necesitará para obtener una relación de calidad de 14?

b. ¿Cuál será el peso total de producto obtenido?

Sol.: $W_{\text{jarabe}} = 51,4705 \text{ [kg]}$

$W_{\text{total}} = 1051,471 \text{ [kg]}$

Ejercicio 7.9

Se tienen 50 kg de jugo con 10 $^{\circ}\text{Brix}$. ¿Cuántos kg de azúcar se necesitarán agregarle para llegar a 15 $^{\circ}\text{Brix}$?

Sol.: $W_{\text{azúcar}} = 2,941 \text{ [kg]}$

Ejercicio 7.10

Se dan los siguientes datos de volumen de suspensión filtrada en función del tiempo:

V	θ	V^2
[L]	[min]	[L ²]
15	0,8	225
30	3,3	900
45	7,1	2025
60	12,8	3600
100	35,3	10000

Así como:

Densidad (δ) = 1,08 [g/cm³] = 1080 [kg/m³]

Suspensión (X %) = 1 % = 0,01

Vol. Específico (V_a) = 0,93 [cm³/g] = 0,00093 [m³/kg]

Área (A) = 2 [m²] = 2 [m²]

Viscosidad (μ) = 9,1×10⁻⁴ [P]

Presión (ΔP) = 1,3 [kg/cm²] = 131690 [Pa]

Calcular la resistencia Rs_2 para el filtro en estudio

Sol.: $Rs_2 = 2,44 \times 10^{16} \text{ [m}^{-2}\text{]}$

Ejercicio 7.11

Usando un filtro cilíndrico de placa porosa (espesor de la placa 0,5 [cm]) con un área filtrante efectiva de 0,5 [m²], se trata de filtrar un jugo con una pequeña cantidad de sólidos en suspensión, tal que la resistencia del precipitado se

puede considerar despreciable frente a la de la placa misma. La viscosidad del líquido es de 0,0108 [P]. Se midió el caudal en función de la presión ejercida sobre él:

V/θ	ΔP
[L/min]	[kg/cm ²]
10,00	0,50
16,05	0,80
48,38	2,42
103,50	5,10
150,00	7,60

¿Cuál será el valor de la resistencia R_{s_1} ?

Sol.: $R_{s_1} = 2,44 \times 10^{13} \text{ [m}^2\text{]}$

Ejercicio 7.12

Dos evaporadores abiertos de camisa de vapor de características similares y por ende de igual coeficiente global de transferencia, pero de distinta área, evaporan igual cantidad de vapor de agua. El primero usa vapor de agua de 29,4 [psi] manométricas y el segundo vapor de agua de 14,7 [psi] manométricas. Si se usan sobre el mismo producto, ¿cuál de ellos tiene mayor área y cuántas veces es mayor?

Sol.: El segundo (A_2) es el de área mayor con 1,619 [m²].

Ejercicio 7.13

En un proceso de fabricación de mermeladas la concentración se realiza en un evaporador al va-

cío a 70 [°C], cuyo coeficiente global de transferencia es igual a 1000 [kcal/h.m².°C]. Se supone que el vapor de agua solo cede calor de condensación, aprovechándose el 80 % del calor cedido y que la alimentación entra a la temperatura de ebullición, ¿qué cantidad de vapor de agua de 3 [at] absolutas se necesita para concentrar 1000 [kg] de producto desde 50 a 65 % de sólidos solubles? ¿qué cantidad de agua se evaporó?

Sol.: $m_{\text{evaporada}} = 230,769 \text{ [kg]}$

$W_{\text{vapor}} = 311,986 \text{ [kg]}$

Ejercicio 7.14

Para obtener una mermelada se concentra un producto formado por 80 [kg] de pulpa de 10 °Brix y 120 [kg] de jarabe azucarado de 70 °Brix. ¿Cuánta agua debe evaporarse para obtener un producto final con 60 °Brix?

Sol.: $m_{\text{evaporada}} = 46,667 \text{ [kg]}$

Ejercicio 7.15

Para obtener una jalea se concentra un producto formado por 100 [kg] de jugo con 12 °Brix y 100 [kg] de azúcar (glucosa). ¿Cuánta agua se debe evaporar para obtener un producto final con 65°Brix?

Sol.: $m_{\text{evaporada}} = 27,69 \text{ [kg]}$

Ejercicio 7.16

Si en un secador adiabático entra aire a 70 [°C] con un grado higrométrico $h_r = 0,1$ y sale con $h_r = 0,8$ ¿cuál es la temperatura de salida? ¿Cuánta agua arrastró el aire? ¿Qué peso de producto por [kg] de peso de aire puede ser secado desde $n = 0,2$ a 0,08? (n está dado en [kg de agua/kg de producto seco]).

Sol.: $R: 0,145 \text{ [kg de producto/kg de aire]}$

Envasado



08

8.1 Introducción

Todo material está sometido constantemente a selección. Ya se ha indicado que después de llegar la materia prima a la fábrica, debería ser seleccionada por calidad (Capítulo 5). Las frutas sobremaduras tendrían que separarse de aquellas con madurez apropiada. El personal empleado para cortar y pelar el material tiene que realizar otra selección de calidad después de dichas operaciones, para lo cual los productos pasan por cintas transportadoras moviéndose lentamente para permitir el proceso de selección. Una tercera o cuarta selección realizan quienes llenan los envases (Caballero Abellán, 2018), (Ostrovski, 1980).

8.2 Objetivos de la selección del alimento a envasar

La selección de productos óptimos, antes del proceso, da como resultado una mayor uniformidad del producto final, a la vez que contribuye a la estandarización y al mejoramiento de los métodos de preparación, proceso y preservación. Por otro lado, se presentan al consumidor varias categorías o calidades, con precios de acuerdo a ellas. Los guisantes de calidad *standard* (B), son buenos, sanos y muy nutritivos, y su costo es mucho menor que los tipo *Fancy o Choice* (A⁺ o A, respectivamente) (Cruess, 2012).

Ante la presentación, a veces engañosa, de la etiqueta, con diseños muy elaborados sobre la calidad del producto, muchos consumidores están advertidos para no asumir que representa necesariamente un producto de buena calidad. La variedad de materias primas produce calidades diferentes de productos, que deben

ser tomados muy en cuenta por el procesador para asegurar la mejor materia para el proceso. Los productores están constantemente realizando mejoras de las variedades existentes de materias primas o produciendo nuevas (Brennan, 2006).

Hay que destacar que el lapso entre la recolección y el comienzo del proceso tiene mucho que ver en la calidad del producto terminado, por lo que la materia prima debería ser transportada y procesada en el menor tiempo posible desde su cosecha; entendiéndose como procesamiento ya sea la recepción de materia prima y el control del proceso de maduración en el caso de frutas climatéricas. La temperatura durante el transporte a la fábrica es también determinante. Como se indicó antes, los medios de transporte deben ser bien ventilados y fríos, por lo que se podría aconsejar el transporte del material durante la noche en caso de no contar con vehículos frigoríficos (Charley, 2012), (Ostrovski, 1980).

La calidad del producto está fuertemente influenciada por las condiciones sanitarias de la fábrica. Cajas sucias usadas para el embalaje causan deterioros en frutas, dándoles aromas desagradables. Muchas de las grandes fábricas lavan las cajas con agua caliente, soluciones alcalinas o vapor para limpiarlas y desinfectarlas, antes de regresarlas al productor. Asimismo, pisos, mesas, bandas transportadoras, tanques de jarabes, bandas de selección y toda la maquinaria en la fábrica tiene que lavarse frecuentemente para evitar la presencia de desechos en descomposición (Holdsworth, 1988).

Existen dos formas de selección: la establecida por la *Canners' League of California*, que se aplica en USA (Tabla 8.1) y la Internacional.

Calidad	Color	Madurez	Manchas	Tamaño	Apariencia
Fancy	Intenso	justa	sin	uniforme	Simétrica
Choice	muy bueno	justa	sin	uniforme	Simétrica
Standard	bueno	regular	pocas	aproximado	Razonable
2do. Standard	tolerable	regular	tolerable	aproximado	Tolerable
Pie	regular	--- Sin ajustarse a normas ---			

Tabla 8.1 Grados de calidad según la norma Norteamericana

Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

Por ejemplo, el número de piezas de duraznos y la concentración de jarabe utilizado para una lata 2½ se presentan en la Tabla 8.2.

Calidad	No. piezas	°Brix
Fancy	6 - 12	55
Choice	6 - 15	40
Standard	6 - 21	25
2do. Standard	sin límite	10
Pie	sin límite	0

Tabla 8.2 Grados de calidad para duraznos enlatados

Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

Según el Sistema Internacional, existen tres categorías: A, B y C. La categoría A es equivalente a las *Fancy* y *Choice*; mientras que la categoría B corresponde a la *Standard*, previamente indicadas (Cruess, 2012). La categoría C es similar

a la *Pie*. También se dan normas para seleccionar los productos terminados, en base a una serie de atributos, por ejemplo, en el caso de vegetales enlatados:

Atributo	Puntos
Líquido	10
Color	10
Defectos	30
Madurez	50

	100

Para tomates:

Atributo	Puntos
Peso escurrido	20
Roturas	20
Color	30
Ausencia de defectos	30

	100

En frutas:

Atributo	Puntos
Color	20
Uniformidad, tamaño y simetría	15
Ausencia de defectos	30
Características de la fruta	35

	100

El porcentaje dado a cada atributo depende del peso variable de cada uno de ellos en el total. Por otro lado, los valores más correctos se pueden obtener por un rastreo estadístico bien realizado. Calificaciones de 90 a 100 corresponderían a la calidad A; entre 70 y 89 calidad B y menos de 70 calidad C.

8.3 Envasado

Existen por lo menos dos métodos de envasado, que a grandes rasgos se diferencian por el tipo de producto a envasar: si el producto es líquido o tiene líquido de gobierno, se usará de preferencia el envasado en caliente; mientras que si los productos a envasar son deshidratados o fritos, el proceso cambia (Bureau y Multon, 1995), (Caballero Abellán, 2018), (Heiss, 1970).

8.3.1. Envasado en frío

Esta forma de envasado se usa para productos secos, en polvo o en pedazos. El material es llenado en frío y cerrado al vacío (Heiss, 1970).

Otra alternativa es reemplazar el aire por una atmósfera constituida por una mezcla de gases en diferentes proporciones, tales como oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico y en algunos casos argón y helio. En la actualidad este tipo de envasado se usa para prolongar la vida útil de productos frescos o procesados, por ejemplo alimentos fritos (snacks), fruta seca o confitada, café, pastas con relleno (ravioles), quesos frescos y maduros, aceitunas (Brennan et al., 1998).

8.3.2 Envasado en caliente

Para el envasado de productos que serán evacuados a vapor previo al cierre del envase, se tienen, por un lado, los productos que han sufrido operaciones de pelado, blanqueado y cortado; y por otro lado los líquidos de gobierno. Durante el envasado estos productos y materiales confluyen simultáneamente (Heiss, 1970), (Rees y Bettison, 1994):

- productos sólidos, pastas o fluidos
- líquido de gobierno (cuando los productos son sólidos)

c) envases limpios y lavados (en ocasiones, esterilizados, como cuando se envasan mermeladas o jaleas).

Con frecuencia, para el envasado, tanto de productos sólidos como de productos líquidos (almíbares o jugos), se usan dosificadores o llenadores mecánicos que permiten una estandarización en volúmenes y pesos. Los llenadores de sólidos poseen un sistema de balanza, en tanto que los de líquidos son volumétricos

(Figura 8.1). En ningún caso los envases deben ser llenados por completo, sobre todo si van a ser sometidos a una esterilización posterior, ya que un llenado de esa forma podría causar problemas en la integridad de los cierres y del envase mismo. Por norma general, se debe dejar un espacio sin producto que corresponde a un 10 % del volumen total y que se conoce como 'espacio de cabeza' (Cruess, 2012).



Figura 8.1 Sistema continuo de llenado de envases de bebidas
Adaptado de: Genemco Food Processing Equipment, www.genemco.com.

8.3.3 Envasado en atmósferas modificadas (MAP)

La técnica de conservación en atmósfera modificada (MAP) consiste en empaquetar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida útil del producto. Dependiendo de las exigencias del alimento a

envasar, se requerirá una atmósfera con ambientes ricos en CO_2 y pobres en O_2 , los cuales reducen el proceso de respiración en los productos, conservando sus características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas por un mayor tiempo. Se elegirá también un empaque o película de protección que brinde resistencia mecánica y que ofrezca transparencia para que permita visualizar el producto (Ospina Meneses y Cartagena Valenzuela, 2008).

La atmósfera gaseosa cambia continuamente durante todo el período de almacenamiento por la influencia de diferentes factores como la respiración del producto envasado, cambios bioquímicos y la lenta difusión de los gases a través del envase (Vera y Díez, 2016). Debido al precio y a la facilidad de uso, los sistemas más empleados son el vacío y la atmósfera modificada, pero estos sistemas tradicionales de envasado tienen limitaciones, por ello se han desarrollado y se están desarrollando nuevos sistemas conocidos como envasado activo y envasado inteligente (Rodríguez-Sauceda, Rojo-Martínez, Martínez-Ruiz et al., 2014).

8.3.4 Envasado activo

Se denomina envasado activo a la incorporación de ciertos aditivos en la matriz del envase o dentro del envase para modificar la atmósfera y prolongar la vida útil del producto. Se define como un sistema inteligente a la interacción entre los componentes del envase o del envase y la atmósfera del alimento (gases internos), con la finalidad de garantizar la inocuidad del producto mediante la inhibición del crecimiento de microorganismos patógenos, mantener la calidad nutricional, así como prevenir y/o indicar la migración de contaminantes (Ozdemir y Floros, 2004).

El envasado activo se clasifica en sistemas de barrido activo (absorbentes) y sistema de liberación activa (emisores). Los sistemas absorbentes eliminan compuestos no deseados como el oxígeno, el exceso de agua o la humedad, el etileno, el dióxido de carbono, algunos contaminantes y otros compuestos alimenticios específicos. Por otro lado, los sistemas de liberación agregan activamente compuestos a los alimentos envasados como el dióxido de carbono, agua, antioxidantes y conservantes. Todo ello

dependerá de las características que tenga el alimento y cómo se lo deba mantener (Galiana Llinares, 2017).

8.3.5 Envasado mediante tratamientos no térmicos

En la actualidad, se ha dado un gran realce a la producción y elaboración de alimentos mínimamente procesados, debido a la alta demanda que tienen por parte del consumidor. La aparición de productos mínimamente procesados está asociada a cambios en los hábitos de consumo: el cliente demanda comida de fácil preparación, mínimo tiempo de elaboración y máxima seguridad. Esto ha conducido a que se rearmen los esquemas tradicionales de envasado, lo que ha promovido el desarrollo de nuevos métodos de conservación de alimentos. Los mayores avances de estas nuevas tecnologías se han conseguido con el desarrollo de sistemas físicos que comprometen la viabilidad de los microorganismos, es decir, los eliminan sin necesidad de que se produzca un aumento de la temperatura del alimento, y es que el hecho de someter los alimentos a altas temperaturas favorece la pérdida de valor nutricional y organoléptico. Estos métodos, llamados no térmicos, no afectan, o lo hacen de forma muy leve, a las características nutritivas y sensoriales de los alimentos (Rodríguez-Sauceda et al., 2014). Algunos de los métodos de procesamiento no térmico se tratarán en el Capítulo 9.

8.4 Evacuado o exhausting

La palabra evacuado (del inglés *exhausting*) significa eliminar los gases incondensables del interior del envase o sustituirlos por vapor de agua, el cual al condensarse, en cuanto se enfríe el envase cerrado, generará vacío. El evacuado es una operación de precalentamiento en la que los envases llenos (ya sea lata o frasco) están expuestos al calor para expulsar el aire ocluido y atrapado del producto. El evacuado no solo crea un vacío que mantiene la tapa en su lugar sobre los frascos, sino que también reduce la tensión en la lata o frasco durante los procesos subsiguientes. (Cruess, 2012), (Heiss, 1970).

8.4.1 Objetivos del evacuado

1. Remover el aire del contenido de la lata y así reducir las posibilidades de corrosión.
2. Producir un vacío tal que la tapa y el fondo de la lata se presenten algo cóncavas, lo que indica al comprador que el producto está en buenas condiciones. Las tapas convexas o abolladas usualmente indican desarrollo microbiano.
3. Prevenir tensiones indeseables sobre la lata durante la esterilización.
4. Finalmente, los productos puestos en las latas pueden ser infectados por microorganismos aerobios y anaerobios. Los aerobios no pueden vivir en ambientes privados de aire, por lo que su eliminación hará más difícil el desarrollo de ellos y reducirá el peligro del abombamiento de origen microbiano.

8.4.2 Grado de vacío

Magoon y Culpepper estudiaron las relaciones entre la temperatura del contenido de las latas y el vacío final que se consigue. Estos autores

calcularon los valores de vacío alcanzados en receptáculos no contráctiles que contenían aire y vapor saturado, cuando se cerraban a varias temperaturas. Sin embargo, las latas no son perfectamente rígidas o no contráctiles y se pueden producir tensiones en sus paredes, causadas entre otras cosas por las presiones internas y externas que operan sobre él, por lo que el vacío puede modificarse (Cruess, 2012).

Como ya se explicó anteriormente, cuando se llenan los envases con producto, es conveniente dejar un espacio de cabeza. Este aspecto es importante debido a que de no existir o ser demasiado pequeño dicho espacio, la dilatación del producto por efecto térmico durante la esterilización podría deformar el envase (abombarlo) y hasta alterar o abrir las costuras. Este espacio también permite mantener la cámara en la cual se manifestará el vacío, de allí que se use la denominación de 'vacío de cabeza'. La temperatura del espacio de cabeza durante el evacuado ejerce una influencia directa en el vacío final. Así, a mayor espacio de cabeza mayor expansión del aire, lo que genera su arrastre con el vapor de agua, el que a su turno llenará tal espacio y al enfriarse (condensarse) se generará el vacío en el envase (Cruess, 2012), (Heiss, 1970).

En alimentos enlatados, un envase terminado debe tener entre 10 y 20 [in] de Hg de presión. No obstante, se pueden observar niveles alternativos de entre 0 y 6 [in] de Hg para envases con poco espacio libre, o 26 [in] de Hg para envases de alto vacío (como el maíz dulce en salmuera). En algunos envases el nivel de vacío debe ser estrictamente controlado para evitar daños por la expansión de gas durante el proceso de esterilización. Este problema dependerá de la tendencia del producto a expandirse, particularmente debido al aire atrapado o disuelto

en el producto y a la sensibilidad del recipiente (por ejemplo, en latas con extremos fáciles de abrir o placa débil), donde es probable que se produzcan daños en el envase. Históricamente, la presencia de vacío en las latas de comida se ha utilizado como un indicador de ausencia de fugas y/o deterioro del contenido. La pérdida de vacío se controla mediante sistemas basados en la detección de sonidos antes del etiquetado del producto terminado (por ejemplo, detector de sonidos de Tapone) antes del etiquetado del producto terminado.

8.4.3 Equipos de evacuado a vapor

En el evacuado de conservas las latas y su contenido son expuestas a temperaturas entre los 80 y 95 [°C]. Un evacuado por períodos prolongados a temperatura moderada es preferible a un evacuado corto a alta temperatura; si se considera

solo el efecto producido (eliminación de los gases incondensables por corrientes convectivas) más que la eficiencia de la operación (Robertson, 2017). Entre los evacuadores más usados en pequeñas industrias están el de túnel rectangular y la cámara circular (Carrión, 1997), (Cruess, 2012), (Heiss, 1970), (Rees y Bettison, 1994).

El evacuador de túnel (Figura 8.2) es el más simple y consiste en una caja de metal, angosta y poco profunda, a través del cual pasa una cinta de acero que transporta los envases. En la parte interna hay tubos por los cuales se descarga vapor de agua a la temperatura deseada y genera el evacuado de los gases del interior de los envases. La cinta transportadora es, generalmente, de velocidad variable, de tal forma que permita regular el tiempo necesario que los envases permanecerán en el interior del equipo.



Figura 8.2 Evacuador de túnel

Adaptado de: Diziolnoxa, <http://www.diziolnoxa.com/it/index.php>.

Una modificación de este evacuador consiste en el reemplazo de la cinta por una cadena transportadora. Uno de los problemas de estos evacuadores es que algunas veces los envases llegan a apiñarse causando paradas al proceso productivo.

Por otra parte, el evacuador de cámara circular (Figura 8.3) posee una superficie dividida en anillos planos concéntricos que transportan los envases. La máquina está construida de tal forma que permite la entrada y salida de las latas por extremos opuestos. Los envases llenos son, de esta forma, transportados automáticamente en el interior del equipo del cual salen precalentados. El evacuado posee las siguientes funciones (Aranda Rengifo, 2015):

- Reducir al mínimo la presencia de aire (que posee un 20 % de O_2) que origina la rancidez, la corrosión de la lata de estaño y el crecimiento de microorganismos aerobios viables patógenos y alterantes.

- El vacío protege el color y sabor de los alimentos y asiste en la retención de las vitaminas, ya que algunas de ellas son sensibles a la acción del calor, pero lo serían más en presencia de O_2 (especialmente la vitamina C). No sucede lo mismo con las vitaminas A, D y E, que son menos lábiles al calor.
- Evitar la deformación de las suturas de la lata por expansión del aire que pueda quedar en ella durante el proceso de esterilización. Permite que las tapas y cuerpo del envase metálico se mantengan inalterables, sin deformación visible alguna.

El grado de vacío estará en función del lugar en el que se comercializará la conserva: a mayor nivel de altitud, mayor nivel de vacío a obtener. Se debe alcanzar una presión de vacío mínimo de 2,5 [in] de Hg.

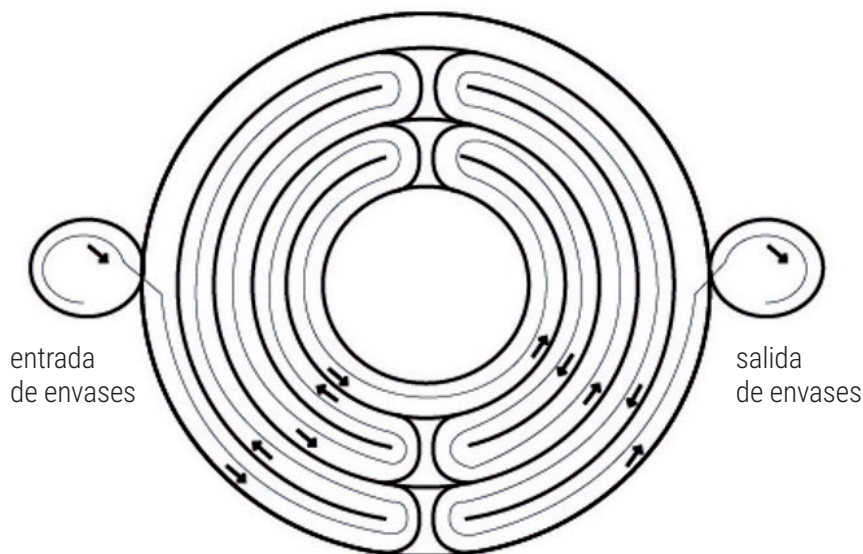


Figura 8.3 Esquema de un evacuador de cabina de vapor
Adaptado de: Carrión, M. (1997). *Tecnología de Conservas Vegetales*. Ecuador:
IICT de la Universidad de Cuenca.

8.5 Cerrado de envases

Una vez que los envases salen del equipo de evacuado deben ser sellados herméticamente para evitar que se pierda el vacío generado en este proceso, y así garantizar los procesos subsiguientes. Esta operación se puede hacer de forma manual o mecánica, dependiendo del tipo de envase. Así, los envases de vidrio con tapa de metal, tanto si son roscados como los 'twist off', se pueden cerrar de forma manual, pero dejaría el producto más expuesto a problemas de contaminación que hacerlo a través de sistemas automáticos como se realiza hoy en día. Las botellas de vidrio que se cierran con tapón de corcho o con tapa almenada (tapa corona) obligatoriamente se tienen que cerrar a máquina (Heiss, 1970), (Ostrovski, 1980), (Robertson, 2017).

8.5.1 Evacuado y cerrado en caliente

Es una forma de realizar el evacuado, pero solo el momento en el que se va a cerrar el envase. Se aplica a envases que usan tapas cierre a vapor o 'Vapo-seal' y algunos otros tipos de tapas específicas. En una máquina especial se

produce una corriente de vapor en forma de chorro que expulsa el aire y ocupa el espacio de cabeza del envase, para inmediatamente ajustar la tapa por presión mecánica. Toda esta operación se realiza en el interior del equipo de tal forma de alcanzar y mantener un buen vacío (Carrión, 1995), (Rees y Bettison, 1994).

8.5.2 Evacuado y cerrado en frío

El evacuado mecánico se realiza con máquinas provistas de un dispositivo que hace primero el vacío y luego cierra el envase. Este método de evacuado es útil para el empaquetado de productos deshidratados, por ejemplo, café o productos del mar. Una variante a este proceso es el utilizado en la industria de snacks o leche en polvo, donde en lugar de generar vacío se reemplaza el aire por un gas inerte. De esta manera se reducen los fenómenos de oxidación, sin producir humedecimientos, que no podrían evitarse al usar vapor. El cierre al vacío se ha demostrado útil para la conservación de zumos de frutas concentrados, para los cuales se aplica un tratamiento térmico no superior a 70 [°C] (pasteurización) (Heiss, 1970), (Madrid et al., 1994), (Rees y Bettison, 1994).

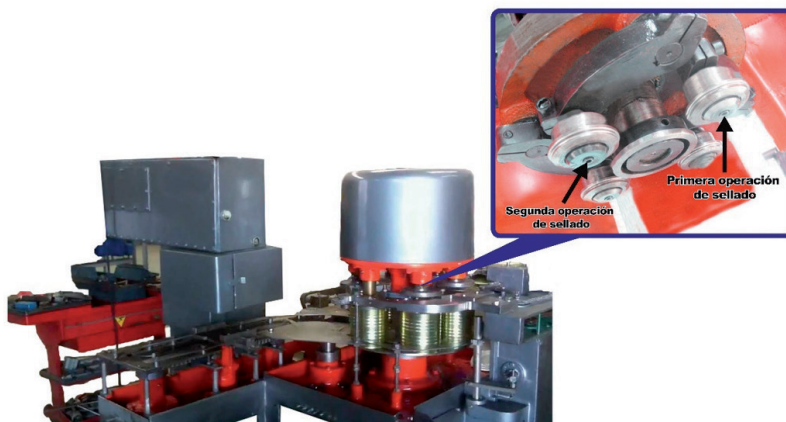


Figura 8.4 Equipo continuo de cerrado de latas por doble costura

Adaptado de: Alfa Laval, <http://www.alfalaval.com/>.

8.5.3 Cerrado de envases de hojalata

El cerrado de envases de hojalata se realiza en máquinas especiales que ajustan la tapa al cuerpo y la sellan. Este cierre debe ser hermético para permitir la conservación de los productos elaborados. Normalmente se usan cerradores de envase giratorio (Figura 8.4), donde el envase gira en un plato inferior a alta velocidad

mientras el cabezal superior (mandril) sella la tapa al cuerpo del envase. Estos equipos tienen capacidades operativas superiores a los 1500 [envases/min] (Charley, 2012), (Madrid et al., 1994), (Ostrovski, 1980). La forma en la cual queda sellado el envase de hojalata se esquematiza en la Figura 8.5.

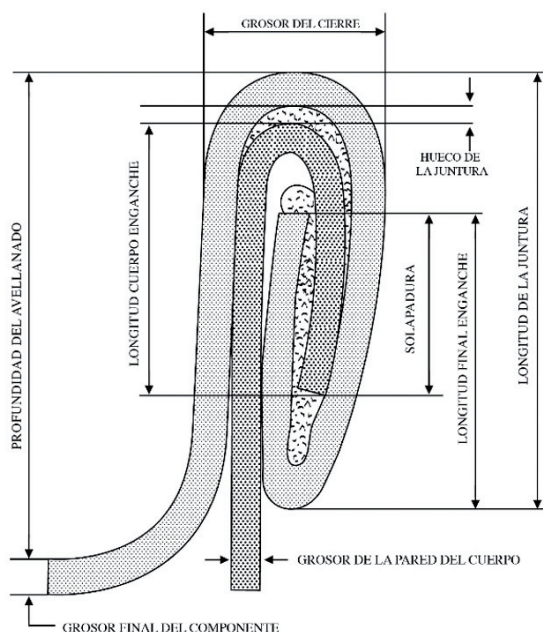


Figura 8.5 Esquema de la soldadura de un envase de hojalata

Adaptado de: Hayes, G. D. (1992). *Manual de Datos para Ingeniería de los Alimentos*.

España: Editorial Acribia, S.A.

Hersom, A. C. y Hulland, E. D. (1981). *Canned Foods. Thermal Processing and Microbiology*. (Seventh edition). Chemical Publishing Company.

Los envases, luego del proceso de sellado, son esterilizados mediante autoclaves, calculando el tiempo y la temperatura de acuerdo al tipo de envase utilizado (100 - 110 [°C] durante 15 - 20 [min]) para envases de 200 - 250 [g] de conteni-

do. Una vez terminada la operación de esterilización, los envases se dejan enfriar hasta 30 - 40 [°C] y se dejan secar al aire. El tema de esterilización térmica se ampliará en el Capítulo 9.

Para concluir debemos indicar otros aspectos que se generan al eliminar el aire de las latas mediante evacuado a vapor (Ostrovski, 1980), (Hersom y Hulland, 1981):

1. Cuando la lata entra caliente a los esterilizadores, la duración de la esterilización se reduce.
2. La presión interna de las latas durante la esterilización y a la salida del autoclave son notablemente inferiores a la presión externa, con lo que se evita el *tic-tac*.
3. Ayuda a conservar el color de frutas o vegetales debido a que el oxígeno del aire contribuye a la oxidación y oscurecimiento de los productos

8.6 Diversas formas de productos en conserva

Existe una amplia gama de productos que se conservan por esterilización; entre ellos citaremos las conservas de vegetales naturales, vegetales para entremés, las comidas en conserva, las conservas de tomate, conservas para niños, vegetales en escabeche, conservas de frutas (compotas, mermeladas, jugos, concentrados), conservas de pescado (en salsa o en aceite), conservas de carne (estofada o con vegetales). En algunos productos la esterilización se realiza a alta temperatura, en otros a temperatura baja y en otros solo se realiza una pasteurización. A continuación describiremos algunas de las conservas de mayor comercialización (Charley, 2012), (Madrid et al., 1994), (Ostrovski, 1980).

8.6.1 Conservas de arvejas

Se conservan cuando los granos de arvejas están tiernos, verdes, suaves y sacaríferos (con poco contenido de almidón). En este período poseen hasta un 75 % de azúcares y son ricos en vitamina C, albúminas y sustancias minerales. Las arvejas que han sido recolectadas en el campo por medio de segadoras, pasan por máquinas desgranadoras para separar la vaina y luego por separadoras de ciclón para eliminar restos de hojas y cáscaras. En industrias pequeñas las operaciones de desgranado y separación son manuales. Se las selecciona por tamaño y se inspecciona para retirar los granos defectuosos o muy maduros; esta operación se realiza en cintas transportadoras que pasan directamente al blanqueador. El blanqueamiento se realiza durante 3 [min] entre 90 y 92 [°C] en agua a ebullición, enfriándolas en seguida. Eventualmente se puede realizar un reverdecimiento, aunque es preferible un blanqueamiento con adición al agua de 0,15 % de bicarbonato de sodio, sin que por ello se produzca una pérdida sustancial de vitamina C. Se envasan en latas, como las No. 300, y se bañan con líquido de gobierno caliente filtrado, el mismo que contiene de 10 a 12 % de azúcar y 6 a 7 % de sal. Debe tenerse presente que el espacio de cabeza sea de por lo menos 10 % de la altura total del envase y que el peso en granos en la lata esté entre el 65 y 70 % del peso neto. Se evacúan en túnel de vapor por 4 [min] a 80 [°C], se cierran los envases y se esterilizan por 30 [min] a 118 o 120 [°C] (Hernández-Briz, 1993), (Madrid et al., 1994), (Ostrovski, 1980).

Se ha comprobado que el blanqueamiento, la esterilización y el almacenamiento de los guisantes causan solo pequeños cambios en el contenido de proteínas en comparación con los frescos. El proceso de blanqueamiento tiene pérdidas que podrían deberse a la extracción

de proteínas solubles y también a la hidrólisis de proteínas en aminoácidos libres que pueden combinarse con los carbohidratos, especialmente azúcares reductores, para formar pigmentos marrones (Ammar, Lásztity y El-Kady, 1986).

8.6.2 Conservas de durazno

Llamados también duraznos en almíbar o simplemente compotas de duraznos. Son las conservas más generalizadas en nuestro medio y se envasan en recipientes de vidrio o preferentemente de hojalata. Para la elaboración, se escoge fruta grande, de carne dura y blanca. Deben poseer un grado intermedio de maduración, pues los muy maduros son demasiado blandos y se dificulta la manipulación. Los frutos que entran en la fábrica pasan por un lavado y una selección para eliminar los defectuosos. Luego son sumergidos en una solución alcalina a ebullición (con 1,5 % o 2 % de hidróxido de sodio) por 3 o 4 [min], con lo cual se realiza el pelado, y se lavan con abundante agua fría, manteniéndolos en agua ligeramente acidulada con ácido cítrico para neutralizar la acción alcalina residual y evitar endurecimiento de la pulpa. Posteriormente, se segmentan en dos mitades a lo largo de la sutura que presenta la superficie, separándose a continuación la pepa con una cuchareta despepitadora. En ciertas fábricas, por comodidad, se prefiere seccionar la fruta antes del pelado alcalino, aunque la pepa es separada luego de este proceso. Con la fruta preparada se llenan los envases, agregándoles el líquido de gobierno, que es un jarabe azucarado de 40 a 55 °Brix y con ácido cítrico hasta para alcanzar un pH de 2,5 a 2,7. A pesar de que

el jarabe esté hirviendo, los envases han de evacuarse en túnel de vapor durante 4,5 [min] a 80 [°C], cerrándoles y esterilizándoles durante 15 [min] a 100 [°C] (Charley, 2012), (Gianola, 1981), (Madrid et al., 1994), (Ostrovski, 1980).

8.6.3 Mermeladas

Las mermeladas se obtienen mediante cocción del puré de fruta fresca o sulfitada, con adición de azúcar. Se prepara tanto de una sola clase de materia prima como de la mezcla de distintas frutas. La obtención de la pulpa se realiza en el equipo conocido como finisher (fluidificador y tamizador), la cual es posteriormente concentrada en evaporadores abiertos o al vacío, calentados por camisa de vapor. Aquí se adiciona azúcar en proporción aproximada 1:2 (1 parte de azúcar por cada 2 partes de pulpa), ácido cítrico para obtener un pH de 3,2 a 3,4 y se mantiene el calentamiento hasta alcanzar los 66 °Brix. Si fuera necesario se agrega pectina, pues una correcta relación pectina-ácido-azúcar permitirá alcanzar un producto consistente, que no separe líquidos ni caramelice durante el almacenamiento. Las mermeladas se envasan en recipientes de vidrio que han sido previamente esterilizados (sumergidos con sus tapas en agua a ebullición o a través de vapor por lo menos durante 10 [min]), se cierran los envases, se los invierte momentáneamente para asegurarse de haber logrado un cierre correcto y se enfrían de forma natural o con ventilación (Gianola, 1981), (Ostrovski, 1980), (Rauch, 1987). En la Tabla 8.3 se presenta la composición química proximal de mermeladas y jaleas.

Componente	Jalea	Mermelada
Agua	34,8	29,1
Carbohidratos	65,0	70,0
Proteína	0,2	0,2
<i>Vitaminas</i>		
Tiamina (B1) [mg]	0,02	0
Riboflavina (B2) [mg]	0,02	0
Ácido ascórbico (C) [mg]	4	7
Retinol [mg]	4	8
Ácido fólico [μg]	2	0
<i>Minerales</i>		
Sodio [mg]	25	12
Potasio [mg]	25	12
Calcio [mg]	10	25
Fósforo [mg]	38	12
Hierro [mg]	0,2	0,4

Tabla 8.3 Composición proximal de la jalea y mermelada [g/100 g]

Adaptado de: Alvarado, J. de D. (2012). *Propiedades Termodinámicas Relacionadas con el Agua Constitutiva de Alimentos*. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

8.6.4 Encurtidos y escabeches

8.6.4.1 Encurtidos

Los encurtidos (Holdsworth, 1988), (Hernández-Briz, 1993) son conservas en los cuales los productos se sumergen en una solución de sal y fermentan por si solos o con adición de

fermentos apropiados. De esta forma existe un descenso del pH y aumenta la acidez del producto, lo cual permite su conservación durante meses. Al líquido de gobierno se suele adicionar diversas especies, tales como pimienta picante, canela, mostaza, ajo, entre otros. También existen encurtidos donde los productos se sumergen en soluciones de vinagre obtenido de vino.

Aunque suelen emplearse casi todas las clases de pepinos, suelen seleccionarse algunas variedades en razón de su forma, tamaño o cualidades de conservación. Se usan pepinillos cortos, aun verdes y duros, eliminando los enmohecidos. Se los gradúa por tamaños según el número de unidades que puedan llenar un barril de 200 [L]: grandes con 800 frutos, medianos con 1200 y pequeños con 3000. Los pepinillos salados sin madurar se los conserva en una solución de sal común al 10 % de concentración (40 °S) o más, con o sin especias. Los pepinillos se colocan en tanques especiales y se cubren con salmuera. Los tanques que se construyen, generalmente de madera de ciprés, de abeto o pino, deben ser limpiados cuidadosamente antes del uso.

El salado puede hacerse en seco, pero es más común hacerlo por medio de salmueras. En este último caso pueden emplearse dos diferentes métodos. En el primero método se llevan los pepinillos a un depósito parcialmente lleno de salmuera de 30 °S (8 % de cloruro de sodio). Se añade entonces sal en proporción de 9 [kg] por cada 100 [kg] de frutos, y a intervalos semanales se añadirá la cantidad de sal suficiente para elevar la concentración de la salmuera en 3 °S cada vez, hasta llegar a los 60 °S (15,9 % de sal). Por este método se da una rápida fermentación y curado, pero existe el peligro del desarrollo de bacterias perjudiciales, al mismo tiempo que los pepinillos no serán tan consistentes como cuando se emplea mayor cantidad de sal. En el segundo método, la salmuera inicial tiene 40 °S (10,6 % de sal) y una vez colocados los pepinillos en la misma se agrega sal en la proporción de 9 [kg] por cada 100 [kg] de líquido. A intervalos semanales se aumentan 2 °S en la concentración hasta llegar a los 50 °S y a partir de entonces se sigue incrementando de grado en grado hasta los 60 °S. De esta forma la fermentación y el curado son lentos, lo que

garantiza pepinillos más consistentes y evita daños microbianos, por lo que es preferible este procedimiento.

El agua empleada para la preparación de las salmueras no debe ser dura, la sal debe ser de buena calidad, conteniendo menos del 1 % de carbonatos o bicarbonatos de sodio, calcio o magnesio, ya que estas sales neutralizarían el ácido producido por las bacterias lácticas favoreciendo el desarrollo de las de tipo proteolítico. En algunos casos se pueden agregar iniciadores procedentes de tanques en fermentación activa y que contienen bacterias productoras del ácido deseado. Con los pepinillos es deseable dicha adición debido a que tienen menos cantidad de azúcar que las coles. Según LeFevre, puede agregarse azúcar en la proporción del 1 % para favorecer la fermentación, especialmente cuando los pepinillos tienen deficiencia de la misma. Una vez lleno el tanque habrá que regularse cuidadosamente el salado y la fermentación. Los pepinillos se mantendrán en todo momento bien cubiertos de salmuera, lo que se facilitará por el empleo de falsas tapas. Se comprobará diariamente la concentración de la salmuera para mantenerla uniforme en todo el depósito y se provocará una agitación forzada por medio de una bomba que lleve el líquido del fondo a la parte superior. La espuma formada en la superficie de la salmuera se separará periódicamente para evitar la destrucción de los ácidos formados por fermentación.

Los encurtidos con especias tienen un sabor y aroma muy finos como resultado de la maduración y de determinadas transformaciones bioquímicas llevadas a cabo por las bacterias durante la fermentación. El método de preparación de los encurtidos con especias difiere del de los pepinos salados en dos puntos esenciales: se emplea una salmuera débil y se añaden

especias; estas últimas no tienen ninguna influencia sobre la fermentación normal que dura de 3 a 6 meses.

8.6.4.2 Escabeches

El escabechado (Hernández-Briz, 1993), (Holdsworth, 1988), (Ostrovski, 1980) es un método de conservación de vegetales en vinagre natural o artificial. Los vegetales que se suelen escabechar son los pepinillos, tomates, cebollas, coles, coliflores, pimiento dulce, ají y otras más. Además de los vegetales frescos, se usan también salados con un proceso de elaboración similar. Al líquido de gobierno también se adiciona 5 o 6 % de sal y azúcar, e ingredientes aromatizantes como nuez moscada, pimienta dulce, canela, clavo de olor, laurel o eneldo (Gerhardt, 1975). Posteriormente, se lleva a ebullición de 10 a 15 [min]. Los vegetales escaldados se hierven en este líquido de gobierno por 10 [min] más, se envasan, se evacúan y se cierran. Se había indicado en el Capítulo 7 que la función de conservación la ejerce el ácido acético añadido al líquido de gobierno. Es necesaria una concentración de 1,2 a 1,8 % para impedir el proceso de fermentación. Sin embargo, una alta concentración de ácido acético generará un producto muy ácido y de poca demanda, mientras que los de baja acidez gozan de la predilección de los consumidores. Así, los débilmente ácidos (0,4 a 0,5 % de ácido acético) y ácidos (0,6 a 0,9 %) deben ser sometidos a tratamientos de pasteurización y se envasan en recipientes de vidrio con tapa de hojalata barnizada. De esta forma, durante la producción de escabeches pasteurizados y se complementan mutuamente la acidez y la temperatura para la conservación del producto.

Finalmente, indicaremos una posible clasificación de los encurtidos y escabeches:

I. Variantes con especias:

a) Variantes con especias y fermentados:

1. variantes con especias genuinas,
2. variantes Kosher genuinos con especias,
3. variantes con especias recién fermentados,
4. variantes Kosher con especias recién fermentados
5. variantes polacos con especias.

b) Sin fermentar (Escabechados):

1. pepinillos frescos o pasteurizados con especias,
2. pepinillos cuarteados con especias.

c) Salados con especias:

1. de verano con especias o de imitación,
2. imitación de tipo Kosher con especias,
3. con especias y pasteurizados,
4. tipo Kosher con especias pasteurizados.

II. Pepinillos ácidos:

a) Pepinillos ácidos (escabechados):

1. ácidos simples,
2. ácidos cortados o calentados.

b) Encurtidos ácidos:

1. sin especias,
2. calentados o con especias,
3. con salsa india.

c) Sazonados:

1. Chowchow (tipo chino, con piel de naranja, jengibre y mostaza).

III. Pepinillos dulces:

1. pepinillos dulces propiamente dichos,
2. encurtidos dulces,
3. pepinillos dulces cortados o sazonados.

Tratamiento térmico y no **térmico**



09

9.1 Consideraciones generales

Los alimentos, sobre todo antes de los tratamientos para conservación, y aún luego de ellos, están sujetos a deterioro. En muchos casos los cambios que ocurren no siempre destruyen al alimento; sin embargo, la apariencia, sabor y textura del producto pueden verse seriamente deteriorados. En general, se reconocen dos tipos de deterioro (Cruess, 2012), (Nickerson y Sinskey, 1978):

1. daño por microorganismos,
2. cambios producidos por agentes físicos o químicos

Los del primer tipo son los más importantes. Los componentes que constituyen los alimentos comienzan a alterarse, en cuanto los vegetales son cosechados o los animales son destapados, de una manera más o menos rápida. Como lo estableció Pasteur, la mayor parte de estas alteraciones se deben a microorganismos, los cuales toman de los alimentos los elementos nutritivos que ellos necesitan para desarrollarse y proliferar, y los descomponen. Se consideran como microorganismos a todos los seres vivos cuyas dimensiones son tales que no es posible su observación a simple vista, y son: los protozoos, las algas microscópicas, las bacterias, los mohos, las levaduras, los virus y bacteriófagos. En las industrias de alimentos, los microorganismos son relevantes por el daño que pueden causar, pero también por las utilidades tecnológicas que pueden surgir de sus acciones (Frazier, 2000), (Müller, 1981).

Los mohos son hongos inferiores constituidos por filamentos ramificados y entrecruzados que forman el micelio, el cual tapiza el medio sobre el que se desarrollan. De este micelio parten hifas alargadas que se elevan en el aire y llevan

en sus extremos los órganos de reproducción o esporangios. Se pueden identificar y clasificar por medio de las esporas, cuya formación y asociación son características. Los micelios tienen dimensiones variables, de 4 a 6 [µm] de ancho y su longitud de cerca de 1 [mm]. Los mohos tienen diversos colores: blanco, azul, negro o verde. Los géneros más usuales son los *Aspergillus*, *Penicillium*, *Oospora*, *Mucor*. Son aerobios con una temperatura de crecimiento muy variable, dependiendo de la especie. Los medios ácidos son más favorables para su desarrollo, por lo que atacan a frutas, legumbres ácidas y productos derivados. Se destruyen fácilmente por calentamiento a 70 - 80 [°C]. El ataque a los alimentos es generalmente superficial, pero comunican a los productos un gusto desagradable.

Por otra parte, las levaduras se presentan al microscopio en forma de corpúsculos redondeados u ovalados de 4 a 10 [µm] de diámetro. Carecen de clorofila como los mohos, se reproducen por gemación y pueden esporular. Los géneros más importantes son los *Saccharomyces*, los que se utilizan en la elaboración de pan y cerveza. Tanto la forma vegetativa como las esporas no son muy resistentes al calor. Su temperatura óptima de desarrollo está entre 25 y 30 [°C], pero para algunas especies es mucho más baja. Los medios azucarados y de reacción ácida son favorables para su crecimiento, por lo que abundan en las frutas. Producen fermentaciones como la alcohólica, durante la cual el azúcar es transformado en alcohol etílico y anhídrido carbónico.

Las bacterias, de la familia de los *Esquizomycetos*, son organismos unicelulares más pequeños que las levaduras, poseen núcleo difuso y se reproducen por división transversal celular. Carecen de clorofila al igual que los mohos y

levaduras, y aunque numerosas especies utilizan el CO_2 , este no sirve más que para realizar adiciones de grupos carboxílicos de forma diferente a la nutrición autótrofa de los vegetales verdes. Las bacterias se presentan bajo formas variadas: los *cocos*, esferas pequeñas de 1 a 2 μm ; los *bacilos*, son bastoncillos más o menos largos; los *vibriones*, son pequeños filamentos ondulados. Ciertos bacilos tienen la propiedad, en determinadas condiciones, de producir esporas que son las formas resistentes. Así, si una bacteria se encuentra en un medio desfavorable para su vida, genera esporas que permanecen latentes. Las esporas son más resistentes que las formas vegetativas al calor, a la desecación y a diversos medios adversos en general. No obstante, cuando se las coloca en condiciones favorables se convierten en forma vegetativa recuperando su actividad. Las esporas del género *Bacillus* se localizan hacia el centro del bastoncillo, en tanto que las del género *Clostridium* se ubican hacia el extremo.

Las formas vegetativas de las bacterias se destruyen por un breve calentamiento entre 80 y 100 $^{\circ}\text{C}$, pero las esporas resisten mucho más tiempo, por lo cual se las debe someter a temperaturas mayores si se quiere reducir el tiempo. Algunos tipos de bacterias muy peligrosas en los alimentos son: *Shigella*, *Salmonella* o *C. botulinum*, entre las más importantes. Particularmente, el *C. botulinum* produce la toxina E, que es altamente peligrosa, presentando una dosis letal 50 (LD_{50}) de 1 a 3 nanogramos de toxina por kilogramo de peso corporal (Horowitz, 2005).

Las esporas termorresistentes son los peores enemigos para la conservación de los alimentos, puesto que son los más difíciles de destruir. Unas son aerobias y otras anaerobias. Según la temperatura óptima de crecimiento se dividen en mesófilas, termófilas y criófilas. Viven mejor en medios neutros o poco ácidos (como legum-

bres, pescados o carne), con particular preferencia a medios ricos en materia nitrogenada (Leveau y Bouix, 2000).

Finalmente, los virus son los seres vivos más pequeños, su tamaño es solo de algunas decenas de micras, al igual que las grandes moléculas proteicas; incluso algunos se han obtenido en estado cristalino. No pueden reproducirse más que en presencia de células vivas del huésped y de forma específica; es decir, alimentándose de los ácidos nucleicos de ellas y destruyéndolas. Afortunadamente, mueren al calentamiento a temperaturas inferiores a 100 $^{\circ}\text{C}$ (Jay, 1978).

9.2 Factores que influyen en el desarrollo de los microorganismos

Existen diversos factores que influyen en el desarrollo de los microorganismos, tales como la composición del medio, la temperatura, la presión osmótica y humedad relativa, la acidez, pH y el contenido de oxígeno (Hayes, 1993), (Hersom y Hulland, 1981), (Jay, 1978), (Leveau y Bouix, 2000), (Müller, 1981), (Sharma et al., 2003):

9.2.1 Composición del medio

Los individuos carentes de clorofila toman energía por degradación de cuerpos de naturaleza orgánica. En este sentido, los mohos son los organismos menos exigentes en cuanto a requerimientos nutricionales, pues sus sistemas enzimáticos les permiten generar energía de fuentes muy variadas, desarrollándose con facilidad en condiciones altamente restrictivas. Las levaduras y bacterias saprófitas tienen mayores exigencias y no atacan sino a determinados sustratos, pues necesitan de ciertas sales minerales y de factores de crecimiento que permitan la formación de coenzimas. Las necesidades de estos factores y la especificidad de sustrato son

muy elevadas en el caso de bacterias patógenas, lo cual no deja de ser un hecho beneficioso, pues resulta cómodo combatirlas. Por ejemplo, en la práctica es difícil que bacterias patógenas se desarrollen sobre ciertos alimentos. Estas bacterias pueden estar presentes como resultado de una infección y quedar vivas en los productos. Adicionalmente, si se realiza una mala esterilización puede dejar bacterias patógenas sin competencia con otras y su desarrollo puede ser altamente peligroso.

9.2.2 Temperatura

La temperatura influye fuertemente sobre el crecimiento microbiano. A temperaturas algo inferiores a los 0 [°C] pueden crecer algunos mohos; mientras que ciertas levaduras y bacterias, como las *Pseudomonas*, pueden hacerlo a temperaturas ligeramente superiores a los 0 [°C], por lo que se llaman criófilos. La temperatura óptima de desarrollo está entre 10 y 20 [°C], y no se desarrollan cuando rebasa los 30 [°C]. Otros microorganismos, como los *Streptococcus* y *Bacillus*, se desarrollan mejor a temperaturas cercanas a 50 [°C] y su temperatura mínima está por encima de 40 [°C]; por lo que se los denomina termófilos. No obstante, algunos termófilos crecen incluso a temperaturas entre 70 y 80 [°C], como es el caso del *B. stearothermophilus*. La mayoría de los microorganismos son mesófilos, siendo su temperatura óptima de crecimiento cercana a 37 [°C]; tal es el caso de las bacterias patógenas que se desarrollan bien entre 20 y 40 [°C].

9.2.3 Presión osmótica y humedad relativa

El desarrollo de microorganismos también está influenciado por la humedad relativa del medio. En un medio concentrado, de baja humedad (una jalea o una mermelada), es muy difícil el

desarrollo de microorganismos, salvo los hongos si se presenta sinéresis en el alimento. La sensibilidad de los microorganismos a la humedad es variada; así, por encima de una HRE de 0,90 crecen hongos, levaduras y bacterias; entre 0,88 y 0,90, lo hacen solo hongos y levaduras; y entre 0,80 y 0,88, solo los hongos. Únicamente ciertas levaduras osmófilas se desarrollan entre HRE de 0,60 y 0,70.

9.2.4 pH

El pH tiene una influencia decisiva sobre el desarrollo de los microorganismos. Ciertos mohos, como los *Fusarium*, pueden desarrollarse a valores de pH comprendidos entre 1,8 y 11,2; sin embargo, el desarrollo de los mohos y las levaduras tiene lugar entre valores de pH comprendidos entre 3 y 7,5 y a veces incluso cerca de 2. Sólo ciertas bacterias pueden desarrollarse a pH superior a 8 o inferior a 5; entre las cuales se encuentran las bacterias lácticas como los *Lactobacillus* que se desarrollan a valores de pH comprendidos entre 3,5 y 4,5.

Entre las bacterias que generan esporas termorresistentes tenemos a los *Bacillus* y los *Clostridium*, los cuales no pueden desarrollarse normalmente a valores de pH inferior a 4,5. De esto se deduce que todo alimento cuyo pH sea inferior a dicho valor, puede esterilizarse a una temperatura inferior a 100 [°C]. En la Tabla 9.1 se presentan valores de pH referenciales de diversos alimentos.



Alimento	pH	Alimento	pH
Aceitunas	3,6 - 3,8	Lechuga	6,0
Albaricoques	3,7 - 3,8	Leche	6,5 - 6,7
Apio	5,7 - 6,0	Limones	1,8 - 2,6
Aves	6,4 - 6,6	Maíz	7,3
Berenjena	4,5	Maíz hervido	6,3 - 6,5
Brócoli	6,5	Manzanas	2,9 - 3,3
Calabacín	5,0 - 5,4	Melocotones	3,4 - 3,6
Calabaza	4,8 - 5,2	Melones	6,3 - 6,7
Carne	5,5 - 6,5	Naranjas (jugo)	3,2 - 4,3
Cebollas rojas	5,3 - 5,8	Nabos-coles	5,1 - 5,5
Cerezas	3,4 - 4,0	Ostras	6,2 - 6,5
Cerveza	4,1 - 4,3	Patatas y batatas	5,4 - 5,8
Chirivías	5,4	Perejil	5,7 - 6,0
Ciruelas y grosellas	2,9 - 4,3	Plátanos	4,5 - 4,7
Col ácida (chucrut)	3,5 - 4,0	Queso tipo Port-Salut	5,2 - 5,5
Col de Bruselas	6,3	Quesos duros	5,6 - 6,2
Col verde	5,4 - 6,0	Remolacha azucarera	4,2 - 4,4
Coliflor	5,6	Ruibarbo	3,1 - 3,4
Confituras diversas	2,8 - 3,6	Salmón y sardinas	6,2 - 6,4
Conservas en vinagre	3,0 - 3,3	Sandías	5,2 - 5,6
Espárragos	5,7 - 6,1	Tomates enteros	4,2 - 4,3
Espinacas	5,5 - 6,0	Toronja (jugo)	3,0
Fresas	3,3 - 3,4	Uvas	3,4 - 4,5
Guisantes	6,1 - 6,3	Vinagre	2,4 - 2,8

Higos	4,6	Vino	2,8 - 3,2
Judías (verdes y secas)	4,6 - 6,5	Yogurt y queso blando	4,0 - 4,5
Langosta	6,8 - 7,0	Zanahorias	4,9 - 5,2

Tabla 9.1 pH aproximado de diversos alimentos

Adaptado de: Hayes, G. D. (1992). Manual de Datos para Ingeniería de los Alimentos. España: Editorial Acribia, S.A.

Sin embargo, existen bacterias esporuladas fuertemente termorresistentes, en especial el *B. thermoacidurans* (o *B. coagulans*) que puede desarrollarse en jugos de tomate a pH ligeramente inferior a 4,5.

9.2.5 Oxígeno y otros

El oxígeno del aire es indispensable para el crecimiento de microorganismos tales como los hongos, algunas levaduras y ciertas bacterias. Así, algunas bacterias se desarrollan en presencia de pequeñas presiones de oxígeno (microaerobias), mientras que otras crecen en ausencia total de oxígeno (anaerobias). Los *Clostridium* son anaerobios o microaerobios y debido a la dificultad de destrucción de sus esporas, constituyen los agentes normales de alteración de las conservas a pH superior a 4,5, para las cuales el tratamiento térmico ha sido insuficiente. El desarrollo de los microorganismos es alterado por la acción de los antisépticos presentes naturalmente en los alimentos, como los aceites esenciales, o aquellos adicionados deliberadamente como el ácido benzoico, el ácido sórbico u otros. Para ciertos productos la estabilización se obtiene modificando moderadamente varios factores a la vez, como la disminución de pH, la elevación de la presión osmótica o la desecación, la adición de conservantes (muy poco re-

comendable) y eventualmente una disminución de la temperatura. De una forma general, tales tratamientos retrasan o impiden totalmente el desarrollo de los microorganismos, pero no logran destruirlos. También es imposible destruir una fracción importante de los microorganismos por congelación, incluso a temperaturas muy bajas. Uno de los métodos prácticos que permiten la realización de una pasteurización o una esterilización son los tratamientos térmicos, así como otros métodos basados en tratamientos no térmicos que se discutirán en este mismo capítulo.

9.3 Procesamiento térmico de alimentos

Sin duda, el área del conocimiento que caracteriza a la Ingeniería en Alimentos es el procesamiento térmico de alimentos. En esta área se estudia la relación matemática entre la temperatura y el tiempo necesarios para alcanzar la destrucción máxima de microorganismos y esporas, minimizando contemporáneamente la pérdida de nutrientes (Alvarado, 1996), (Alvarado, 2018).

El número de microorganismos, la variedad de nutrientes y la gran cantidad de relaciones temperatura-tiempo, brindan un amplio campo de estudio. Existen numerosas investigaciones que han aportado gran cantidad de información, a tal punto que este amplio desarrollo ha permitido que el procesamiento térmico se considere como una disciplina o ciencia (Alvarado, 2018).

9.3.1 Esterilización

La esterilización de alimentos es el proceso más importante en la industria de conservas. Esterilización es un término usado en forma cualitativa, pues los productos en conserva a menudo no son estériles en el sentido bioquímico, a causa de la presencia de microorganismos aerobios termorresistentes pero que no se desarrollan en el producto por las condiciones desfavorables. En la esterilización se busca la destrucción de los microorganismos que pudieran generar infecciones o intoxicaciones alimentarias (Cruess, 2012), (Leveau y Bouix, 2000), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965).

Según lo explicado previamente, es conveniente distinguir entre esterilización bioquímica y esterilización industrial. El primer término se refiere a una destrucción total de los microorganismos, con frecuencia usada más en el campo biológico que en el de alimentos. El segundo término se refiere a la reducción de microorganismos hasta un grado suficiente como para que el alimento sea inocuo al consumidor (Charley, 2012), (Cruess, 2012), (Leveau y Bouix, 2000).

Existen diversos tipos de esterilización industrial, siendo la más común la térmica, que consiste en llevar al producto a temperaturas determinadas durante cierto tiempo. Estas temperaturas son inferiores a 100 [°C] si se trata de Pasteurización, alrededor de 100 [°C] si es esterilización de productos ácidos y superiores

a esta temperatura para el resto de productos (Alvarado, 1996), (Alvarado, 2013), (Casp Vanaclocha y Abril Requena, 2003). Por otra parte, la refrigeración a temperaturas cercanas a 0 [°C], la congelación entre -10 y -30 [°C], la disminución del pH, la adición de sal o de azúcar o la deshidratación, no hacen sino frenar o impedir el desarrollo de los microorganismos ya presentes en el alimento, por lo que no pueden ser considerados como sistemas esterilizantes.

Otro tipo de esterilización es la *química*, con el empleo de agentes bactericidas como el ácido benzoico o el ácido sórbico, pero conllevan problemas para el consumidor, sobre todo en el caso del ácido benzoico, por lo que su uso ha sido prohibido o limitado. Productos altamente bactericidas como el cloro son ineficaces porque reaccionan con las materias orgánicas del alimento; por otro lado, el empleo de agentes bactericidas estables tales como los fenoles halogenados o los derivados del mercurio están prohibidos por su toxicidad. Estas consideraciones restringen altamente las posibilidades de esterilización química, por lo que se usan de forma muy limitada. Entre los antibióticos de mayor uso se tienen a la clorotetraciclina y la aureomicina para el tratamiento de carnes. Todas estas aplicaciones son poco importantes y no se ha encontrado un agente bactericida que permita la destrucción de todas las formas de microorganismos presentes y que se elimine por completo del alimento (Casp Vanaclocha y Abril Requena, 2003).

9.3.1.1 Destrucción térmica de los microorganismos

Cuando se lleva una suspensión de microorganismos a una temperatura letal, su destrucción se produce en función del tiempo, causando una disminución de la población microbiana que era

capaz de reproducirse en condiciones normales antes del tratamiento. Estas temperaturas letales dependen del microorganismo considerado y del medio, por ejemplo, para las formas vegetativas la destrucción importante comienza a sentirse cuando se ha superado la temperatura para la cual su desarrollo es posible. Para bacterias no resistentes al calor la disminución de la población se produce en forma sensible a partir de los 65 - 70 [°C]. Para esporas de *Bacillus* y especialmente de *Clostridium*, es necesario superar los 100 [°C] si se quiere obtener una destrucción adecuada (Casp Vanaclocha y Abril Requena, 2003).

La velocidad de destrucción de los microorganismos a determinada temperatura letal, varía en forma directa con el número de ellos presentes en cada tiempo, de acuerdo a una cinética de primer orden. Esto nos lleva a una relación exponencial logarítmica entre el número de microorganismos y el tiempo de tratamiento (Alvarado, 1996), (Alvarado, 2018), (Ibarz et al., 2000), (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965), (Loncin y Merson, 1979), (Teixeira, 2007).

$$\frac{dN}{d\theta} = -k \times N$$

que por integración se obtiene:

$$\ln \left(\frac{N}{N_0} \right) = -k \times \theta \quad (9.1)$$

Transformando el logaritmo neperiano en logaritmo base 10 se tiene:

$$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{k}{2,303} \times \theta$$

donde la razón N_0/N se denomina valor esterilizante de un proceso, θ es el tiempo y el cociente $2,303/k$ se conoce como tiempo de destrucción decimal (**TDD**) (Alvarado, 1996), (Alvarado, 2013), (Alvarado, 2018).

$$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{\theta}{TDD} \quad (9.2)$$

Ejemplo 9.1:

Con los datos de la siguiente tabla, encontrar de forma gráfica y analítica el **TDD** para el *C. botulinum*.

tiempo [s]	N [UFC/kg]	log N	N (regresión) [UFC/kg]	Resultados de la regresión	
0	$8,20 \times 10^6$	6,914	$1,04 \times 10^7$	Error Estándar	0,241
6	$3,60 \times 10^6$	6,556	$3,37 \times 10^6$	R ²	0,986
12	$7,30 \times 10^5$	5,863	$1,10 \times 10^6$	Observaciones	13
18	$2,90 \times 10^5$	5,462	$3,56 \times 10^5$	Grados de libertad	11
24	$8,95 \times 10^4$	4,952	$1,16 \times 10^5$		
30	$4,20 \times 10^4$	4,623	$3,77 \times 10^4$		
36	$1,50 \times 10^4$	4,176	$1,23 \times 10^4$	Constante	7,015
42	$7,00 \times 10^3$	3,845	$3,99 \times 10^3$	E.E. (Constante)	0,126
48	$3,00 \times 10^3$	3,477	$1,30 \times 10^3$	Coeficiente de X	-0,081
54	$7,40 \times 10^2$	2,869	$4,23 \times 10^2$	E.E. (Coeficiente)	0,003
60	$2,10 \times 10^2$	2,322	$1,38 \times 10^2$		
66	$2,50 \times 10^1$	1,398	$4,48 \times 10^1$		
72	5,00	0,699	$1,46 \times 10^1$	-1/X = TDD =	12,304 [s]

Tabla 9.2 Datos para la curva de destrucción térmica del *C. botulinum* a 121 [°C] en medio de pH = 7,0

En la Figura 9.1 se representa en un sistema de coordenadas semilogarítmico la curva de supervivencia o de destrucción térmica para el *C. botulinum* para los datos de la Tabla 9.2.

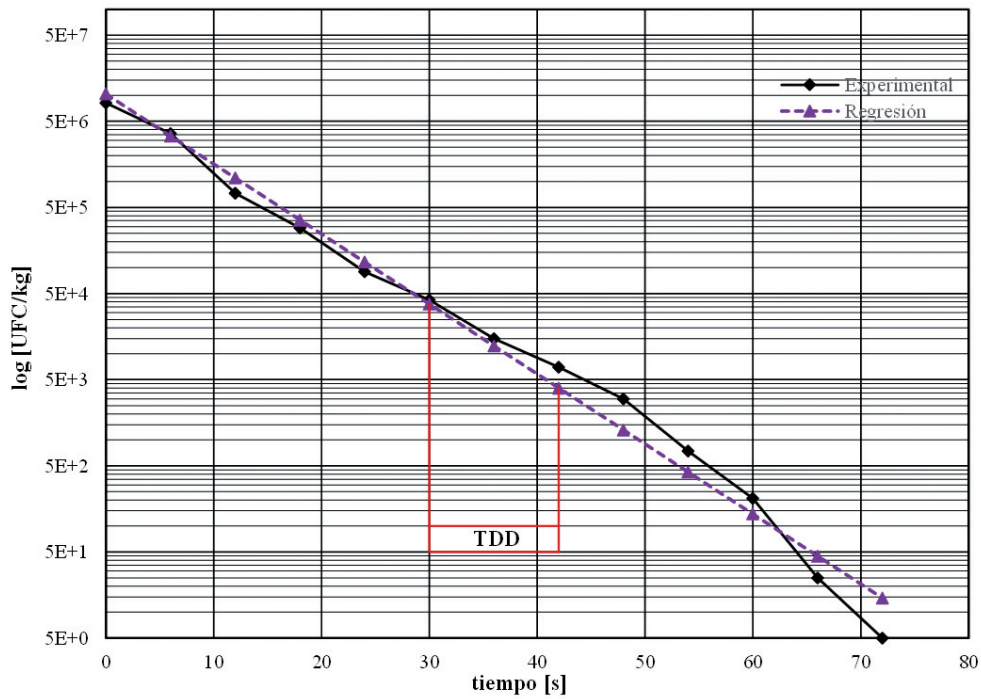


Figura 9.1 Curva semilogarítmica de la destrucción térmica para el *C. botulinum* a 121 [°C]

Como puede verse en la Figura 9.1, el tiempo transcurrido para que la población se reduzca a la décima parte de su valor anterior es cada vez

el mismo, siendo fijo para determinada temperatura y medio, y se llama tiempo de destrucción decimal **TDD** (Tabla 9.3).

Microorganismo	TDDr [min]	z [°C]
<i>Bacillus coagulans</i> o <i>Bacillus thermoacidurans</i> a pH 4,0 - 4,5	0,01 - 0,07	10
<i>Bacillus stearothermophilus</i> (FS 1518)	4 - 5	9,5 - 10
<i>Bacillus subtilis</i>	≅ 0,4	6,5
<i>Clostridium botulinum</i> (Tipos A y B)	0,1 - 0,3	8 - 11
<i>Clostridium nigrificans</i>	2 - 3	--
<i>Clostridium pasteurianum</i> a 100 [°C]	0,1 - 0,5	8
<i>Clostridium sporogenes</i> (PA 3679)	0,8 - 1,5	9 - 11
<i>Clostridium thermosaccharolyticum</i>	3 - 4	7 - 10,5

Tabla 9.3 Valores de TDDr y z para las esporas de diferentes microorganismos
Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

El tiempo de destrucción térmica (**TDT**) o valor **F** de un microorganismo específico, es el producto del valor esterilizante (**N₀/N**) por el **TDD** a una temperatura de referencia. Si se usa un factor de nueve veces el **TDD** se denomina 'tiempo de destrucción novedecimal' (Loncin y Carballo Caabeiro, 1965). En alimentos procesados que eventualmente se pueden almacenar en lugares secos, se ha establecido un tratamiento térmico mínimo de doce veces el **TDD** (Tabla

9.4); aunque con otros microorganismos no patógenos más resistentes al calor, que también se consideran para el cálculo, el tratamiento térmico que se aplica es de cinco veces el **TDD**. De esta manera, **F** es el tiempo necesario de calentamiento para destruir las unidades resistentes de un microorganismo de interés a una determinada temperatura para alcanzar el grado deseado de esterilización (Alvarado, 1996), (Alvarado, 2013), (Alvarado, 2018).

Microorganismo	pH mín. para crecimiento	Límites de temperatura [°C]	Necesidades de oxígeno	F (12TDD) a 121 [°C] y pH 7,0	Propiedades especiales
<i>B. stearothermophilus</i>	6,0	3 - 70	Facultativo	48 - 60	Fermentación simple
<i>B. coagulans</i> (<i>B. thermoacidurans</i>)	4,0	8 - 60	Facultativo	0,85	Fermentación simple
<i>B. subtilis</i>	5,5	28 - 55	Aeróbico	--	--
<i>B. brevis</i>	6,0	28 - 55	Aeróbico	--	Puede utilizar O ₂ y produce gas
<i>B. circulans</i>	4,8	28 - 55	Facultativo	--	--
<i>B. pumilus</i>	5,5	28 - 50	Aeróbico	--	--
<i>B. polymyxa</i>	5,5	20 - 35	Facultativo	2,4 - 8,4	Ácido y gas
<i>B. macerans</i>	3,8	28 - 40	Facultativo	2,4 - 8,4	Produce ácido y gas
<i>B. cereus</i>	5,5	28 - 45	Facultativo	--	Puede utilizar O ₂ ligado y producir gas
<i>B. sphaericus</i>	6,0	28 - 45	Aeróbico	--	--
<i>C. botulinum</i> (tipo A)	4,8	2,8 - 40,6	Aeróbico	2,5	Toxinas en los alimentos, produce gas
<i>C. botulinum</i> (tipo E)	4,8	3,3 - 30	Anaeróbico	6 [min] a 82,2 [°C]	Toxina en los alimentos, produce gas
<i>C. thermosaccharolyticum</i>	4,0	30 - 62,8	Anaeróbico	36 - 48	Ácido y gas
<i>C. nigrificans</i>	6,0	0 - 70	Anaeróbico	24 - 36	SH ₂ de proteínas, ácido y gas
<i>C. butyricum</i>	4,0	30 - 45	Anaeróbico	--	Ácido y gas
<i>C. bifermentans</i>	5,5	30 - 50	Anaeróbico	--	SH ₂ , ácido y gas
<i>C. putrefaciens</i>	6,0	0 - 30	Anaeróbico	--	Algo de SH ₂ , ácido y gas
<i>C. pasteurianum</i>	3,6	20 - 40	Anaeróbico	2,7	Produce gas
<i>C. perfringens</i>	5,7	20 - 50	Anaeróbico	--	Ácido y gas
<i>C. sporogenes</i>	6,0	20 - 50	Anaeróbico	0,1 - 1,5	Gas

Tabla 9.4 Propiedades de algunas bacterias esporuladas que causan alteraciones en alimentos enlatados
Adaptado de: Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.

La curva **TDT** o de termodestrucción permite evaluar la termoresistencia de un microorganismo a cualquier temperatura. Esta curva se obtiene al graficar en el eje de las ordenadas el logaritmo del valor **F** contra la temperatura correspondiente (sistema de coordenadas semi-logarítmico). El gráfico resultante es una recta cuya pendiente es igual a $(-1/z)$ e indica la termodependencia de las reacciones que conducen a su destrucción. Entonces, se define el valor **z**, o constante de resistencia térmica, como el incremento de temperatura en grados Celcius o Fahrenheit necesario para reducir en diez veces el **TDD**. El parámetro **z** es fundamental en el estudio de la inactivación de microorganismos por calor (Alvarado, 1996), (Alvarado, 2013), (Alvarado, 2018). En la Tabla 9.3 se presentan valores de la constante de resistencia térmica para diversos microorganismos. Por otra parte, la curva **TDT** brinda una idea global del proceso térmico al que se debe someter un alimento manteniendo constante la temperatura. No obstante, esta situación teórica no ocurre en condiciones reales de trabajo (Alvarado, 2018).

Además de los microorganismos, también el medio es importante en la duración de la esterilización, y es así como el pH del alimento también influye en su desarrollo. En general, los productos de pH bajo son los más fáciles de esterilizar, hecho que se ha demostrado en la práctica. Se ha comprobado que la resistencia de las bacterias es máxima al tratamiento térmico en un rango de pH entre 6 y 7, y que dicha resistencia desciende significativamente cuando el medio es más ácido o más alcalino. Disminuyendo el pH del medio por debajo de 4, puede, en la mayoría de los casos, esterilizarse el producto a 100 [°C] o menos. Para reducir el pH se usan ácidos orgánicos como el cítrico, el acético u otros. Este valor propuesto cambia de unos autores a otros.

Ejemplo 9.2:

Calcular el **TDD** a 121 [°C] para el *B. stearothermophilus*, si a esta temperatura se realizaron las siguientes pruebas:

N₀ [UFC/kg]	N [UFC/kg]	θ [min]	TDD [min]
50000	200	16,3	0,1471
600000	0,3	42,9	0,1469
4000	0,7	25,3	0,1485

$$\text{TDD} = \frac{1}{\theta} \times \log \left(\frac{N_0}{N} \right) \quad \text{TDD}_{\text{promedio}} = 0,1475 \text{ [min]}$$

9.3.1.2 Penetración de calor en alimentos envasados

Los cambios de la temperatura afectan fuertemente la destrucción térmica de los microorganismos y como la temperatura no es constante durante todo el proceso de esterilización, su variación con el tiempo y particularmente con el **TDD**, permiten calcular el tiempo total de esterilización. No se debe despreciar la influencia letal del calor en los períodos de calentamiento y enfriamiento, especialmente en el primero (y no nos referimos al calentamiento del autoclave sino del producto mismo), que constituirá la parte determinante en muchos de los procesos (Barbosa-Cánovas, Ma y Barletta, 2000). Para cada producto envasado es necesario determinar con relativa precisión cómo varía la temperatura con el tiempo de calentamiento, tabulando los resultados o graficándolos, obteniéndose de esta manera la llamada *curva de penetración de calor* (Barbosa-Cánovas et al., 2000), (Ibarz et al., 2000), (Sharma et al., 2003).

Es indispensable conocer la penetración del calor en un alimento para poder calcular el tratamiento térmico necesario para conservarlo. Se sabe que todas las porciones de un alimento enlatado deben someterse a un tratamiento térmico eficaz para evitar su alteración, la porción más lenta en calentarse es la denominada porción crítica o '*punto frío*', por lo que se debe determinar la velocidad de variación de temperatura en aquella zona. El punto frío se ubica generalmente en el eje geométrico del envase y no siempre en el centro del mismo sino algo más abajo, pues el calentamiento, sobre todo en el espacio de cabeza, es siempre más rápido (Ibarz et al., 2000), (Teixeira, 2007).

Cuando se esteriliza un frasco o lata de conserva, el calor transmitido por el agua o por el vapor de agua penetra a través de las paredes

y progresivamente llega al punto frío. La velocidad de penetración de calor desde donde se produce hasta el centro del envase se propaga en estos casos por 1) conducción: de molécula a molécula desde el exterior al interior del envase, por sus paredes y luego por las partes sólidas del alimento; 2) convección: originada por el movimiento que el calentamiento induce en el líquido de gobierno por las modificaciones de densidad o por combinación de ambas, que es la más frecuente. En los alimentos la conducción es lenta y rápida en los metales. En la convección la velocidad de transferencia de calor depende de la posibilidad de formar corrientes en el líquido y de la velocidad de flujo de dichas corrientes. Los productos pastosos o semisólidos requerirán mayor tiempo que los alimentos fluidos para ser esterilizados, pues en general las sustancias alimenticias son malos conductores del calor y en cambio los líquidos son buenos convectores (Ibarz et al., 2000).

En el calentamiento de los alimentos la conducción y convección pueden actuar simultáneamente, o una después de la otra. En los enlatados, lo que generalmente sucede es que el líquido de gobierno se calienta por convección, mientras que las porciones sólidas lo hacen por conducción. Algunos alimentos cambian su consistencia durante el calentamiento originando curvas de penetración de calor '*quebradas*'. Esto se presenta en los granos de maíz enteros envasados en salmuera, jarabes de azúcar, zumo de tomate y ciertas sopas espesas.

9.3.1.3 Influencia de la temperatura

Si al iniciar la esterilización el alimento adquiriera instantáneamente la temperatura del autoclave, el proceso duraría unos pocos minutos, por muy resistentes que fueren los microorganismos. Sin embargo, como la temperatura

del envase varía paulatinamente, la destrucción térmica es mínima en un comienzo y se incrementa conforme aumenta la temperatura. En la zona de temperaturas letales, todo incremento de temperatura permite disminuir el tiempo necesario para la destrucción de los microorganismos y las esporas. En otras palabras, la variación del **TDD** en función de la temperatura es directamente proporcional al valor actual de la temperatura en cuestión:

$$\frac{d(\text{TDD})}{dt} = -k \times (\text{TDD})$$

$$\ln\left(\frac{\text{TDD}}{\text{TDD}_r}\right) = -k \times (t - t_r) \quad (9.3)$$

$$\log\left(\frac{\text{TDD}}{\text{TDD}_r}\right) = \frac{k}{2,303} \times (t_r - t)$$

$$\frac{k}{2,303} = \frac{1}{z}$$

$$\log\left(\frac{\text{TDD}}{\text{TDD}_r}\right) = \frac{(t_r - t)}{z} \quad 9.4)$$

donde t_r es la temperatura de referencia, que comúnmente es 121,1 [°C].

Se puede demostrar que para conseguir una reducción del **TDD** a la décima parte, sin importar el punto de partida, se necesita siempre una elevación igual de la temperatura. El valor **z** en el caso de las esporas de *Bacillus* y de *Clostridium* es aproximadamente igual a 10 [°C]. No obstante, **z** varía de forma sustancial: en las formas vegetativas no esporuladas es alrededor de 5 [°C] y en las enzimas cambia entre amplios límites, desde 5 hasta 40 [°C].

Ejemplo 9.3:

El **TDD** del *C. pasteurianum* en determinado medio varía con la temperatura en la forma que se detalla en la Tabla 9.5. Calcular el valor de **z** en °F.

TDD [s]	T [°F]	log TDD	$t_r - t$	Resultados de la regresión	
30	250	1,477	0	Error Estándar	0,004
39	248	1,591	2	R ²	0,999
56	245	1,748	5	Observaciones	6
108	240	2,033	10	Grados de Libertad	4
180	236	2,255	14	Constante	15,368

232	234	2,365	16	E.E. (Constante)	0,060
				Coeficiente de X	0,056
				E.E. (Coeficiente)	0,0002
				z = -1/X =	17,997 [°F]

Tabla 9.5 Datos para la curva de destrucción térmica del *C. pasteurianum*.

Ejemplo 9.4:

Para cierto producto enlatado la temperatura cambia con el tiempo según la siguiente expresión:

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{K \times A \times (T_a - T)}{m \times C_p}$$

T_1 = temperatura inicial del producto = 343 [K]

T_2 = temperatura final del producto = 388 [K]

T_a = temperatura del autoclave = 393 [K]

θ = tiempo de esterilización

K = coef. conductividad térmica = 0,058 [kJ/s.m²]

A = área de transferencia = 0,045 [m²]

C_p = calor específico del producto = 3,558 [kJ/kg.K]

m = masa del producto = 1 [kg]

¿En qué tiempo se alcanzarán los 115 [°C]?

$$\frac{dT}{T_a - T} = \frac{K \times A \times d\theta}{m \times C_p}$$

$$\ln \left(\frac{T_a - T_1}{T_a - T_2} \right) = \frac{K \times A \times \theta}{m \times C_p}$$

$$\theta = \frac{m \times C_p}{K \times A} \times \ln \left(\frac{T_a - T_1}{T_a - T_2} \right)$$

$$\theta = 3131,5 \text{ [s]} = 0,87 \text{ [h]}$$

Ejemplo 9.5:

Obtener las curvas de penetración de calor y de letalidad, así como el tiempo de esterilización según los datos siguientes:

Microorganismo: *B. stearothermophilus*

Producto: Hojas de espinacas en latas de 1 [kg]

TDD = 1 [min]

z = 11 [°C]

Temp. del autoclave = 115 [°C]



Temperatura [°C]	θ [min]	TDD [min]	1/TDD [1/min]	θ/TDD
65	0	123284,67	$8,11 \times 10^{-6}$	$6,49 \times 10^{-5}$
70	8	43287,61	$2,31 \times 10^{-5}$	$1,85 \times 10^{-4}$
80	15	5336,70	$1,87 \times 10^{-4}$	$1,31 \times 10^{-3}$
88	20	1000,00	$1,00 \times 10^{-3}$	$5,00 \times 10^{-3}$
90	23	657,93	$1,52 \times 10^{-3}$	$4,56 \times 10^{-3}$
95	27	231,01	$4,33 \times 10^{-3}$	$1,73 \times 10^{-2}$
100	32	81,11	$1,23 \times 10^{-2}$	$6,16 \times 10^{-2}$
104	40	35,11	$2,85 \times 10^{-2}$	$2,28 \times 10^{-1}$
107	50	18,74	$5,34 \times 10^{-2}$	$5,34 \times 10^{-1}$
110	56	10,00	$1,00 \times 10^{-1}$	$6,00 \times 10^{-1}$
112	60	6,58	$1,52 \times 10^{-1}$	$6,08 \times 10^{-1}$
113	65	5,34	$1,87 \times 10^{-1}$	$9,37 \times 10^{-1}$
114	75	4,33	$2,31 \times 10^{-1}$	2,31
114	91	4,33	$2,31 \times 10^{-1}$	3,69

Tabla 9.6 Datos de penetración de calor y de letalidad para el *B. stearothermophilus*

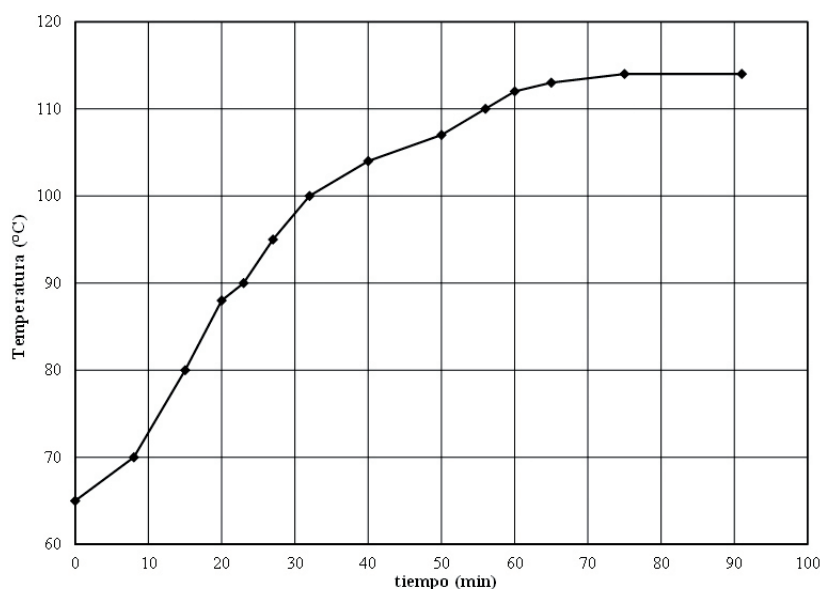


Figura 9.2 Curva de Penetración de calor para el *B. stearothermophilus* en hojas de espinaca.

Así, en la Figura 9.2 queda graficada la curva de penetración de calor y más adelante se concluirá el problema con la curva de letalidad.

9.3.1.4 Factores que influyen en la penetración de calor

La posición del punto frío y la velocidad de penetración del calor se ven influenciados por el llenado de los envases y las propiedades físicas del producto, tales como viscosidad, densidad, capacidad calorífica, etc.; así como características del envase: espesor y conductividad térmica. Los factores que influyen en el tiempo necesario para incrementar la temperatura del punto frío en el envase a la temperatura de esterilización, son los siguientes (Al-Baali y Farid, 2007), (Cruess, 2012), (Nickerson y Sinskey, 1978), (Richardson, 2001):

Dimensiones del envase: constituyen un factor primordial, pues mientras más grande es un envase, se requiere más tiempo de esterilización y la temperatura deseada se incrementa más lentamente para que el punto frío alcance la temperatura de esterilización. Esto se debe a la mayor la distancia que existe hasta el centro del envase y la menor superficie por peso o volumen. Cabe también indicar que, a igualdad de volumen, dos envases de distinto formato van a requerir tiempos diferentes de esterilización, debido a que cambia la relación entre superficie y volumen. La forma del envase determina la longitud del radio: un recipiente delgado y alto se calentará en un tiempo menor que uno ancho y bajo del mismo volumen.

Material del envase: el recipiente debe ser calentado antes de que el calor penetre a su interior, por ejemplo, la velocidad de penetración de

calor es más lenta en los envases de vidrio que en los de hojalata. El tiempo necesario para la penetración de calor es más del doble en un recipiente de vidrio normal que en uno de hojalata.

Temperatura inicial del alimento: cuando un alimento se lleva al autoclave prácticamente no modifica el tiempo requerido por el centro del envase para alcanzar la temperatura del autoclave, debido a que un alimento con una temperatura inicial baja se calienta de manera más rápida que el mismo alimento a una mayor temperatura inicial. No obstante, un alimento que posee una temperatura inicial alta permanecerá más tiempo en el intervalo de temperaturas letales para microorganismos, siendo la temperatura media durante el calentamiento más elevada que en el recipiente de menor temperatura inicial. En conservas de consistencia pastosa que se calientan lentamente, como la crema de maíz, calabazas y carne, es importante que la temperatura inicial sea alta, de lo contrario el tiempo se extenderá considerablemente; además no se pretende jamás llegar a la temperatura del autoclave, pero se la debe regular de tal forma que se alcance la necesaria en el producto en un tiempo razonable.

Temperatura del autoclave: envases de alimentos iguales presentes en autoclaves a diferente temperatura, llegan a las temperaturas respectivas casi en el mismo tiempo. Sin embargo, el calentamiento en un menor tiempo se lleva a cabo en el autoclave más caliente, con lo que el alimento alcanza las temperaturas letales de manera más rápida.

Consistencia del producto, forma y tamaño de las porciones del alimento: son muy importantes cuando se estudia la penetración del calor. El tamaño y tipo de las porciones y sus transformaciones durante el calentamiento, establece su división en tres tipos:

1. *Porciones que conservan su naturaleza primitiva:* es decir, las que previamente no son cocidas, por ejemplo, los guisantes, remolachas, espárragos, granos enteros de maíz y ciruelas. Cuando las porciones son pequeñas y envasadas en salmuera, como sucede con los guisantes, el modelo de calentamiento es como si fuese agua. Si las porciones son mayores, el calentamiento se retarda porque el calor debe alcanzar el centro de las mismas antes de que el líquido de cobertura alcance la temperatura del autoclave.

2. *Piezas que se cuecen previamente y se tornan pastosas o viscosas:* su calentamiento es lento porque la penetración del calor se realiza por conducción en lugar de convección. Se presenta principalmente en la crema de maíz, calabazas y camotes.

3. *Piezas situadas en capas:* los espárragos se envasan formando capas verticales, por ello las corrientes convectivas se originan de abajo hacia arriba. Las espinacas al envasarlas forman capas horizontales, generando lo que se conoce como 'efecto de obstrucción laminar' que limita las corrientes de convección. La formación de capas o estratos se ve influida por el grado de llenado del envase.

La consistencia del contenido de la lata está relacionada inversamente con la penetración del calor; por consiguiente, las sales y azúcares disueltos en el producto disminuyen la velocidad de penetración de calor. El ejemplo más considerable se observa en salsas o purés; así, la salsa de tomate que se añade a las alubias cocidas disminuye la penetración del calor más que si se envasaran en su propio jugo. Análogamente, el almidón provoca una interferencia que aumenta cuando se trabaja con concentraciones del 2 al 6 %, pero desde esta concentración en adelante tiene poco efecto adicional. Algo similar se

observa en soluciones de gelatina o pectina. El cloruro de sodio nunca se adiciona en cantidades suficientes como para ejercer un efecto tangible en la velocidad de calentamiento. El aumento de los porcentajes de azúcar se refleja en un retraso en la velocidad de penetración del calor; pero en parte, tal efecto se contrarresta por una marcada caída de la viscosidad de estas soluciones (incluso las muy concentradas) al aumentar la temperatura.

Rotación y agitación: la rotación y agitación del alimento contenido en el envase durante la esterilización aumenta la penetración del calor si el alimento es completamente fluido, pero en ciertos alimentos puede originar cambios físicos perjudiciales. En el tratamiento térmico de los alimentos que permite una libre circulación de las corrientes de convección y que están constituidos por partículas pequeñas (como los guisantes), tiene poca influencia la agitación o rotación, pero es de gran utilidad en alimentos que forman estratos, como espinacas, tomates y melocotones segmentados en mitades. En las plantas conserveras con equipos modestos no es posible voltear las latas y en otras esta rotación no se logra a un ritmo mayor de 10 a 12 [rpm]; mientras que en equipos modernos se consigue velocidades mayores al rotar los recipientes colocados extremo contra extremo. En la leche evaporada enlatada la rotación se

usa con gran éxito al igual que la agitación en alimentos con consistencia de pasta o puré. Algo nuevo en el procesamiento para el maíz en grano salado consiste en someterlo a cocción continua en un líquido a temperatura de ebullición elevada, mezclándose el contenido de las latas mediante rotación en ruedas o tambores giratorios.

El proceso de refrigeración se fundamenta en los mismos principios de transferencia de calor usados para la esterilización. Es recomendable un enfriamiento rápido, ya que un enfriamiento demasiado lento puede originar sobrecocción del alimento y provocar el crecimiento de los microorganismos termófilos con el consiguiente deterioro del producto.

9.3.1.5 Curva de razón letal y tiempo de esterilización

Al graficar las variaciones del inverso del **TDD** como función de las temperaturas que causan letalidad sobre el microorganismo, se obtiene una nueva función que se conoce como curva de razón letal (Figura 9.3) (Alvarado, 2018), (Teixeira, 2007), (Toledo, 2007). El tiempo para que su área sea igual al exponente decimal letal, por ejemplo 9 (novedecimal), será el tiempo de esterilización. Con esta curva se puede concluir el Ejemplo 9.5:

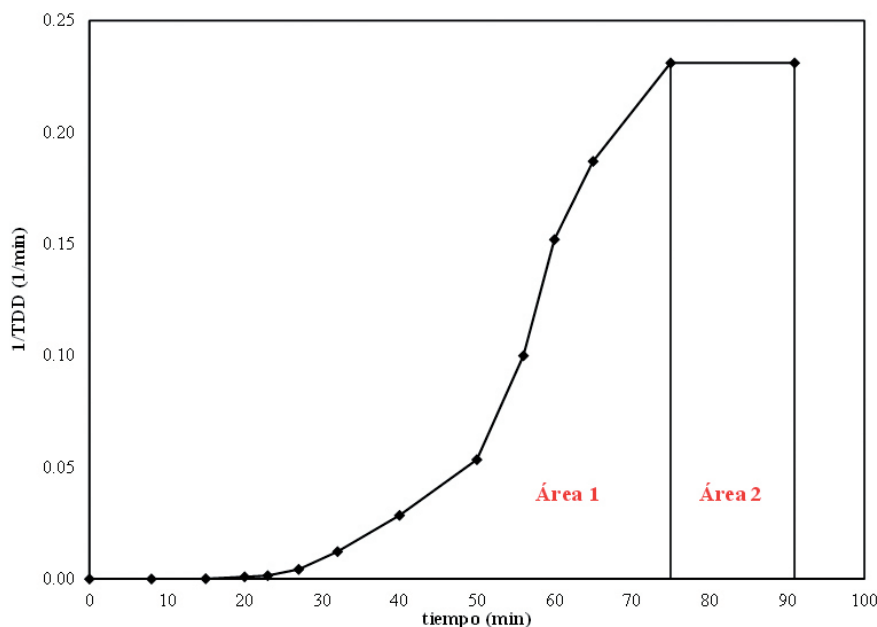


Figura 9.3 Curva de razón letal para el *B. stearothermophilus* en espinacas

área 1 = 5,31

área 2 = 3,69

$\theta_{\text{extra}} = 15,99$ [min]

$\theta_{\text{proceso}} = 90,99$ [min]

9.3.1.6 Esterilizadores o autoclaves

La esterilización por medio del calor se puede efectuar colocando el material a esterilizar en:

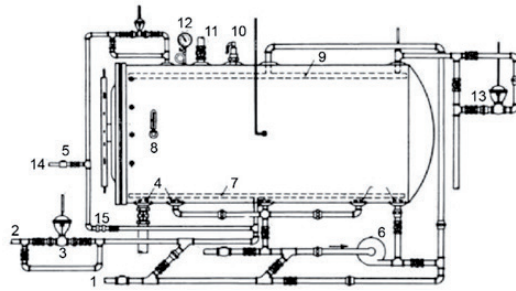
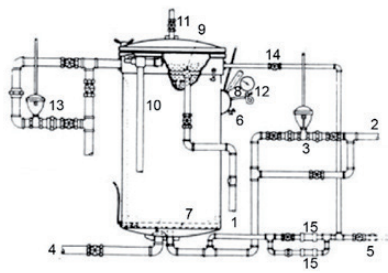
1. una estufa de aire caliente (poco usado en alimentos);
2. líquidos a ebullición a presión ambiental;
3. recipientes cerrados llamados autoclaves, en los cuales se introduce vapor de agua para calentamiento directo o para calentar el agua en ellos contenida.

La esterilización en líquidos a ebullición a presión ambiental se conoce como baño María y puede usarse cuando se quieren obtener temperaturas no superiores a 100 [°C], a menos que se empleen soluciones especiales o aceite. Lógicamente, se sumergirán los recipientes a esterilizar en el líquido que constituye el baño María. Comúnmente este método sirve para esterilizar los recipientes vacíos cuando no se da un tratamiento posterior, por ejemplo, en el envasado de mermeladas en frascos de vidrio. No obstante, el método más general es la esterilización en autoclave a presión mayor que la ambiental; sabiendo que para los lugares que están situados por encima del nivel del mar, para obtener los 100 [°C] es necesario trabajar con sobrepresión. Cuanto mayor sea la presión en el equipo, mayor será la temperatura de procesamiento. Los esterilizadores se dividen en equipos discontinuos y continuos (Teixeira, 2007), (Toledo, 2007).

9.3.1.7 Esterilizadores discontinuos

Los equipos discontinuos sin agitación son ampliamente utilizados, especialmente en pequeñas industrias o para la didáctica de conservas vegetales. A nivel industrial estos equipos requieren gran cantidad de mano de obra. Pueden albergar envases de tamaños diferentes y son adecuados para clases de procesos diversos, no obstante, los consumos de agua y de vapor son elevados con respecto a los equipos continuos. Los de tipo vertical o de carga superior, requieren menos espacio que los horizontales o de carga lateral, aunque estos últimos son más convenientes para la carga y descarga de los materiales (Al-Baali y Farid, 2007). Estos equipos, horizontales o verticales, poseen los siguientes aditamentos (Figura 9.4): tubería de agua (1), tubería de suministro de vapor (2), control de temperatura (3), tubería de drenaje (4), válvula de retención (5), válvulas de purgado (6), distribuidor de vapor (7), termómetro (8), rociador de agua (9), válvula de seguridad (10), válvula de purgado de aire (11), manómetro (12), controlador de presión (13), tubería de aire (14) y válvulas de orificio de flujo constante que se usan durante la subida inicial de temperatura y durante la esterilización (15).

En los esterilizadores verticales los envases a esterilizar se colocan en cestos que se introducen a mano con la ayuda de montacargas o tecles. En los autoclaves horizontales los envases entran y salen del equipo por medio de vagones de paredes perforadas, transportados por rieles y generalmente se diseñan para procesar mayores cantidades de producto que los verticales. Posteriormente, se les ajusta la tapa y se procede a suministrar el vapor. La forma de introducir el vapor a los equipos es muy variada, pero en todo caso, el equipo debe disponer de una válvula de purga para que conforme ingrese el vapor se elimine el aire del equipo, tal eliminación quedará garantizada cuando habiendo el manómetro alcanzado la presión de trabajo, el termómetro nos indique la temperatura correspondiente a esa presión de vapor de agua. Comúnmente se tienen tablas de presión absoluta en función de la temperatura, por lo que habrá que convertir la presión manométrica leída al valor absoluto sumándole la presión ambiental exterior (Tabla 9.7) (Potter y Hotchkiss, 1999).



Autoclave de carga vertical



Autoclave de carga horizontal

Figura 9.4 Autoclaves discontinuas de carga vertical y horizontal

Adaptado de: Al-Baali, A. A. G.; Farid, M. M. (2007). *Sterilization of Food in Retort Pouches*. USA: Springer Science & Business Media.

Una vez que se ha purgado todo el aire, se cerrará la válvula de purga (que a veces es también un purgador de incondensables durante el proceso) y se seguirá introduciendo vapor hasta alcanzar la presión de operación; el pro-

ceso debe ser controlado por un manómetro y un termómetro. El inicio de la esterilización se considera cuando el autoclave ha alcanzado la temperatura de trabajo.

Temperatura [°C]	Presión [kg/cm ²]
50	0,1257
90	0,7149
95	0,8619
100	1,0332

105	1,2318
110	1,4609
115	1,7239
120	2,0245
125	2,3666
130	2,7544
160	6,3030

Tabla 9.7 Presión vs. temperatura para el vapor de agua saturado

Adaptado de: Hayes, G. D. (1992). *Manual de Datos para Ingeniería de los Alimentos*.

España: Editorial Acirbia, S.A.

Wagner, W.; Kretschmar, H.-J. (2008). *International Steam Tables*. German: Springer-Verlag.

Al final de la operación, si el enfriamiento se realiza fuera del autoclave, se corta la entrada de vapor, se purga el autoclave, se abre la tapa y se extraen las cestas de envases, sumergiéndolas en agua corriente clorada o potable. Otra forma de realizarlo es cortar la entrada de vapor e inmediatamente inyectar agua fría en su interior por boquillas que permitan un riego homogéneo sobre los envases, y para evitar que la presión caiga bruscamente y se deterioren los recipientes, simultáneamente se introduce aire a presión. Cuando los envases estén fríos, se reduce la presión, se abre el autoclave y se extrae la cesta.

Existen igualmente autoclaves discontinuos rotatorios; el sistema más corriente está constituido por un cilindro de eje horizontal que lleva un orificio de carga sobre la superficie cilíndrica; la alimentación del vapor y la salida del agua de condensación se realizan por el eje hueco; la finalidad de estos aparatos es la de permitir un calentamiento y un enfriamiento más rápidos (Al-Baali y Farid, 2007), (Potter y Hotchkiss, 1999).

9.3.1.8 Esterilizadores continuos

Los principales tipos de esterilizadores continuos son (Cheftel, Cheftel, et al., 1989):

1. el Calentador-Enfriador;
2. el Rotatorio continuo;
3. el Hidrostático.

El Calentador-enfriador a presión (*spin cooker* *spin cooler*) es un esterilizador con agitación. Por medio de transportadores de rodillos o cadenas, los envases pasan a través de las secciones de precalentamiento, esterilización y enfriamiento. El movimiento de los envases entre las diversas secciones, que están a distinta presión, se realiza por medio de esclusas de presión.

En los esterilizadores rotatorios (Figura 9.5) los envases se desplazan por un canal helicoidal fijado a las paredes internas de cada cilindro. Los resaltes existentes en la periferia de un tambor hueco que se mueve lentamente desplazan los envases alrededor y a lo largo de los cilindros. Las esclusas de

presión realizan la transmisión de los envases. La agitación tiene lugar por una combinación de acciones de giro y resbalamiento a medida que los envases pasan alrededor del helicoide.

Estos esterilizadores ofrecen buena capacidad de procesamiento, de hasta 300 latas por minuto, y

proporcionan buena uniformidad durante el proceso, siempre que se controlen la viscosidad del producto y el espacio de cabeza. Un inconveniente serio es que se produzcan averías, sobre todo en las esclusas de presión, y otro es que existan grandes esfuerzos de presión y enfriamiento súbito.

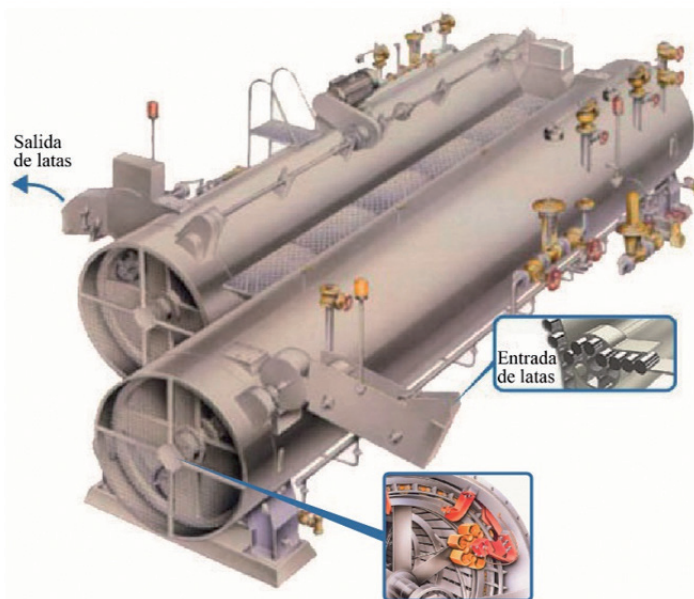


Figura 9.5 Autoclave rotatorio continuo

Adaptado de: Teixeira, A. (2007). Thermal Processing of Canned Foods. In *Handbook of Food Engineering*. (Second Edition). Heldman, D. R.; Lund, D. B., Editors. CRC Press; pp. 745-797. Continuous Retorts Ltd., <http://continuousretorts.com>.

Por otro lado, en el esterilizador hidrostático los envases se desplazan a través de una torre de vapor de agua. El elemento de transporte consiste en una cadena de rodillos gemelos moviéndose lentamente.

9.3.2 Pasteurización

El método fue desarrollado por Pasteur para prevenir la fermentación anormal de los vinos y hoy en día se aplica a un amplio número de productos. Una de las grandes ventajas de la pasteurización es que como las temperaturas son generalmente menores a las de la esterilización, los alimentos preservados por este mé-

todo experimentan menor deterioro nutricional. La pasteurización tiene lugar antes o después de situar los productos en los envases y, al igual que la esterilización en autoclave, se puede realizar en sistemas discontinuos o continuos. La ventaja radica en que el equipo es menos complejo que el necesario para la esterilización, pues se trabaja de ordinario a presión ambiental (Charley, 2012), (Leveau y Bouix, 2000).

Este modo de tratamiento térmico se aplica, en principio, a productos líquidos fluidos, aunque se traten a veces pastas más o menos espesas. La pasteurización busca destruir bacterias patógenas presentes en un líquido mediante la acción del calor. La pasteurización de la leche a temperatura de 72 [°C] durante 15 [s], aproximadamente, permite la destrucción de los microorganismos patógenos no esporulados, así como la mayor parte de los saprófitos que pueden producir una rápida alteración del producto. De ello se deduce que la duración de la estabilización de la leche pasteurizada es función, principalmente, de la reinfección durante los procesos posteriores (estandarización, envasado, etc.), más que de la población microbiana que no ha sido destruida (Casp Vanaclocha y Abril Requena, 2003), (Durán Ramírez, 2008).

En el caso de los jugos de frutas y de la cerveza, se llega a la pasteurización mediante el tratamiento de unos segundos a temperaturas de 70 [°C] y de 80 - 90 [°C], respectivamente. Estos tratamientos de corta duración a temperatura alta permiten obtener productos estabilizados bioquímicamente; sin embargo, el problema del proceso aséptico posterior es muy delicado. La ultrapasteurización es una forma sofisticada de pasteurización, donde la temperatura puede llegar hasta los 180 [°C] por tiempos más cortos, generalmente de 2 a 3 [s] (Durán Ramírez, 2008).

De lo anteriormente expuesto, se infiere que la pasteurización es un proceso de esterilización (no en grado tan avanzado como el visto ante-

riormente) que propende a la destrucción de la flora bacteriana vegetativa y en parte también de las esporas de hongos y levaduras; pero no de la forma esporulada bacteriana que es la causa de alteración de los productos, especialmente en aquellos de pH alto.

9.3.2.1 *Pasteurización discontinua*

Se aplica a alimentos que se pueden pasteurizar en porciones individuales (por ejemplo, jugos de frutas) en recipientes de acero inoxidable con agitación y con camisa de calefacción. Generalmente, el medio de calefacción puede ser un líquido previamente calentado con vapor, o en otros casos el vapor mismo. Como es aconsejable enfriar rápidamente el producto, a fin de limitar el crecimiento de los organismos termófilos, el alimento pasteurizado se pasa por un refrigerante separado, enfriado con agua o salmueras frías. Los alimentos envasados se pueden pasteurizar discontinuamente en baños de agua a ebullición o en vapor de agua, enfriándole a continuación en duchas de agua fría (Alvarado, 1996), (Alvarado, 2013), (Potter y Hotchkiss, 1999).

9.3.2.2 *Pasteurización continua*

Es la que se usa para tratar cantidades grandes de producto, pasándolo a través de intercambiadores de calor tales como el de placas, el tubular o el tubular de superficie raspada (tipo *Votator*); cualquiera de ellos implica un proceso de cuatro etapas, o por lo menos tres; precalefacción (regeneración), calefacción, retención (no en todos) y enfriamiento. Los pasteurizadores continuos de placas corrugadas (Figura 9.6) consisten en placas metálicas empalmadas que originan finos conductos por los que pasa el fluido alimenticio, intercalándose entre las placas con el fluido calefactor. Se prefieren los pasteurizadores tubulares a los de placas cuando es necesario operar a temperaturas por

encima de los 100 [°C], esto debido a la presión que se desarrolla. Estos equipos constan de un serpentín por el que recorre el líquido a tratar, el cual se encuentra sumergido en el fluido de calefacción. Por otra parte, los pasteurizadores con agitación se emplean para productos viscosos y están formados por dos cilindros coaxiales: el externo se encuentra fijo y rodeado de los elementos de calefacción; mientras que el

interno gira alrededor de su propio eje. El producto pasa entre los dos cilindros y avanza por la presión que se ejerce en la entrada. Este equipo posee rasquetas (que en ciertos casos recibe fluido de calefacción por el eje hueco) que se utilizan para renovar las capas en contacto con las paredes de calefacción asegurando una mezcla uniforme y evitando un eventual requemado (Durán Ramírez, 2008).

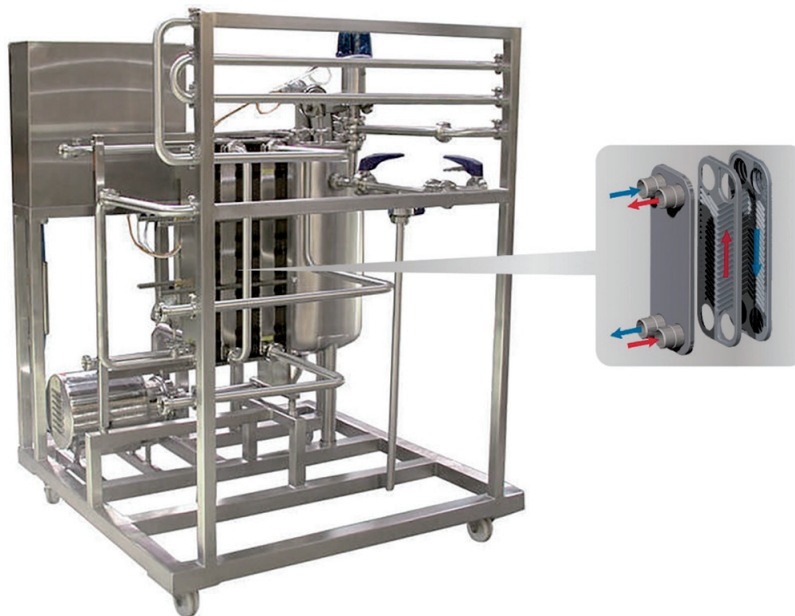


Figura 9.6 Pasteurizador continuo de placas
Adaptado de: Tetra Pak, <http://www.tetrapak.com>.

9.4 Procesamiento no térmico de alimentos

En los últimos años se ha investigado y desarrollado ampliamente el uso de los métodos de procesamiento no térmico para la conservación de alimentos; sea como alternativa o como complemento a los métodos tradicionales de

conservación (pasteurización y esterilización). Estos procesos se han desarrollado con la finalidad de minimizar o eliminar la degradación de la calidad de los alimentos que son sometidos a procesamiento térmico, tales como presencia de aroma y sabor a quemado, pérdidas de vitaminas, color, textura y nutrientes. Por otra parte, algunos métodos de procesamiento no térmico

requieren menor energía que los térmicos. Entre las técnicas de procesamiento no térmico tenemos (Casp Vanaclocha y Abril Requena, 2003), (Zhang, Barbosa-Cánovas, Balasubramaniam et al., 2011):

- Alta presión hidrostática
- Campos magnéticos oscilantes
- Campos eléctricos pulsantes de alta intensidad
- Pulsos lumínicos intensos
- Filtración esterilizante
- Tecnología de barreras y agentes químicos y bioquímicos
- Ultrasonidos
- Irradiación de alimentos

Cada método de procesamiento no térmico tiene aplicaciones puntuales en función de los productos que se requieran procesar. Así, los campos eléctricos pulsantes de alta intensidad son fácilmente aplicables a alimentos líquidos; mientras que la irradiación se aplica mejor en alimentos sólidos. La alta presión hidrostática, los campos magnéticos oscilantes y los pulsos lumínicos se usan sin problema alguno para la esterilización de alimentos sólidos o líquidos. Es importante recalcar que a pesar de los resultados prometedores que brindan estas tecnologías no térmicas, pasará un buen tiempo para que sean usadas de manera industrial, particularmente en nuestro medio (Barbosa-Cánovas, Pothakamury, Palou et al., 1999).

9.4.1 Alta presión hidrostática

Hite en 1899 estudió el efecto de la alta presión en microorganismos presentes en frutas y hortalizas (Barbosa-Cánovas et al., 1999). Esta tecnología se utiliza para inactivar microorganismos y algunas enzimas, donde los alimen-

tos son sometidos a presiones que oscilan en el intervalo de 4000 - 9000 [at]. Asimismo, la alta presión genera modificaciones beneficiosas de las propiedades sensoriales y la textura de los alimentos por alteración de la estructura de las proteínas y el almidón, derivando en la obtención de alimentos de alta calidad. Estos cambios se deben a que la aplicación de presión es uniforme en todo el producto (isostática). El tratamiento con altas presiones no depende de la relación tiempo/masa de alimento, por lo que se puede reducir el tiempo de procesamiento (Sun, 2005).

Un problema con el uso de esta tecnología es el relacionado a la fabricación de empaques que soporten la presurización y despresurización durante el proceso. La generación de altas presiones hidrostáticas se logra de tres modos distintos: por compresión directa, por compresión indirecta y por calentamiento del medio de presión (Fornari y Stateva, 2015). Los equipos desarrollados para esta tecnología son continuos y discontinuos, en los cuales un alimento se sella dentro de un envase estéril y se coloca dentro de la cámara de presurización, seguidamente se llena con el líquido de presión-transmisión y el proceso se lleva a cabo durante el tiempo necesario; dependiendo del pH, composición del alimento, presión osmótica y temperatura de proceso (Barbosa-Cánovas et al., 1999).

9.4.2 Campos magnéticos oscilantes

Kimbal estudió el crecimiento y reproducción de microorganismos bajo efectos de campos magnéticos oscilantes. Para la inactivación de microorganismos se utilizan flujos magnéticos que varían de los 3 a 50 [T] (tesla) y frecuencias de 5 a 500 [kHz]. En otros alimentos, tales como yogurt, cerveza o queso, los campos magnéticos inhiben la fermentación. Una ventaja en esta

tecnología constituye que el alimento se puede envasar previo al proceso, de esta manera se garantiza la inocuidad posterior a la esterilización (Barbosa-Cánovas et al., 1999).

9.4.3 Campos eléctricos pulsantes de alta intensidad

Getchell en 1935 describió el proceso para pasteurización de leche utilizando electricidad, en la que la inactivación de microorganismos se produjo por el calor generado por la misma. Los campos eléctricos de alta intensidad (Barbosa-Canovas, Pothakamury, Gongora-Nieto et al., 1999), (Barbosa-Cánovas y Zhang, 2001) se aplican en alimentos en forma de pulsos de corta duración, en el orden de micro o milisegundos, los que generan la inactivación de los microorganismos y algunas enzimas. Al ser el proceso muy rápido, la energía que se pierde por calentamiento es mínima. Cuando se aplica una intensidad de campo eléctrico se origina una diferencia de potencial entre ambos lados de la membrana del microorganismo y cuando alcanza un valor crítico determinado, dependiendo del tipo de microorganismo, se origina la pérdida de su integridad, el incremento de la permeabilidad y finalmente la destrucción de la membrana del patógeno. Su uso está limitado a productos capaces de conducir la electricidad y exentos de microorganismos esporulados. La inactivación de microorganismos es función de los siguientes factores (Barbosa-Cánovas y Zhang, 2001), (Sun, 2005):

- Intensidad del campo
- Tiempo de tratamiento
- Temperatura del alimento
- Tipo de microorganismo presente

Según la teoría de la ruptura dieléctrica, el campo eléctrico externo produce una diferencia de

potencial eléctrico a lo largo de la membrana celular (potencial transmembrana) el cual, al llegar a un valor límite, genera la aparición de poros en la membrana celular, aumentando su permeabilidad y generando cambios en el crecimiento y supervivencia de las células. La inactivación de microorganismos es sinérgica con la fuerza del campo eléctrico, número y duración de los pulsos, temperatura del medio, fuerza iónica del medio y estado de madurez de la bacteria. En esta tecnología, es imperante poseer una cámara de tratamiento que garantice una distribución uniforme del campo eléctrico (Barbosa-Canovas et al., 1999).

En general, las bacterias poseen diferente sensibilidad a los tratamientos con campos eléctricos y el campo óptimo se determina después de un diseño experimental previo. Es recomendable el almacenamiento del alimento procesado en refrigeración, de tal forma de garantizar una larga vida de anaquel (Sun, 2005). Las cámaras diseñadas para la investigación de esta tecnología son (Barbosa-Canovas et al., 1999):

1. Estáticas

- Cámara de Sale y Hamilton
- Cámara de Dunn y Pearlman
- Cámara de Grahl y colaboradores
- Cámara de la Universidad del Estado de Washington (WSU)
- Cámara de Zheng-Ying y Yan

2. Continuas

- Cámara de Dunn y Pearlman
- Cámara continua de la WSU

3. Continuas coaxiales

- Cámara de la WSU
- Cámara coaxial continua de Bushnell

4. Otras cámaras

- Cámara de tratamiento de Matsumoto y colaboradores (de tipo de campo eléctrico convergente)

Los alimentos más idóneos para este tratamiento son la leche, los zumos de frutas, las sopas, los extractos de carne o el huevo líquido.

9.4.4 Pulsos lumínicos

Consiste en la exposición del alimento bajo pulsos de corta duración de luz blanca con una densidad de energía oscilante entre 0,01 a 50 [J/cm²] (alta intensidad) y una longitud de onda del orden de 170 a 2600 [nm] (desde el ultravioleta al infrarrojo cercano) que penetra a través del producto (Sun, 2005). Se busca que el espectro de luz no contenga aquellas longitudes de onda que ocasionan cambios indeseables, usándose para este fin filtros de vidrio o líquido. Por otro lado, la luz filtrada en un cierto intervalo muestra tener mejores efectos para la inactivación de microorganismos; sin embargo, para microorganismos resistentes es necesario el uso del espectro completo de luz (Zhang et al., 2011).

Esta tecnología ha sido utilizada para la reducción de microorganismos en las superficies de alimentos como frutas, vegetales, carnes, pescado, leche y productos de panificación; así como para la esterilización de equipos de procesamiento y envasado de alimentos y otras superficies en general, evitando de esta manera el uso de agentes químicos para limpieza y desinfección (Sun, 2005), (Zhang et al., 2011).

9.4.5 Filtración esterilizante

La filtración esterilizante (Toledo, 2007) es otro método de procesamiento no térmico de alimentos, en la que se utilizan filtros de membrana microporosa con tamaño de poro más pequeño

que las partículas a ser retenidas (pared selectiva). El tamaño del poro de estas membranas es de 0,2 [μm], con lo que se reduce la posibilidad de que atraviesen microorganismos. En este proceso no existe la formación de torta como en la filtración normal. La filtración esterilizante se utiliza para pasteurización en frío de cerveza y vino en la industria de alimentos, soluciones de enzimas y medios de fermentación en la industria biotecnológica y soluciones inyectables en la industria farmacéutica.

9.4.6 Tecnología de barreras y agentes químicos y bioquímicos

Aquí se utilizan agentes químicos o físicos ajustables que garantizan la estabilidad de los alimentos frente a la acción de los microorganismos. En el grupo de parámetros químicos se incluyen una amplia gama de aditivos, tales como antioxidantes, humectantes, secuestradores de metal y los antimicrobianos en general (Cruess, 2012); mientras que las barreras físicas engloban la temperatura (sea de almacenamiento y procesamiento), pH, a_w y potencial redox (Sun, 2005).

9.4.7 Ultrasonido

El efecto conservador del ultrasonido (Bermudez-Aguirre, 2017), (Zhang et al., 2011) está asociado a los fenómenos de cavitación gaseosa, que explica la formación de microburbujas en un medio líquido. La cavitación se produce en las regiones de un líquido en el que se producen ciclos de expansión y compresión de forma alterna. Durante los ciclos de expansión, el ultrasonido provoca el crecimiento de las burbujas existentes en el medio o la formación de otras nuevas y, cuando éstas alcanzan un volumen al que no pueden absorber más energía, implosionan violentamente para volver al tamaño original. Esta acción supone la liberación de toda la energía acumulada, ocasionando incrementos

de temperatura instantáneos que no suponen una elevación sustancial de la temperatura del líquido tratado. No obstante, la energía liberada sí afecta la estructura de las células situadas en el entorno. Sus usos en la industria alimentaria, particularmente la manosonicación y la manotermosonicación, se encuentran en la esterilización de mermeladas, huevo líquido y, en general, para prolongar la vida útil de alimentos líquidos. La tecnología de ultrasonido es eficaz en la descontaminación de vegetales crudos y de huevos enteros sumergidos en medios líquidos.

9.4.8 Irradiación de alimentos

En esta tecnología se someten los alimentos a la acción de radiaciones obtenidas por procedimientos autorizados con el fin de (Calderón, 2000), (Miller, 2006):

- a. inhibir la germinación de ciertos alimentos vegetales
- b. combatir las infestaciones por insectos
- c. contribuir a la destrucción de la flora microbiana

La primera irradiación de alimentos con fines comerciales se llevó a cabo en Alemania en el año de 1957, en el que un Industrial manufacturero de especias realizó una serie de experiencias tendientes a mejorar las cualidades higiénicas de sus productos mediante la irradiación con un acelerador de Van de Graaff. Desafortunadamente, se desmanteló la máquina al año siguiente, puesto que la legislación alemana prohibió la aplicación de radiaciones ionizantes a los alimentos (Potter y Hotchkiss, 1999). Tuvieron que pasar varios años, hasta que en el año 1980, cuando un Comité de Expertos de diferentes organismos internacionales, entre ellos de la FAO, concluyó que la radiación de cualquier tipo de alimento hasta una dosis máxima de 10

[kGy]^a no presenta riesgo para la salud humana.

9.4.8.1 Tipos de irradiación utilizados en alimentos

Se pueden usar los siguientes tipos de radiación ionizante para el procesamiento de alimentos (Molins, 2001), (Murano y Hayes, 1995):

1. Rayos gamma procedentes de los radionúclidos ^{60}Co o ^{137}Cs .
2. Rayos X generados en equipos que emiten radiaciones a energías menores a 5 [MeV]^b.
3. Electrones, generados en equipos especiales, con energías iguales o inferiores a 10 [MeV].

El ^{60}Co y el ^{137}Cs son dos radioisótopos potencialmente útiles en la irradiación de alimentos. El ^{60}Co es el que se usa con mayor frecuencia debido a que se presenta como una forma insoluble en agua y por tanto con menos riesgo de contaminación. Debe añadirse el hecho de que el producto estable final de este radioisótopo es el Ni no radiactivo.

Hoy en día, parece aceptado que cuando hablamos de irradiar un alimento estamos exponiendo al mismo a una fuente emisora de rayos gamma, de rayos X o de electrones acelerados con el objetivo fundamental de esterilizarlo.

^a kiloGray. Gray es la cantidad de energía absorbida correspondiente a 1 [J/kg] de producto irradiado. En el sistema internacional reemplaza al Rad (1 [Gy] = 100 [rad]). El Rad es la cantidad de radiación equivalente a 100 [erg/g] de material irradiado.

^b mega-electrón-voltio, es decir $1,6 \times 10^{-6}$ [erg] por electrón liberado.

Cuando los rayos X o gamma inciden en la materia, deben tenerse presentes dos parámetros:

Tasa de dosis: es la dosis que la fuente emite por unidad de tiempo (Calderón, 2000).

Dosis absorbida: representa la energía que es absorbida por el material. Solo una parte de la tasa de dosis es absorbida (Miller, 2006).

La absorción de la radiación se traduce en la expulsión de electrones de los últimos niveles moleculares y, en ocasiones, en la rotura de enlaces en las moléculas; de esta forma se crean iones y radicales libres. Esto causa una alteración molecular y por ello mueren las células y se destruyen microorganismos, parásitos e insectos, con lo que se obtiene la esterilización o estabilización del alimento (Potter y Hotchkiss, 1999).

La radiación esterilizante tiene como finalidad el proporcionar un alimento indefinidamente estable mediante la destrucción de todo tipo de microorganismos presentes en el alimento. Por otra parte, el objetivo de la radiación pasteurizante es destruir solo parte de la población microbiana, retardar el paso de los esporulados a la forma vegetativa o eliminar un grupo particular de microorganismos nocivos para la salud.

9.4.8.2 Dosis usadas

Según las dosis usadas los procesos pueden ser más o menos intensos, por ejemplo, al usar dosis menores a 1 [kGy] se inhibe la germinación de las patatas, cebollas y batatas, permitiendo su almacenamiento a largo plazo. Esta dosis provoca la muerte o esterilidad sexual de insectos e impide su propagación, evitando los daños ocasionados por ellos en granos de cereales, harinas, frutos secos y otros. También destruye parásitos en la comida, por ejemplo, el *Endamoeba histolytica*, el *Toxoplasma gondii* y

la *Trichinella spiralis*. Adicionalmente, retarda el proceso de maduración de las frutas (Calderón, 2000), (Murano y Hayes, 1995).

Al usar dosis mayores, desde 1 hasta 10 [kGy], se producen reducciones de las poblaciones microbianas (*Salmonellas*, *Lactobacillus*, hongos y levaduras) presentes en la superficie o en el interior del alimento, mejorando las posibilidades de almacenamiento (Calderón, 2000), (Miller, 2006). Dosis altas de radiación, entre 10 y 45 [kGy], destruyen las poblaciones de microorganismos patógenos tales como *Salmonella*, *Staphylococcus*, *C. botulinum* y virus (Miller, 2006), (Murano y Hayes, 1995).

Se entiende como *radapertización* al tratamiento de un alimento con una dosis de radiación que reduzca el número de microorganismos, excepto los virus, a un grado tal que prácticamente no se los detecte. En la mayoría de los casos se obtiene una reducción del 99 % con dosis que van de 25 a 45 [kGy].

9.4.8.3 Confiabilidad de la irradiación

La irradiación puede aplicarse a varios tipos de productos, por ejemplo:

1. Frutas y hortalizas: ya se indicó que bajos niveles de radiación podían eliminar moscas y otros insectos.
2. Envasados al vacío, productos enlatados cerrados a baja temperatura.
3. Congelados, pues la irradiación no modifica la temperatura, destruyendo la *Salmonella*.
4. Productos parcial o totalmente elaborados, como los enlatados pre-cocinados.

También aumenta las condiciones de seguridad para el consumo de alimentos debido a que evita la utilización de otros métodos más agresivos,

como el uso de insecticidas en cereales. Esta tecnología parece ser la única vía razonable para la desparasitación de hierbas y condimentos, pues el óxido de etileno que se usa para este fin es nocivo cuando permanecen restos del mismo en el alimento (Calderón, 2000). Sin embargo, cuando se trata de eliminar enzimas, un simple tratamiento térmico resulta más eficaz que la irradiación. Si se combina una dosis de radiación esterilizante con un proceso térmico para inactivar enzimas endógenas, se obtendrían productos inalterables por muchos años sin necesidad de refrigeración (Murano y Hayes, 1995). Con respecto a las toxinas, la radiación no funciona cuando éstas ya están presentes en el alimento. Podría usarse solo como un método preventivo para destruir los microorganismos antes de que las produzcan (Miller, 2006).

9.4.8.4 Inconvenientes de la irradiación

Pérdida de vitaminas: particularmente de la vitamina A y en menor escala de la B₁ y la E. Este es el principal argumento en contra de la irradiación de alimentos; sin embargo, estas pérdidas varían según la forma de realizar el proceso. Algunos estudios revelan que en ciertos productos de origen animal como el huevo en polvo, las pérdidas de vitamina A se reducen hasta un 7 % cuando la irradiación se realiza a -80 [°C] y hasta un 6 % si se hace al vacío. La leche fresca y la mantequilla pierden cerca del 31 % y 26 %, respectivamente, cuando se irradian con 0,7 [kGy], y pierden 85 % y 78 %, respectivamente, tratados con 8 [kGy]. El queso Cheddar pierde un 32 % con 2,1 [kGy] a -2,2 [°C], pero solo un 7 % a bajas dosis y a la misma temperatura (Calderón, 2000), (Molins, 2001).

Los productos irradiados pierden algo más de vitaminas durante el proceso de cocinado, por ejemplo, se ha visto que las pérdidas de vitamina B₁ en los copos de avena era mayor después de un calentamiento de 10 [min] a 100 [°C]. Sin

embargo, no se deben apresurar generalizaciones ya que también se han encontrado efectos inversos a los descritos (Miller, 2006). Una situación con respecto a la vitamina C es similar, pero estudios realizados a dosis bajas (del orden de 1 [kGy]) en naranjas, plátanos, mangos y papayas, señalan que no se han observado cambios significativos en el contenido de esta vitamina con respecto a otras técnicas de conservación (Miller, 2006).

Cambios organolépticos: la irradiación puede afectar la calidad de los alimentos por factores tales como la dosis de irradiación, la temperatura y la atmósfera durante el proceso. Así, los productos radiolíticos desarrollados pueden causar la oxidación de la mioglobina y de los ácidos grasos, dando como resultado la decoloración de las carnes y la aparición de sabores rancios. El ozono producido a partir del oxígeno en un proceso de irradiación, es un agente oxidante relacionado con la oxidación de la mioglobina; sin embargo, se ha comprobado que el control de ciertos parámetros tales como la atmósfera presente al momento de la irradiación (vacío o nitrógeno), así como el descenso de la temperatura previa a la irradiación (congelación), minimizan estos efectos, obteniéndose en la mayoría de los casos alimentos de buena calidad (Calderón, 2000), (Molins, 2001).

Costos del proceso: este aspecto debe ser valorado, pues cualquier industria de alimentos lo calificará como el más costoso de los tratamientos. Sus valores dependen de la dosis a aplicar, de la densidad del producto, del manejo del producto y de las condiciones del proceso (Calderón, 2000).

Una idea que parece muy extendida entre los consumidores es aquella que relaciona a los alimentos irradiados con alimentos radioactivos. Pero la verdad es que un alimento irradiado

do no es radiactivo. Por otro lado, la irradiación no deja efectos contaminantes, sino más bien cambios organolépticos en el alimento (Miller, 2006). A las dosis permitidas para la irradiación de alimentos, ciertas sustancias generadas a partir de la degradación de los envases plásticos pueden migrar hacia el producto en ellos contenido e influir en su calidad. Este problema se ha detectado al usar PVC en carne envasada cuando se irradia con 3,9 [kGy].

9.4.8.5 Equipos para irradiación de alimentos

Para la aplicación de la radiación se usan grandes cámaras o perchas (Calderón, 2000), (Molins, 2001). La cámara de ionización consiste en una sala que posee las barras de ^{60}Co en el centro con la finalidad de que la emisión gamma se

realice en todas las direcciones. Normalmente se utiliza para irradiar grandes cantidades de productos (por ejemplo, patatas) que se colocan en una cinta transportadora que circula en torno a la fuente. La dosis absorbida por el alimento dependerá del tiempo de exposición. Este tipo de planta de tratamiento se le conoce también como 'piscina', pues la fuente está dentro de una piscina de agua desionizada cuando no está irradiando alimentos. Por otra parte, en una percha se colocan los productos a irradiar en cestas suspendidas de un colgador sinfín. Aquí también la fuente se encuentra sumergida en tanques de agua y cuando el material avanza por acción de la cinta sinfín, al llegar a la cámara de irradiación, los cilindros que contienen el ^{60}Co se elevan e irradian los productos.

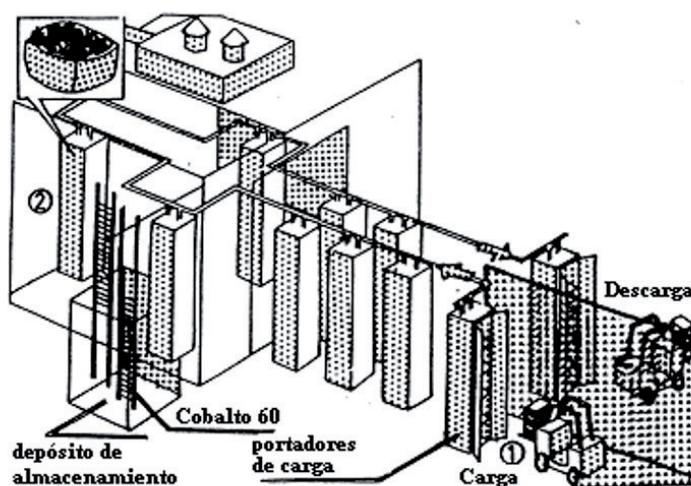


Figura 9.7 Esquema de una planta de irradiación en perchas

Adaptado de: Calderón, T. (2000). *La Irradiación de Alimentos. Principios, Realidades y Perspectivas de Futuro*. (Primera Edición). España: Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, SAU.

9.4.8.6 Dosimetría

La forma de determinar la cantidad de radiación que reciben los alimentos es a través de los dosímetros, entre los cuales se tienen (Calderón, 2000), (Molins, 2001):

Dosímetro de alanina: usado para rangos de 10 a 100 [kGy]; es el mejor dosímetro de los conocidos debido a que utiliza la resonancia de spin electrónico (RSE) para medir el crecimiento de radicales libres en sólidos irradiados. En presencia de alanina los radicales libres formados son estables durante mucho tiempo (incluso años). Este hecho, sumado a que el número de tales radicales aumente linealmente con la cantidad de radiación, se usa para calcular la dosis de radiación.

Películas radiométricas: se incluyen directamente en los productos y se usan para rangos de 1 a 10 [kGy]. Comprenden un grupo de dosímetros que desarrollan color en torno a los 600 [nm] en función de la dosis de radiación que reciben.

Dosímetros de rutina: sirven para dosis comprendidas entre 5 y 50 [kGy] y se basan en la degeneración de plásticos. Algunos polímeros se degradan en función de la dosis de radiación, generando moléculas insaturadas que absorben energía en la región UV del espectro electromagnético, por lo que resulta fácil su cuantificación.

Finalmente, cuando un producto ha sido irradiado tiene que exhibir en su etiqueta un distintivo que le permita al consumidor conocer esa particularidad. Ese distintivo se muestra en la Figura 9.8.



Figura 9.8 Logotipo distintivo para alimentos esterilizados por radiaciones

Adaptado de: Molins, R. A. (2001). *Food Irradiation. Principles and Applications*. USA: John Wiley & Sons.

9.6. Ejercicios

Ejercicio 9.1

Obtener la curva de penetración de calor, la curva de razón letal y el tiempo de esterilización en base a los siguientes datos:

Microorganismo: *C. sporogenes*

Producto: Jugo de tomate

Latas: #300 laqueadas

TDD = 1,67 [min] (T_r = 121 [°C])

z = 13 [°C]

T autoclave = 121 [°C]

Temperatura [°C]	Tiempo [min]	1/ TDD [1/min]
70	0	$7,15 \times 10^{-5}$
75	1,9	$1,73 \times 10^{-4}$
80	2,5	$4,20 \times 10^{-4}$
85	2,8	$1,02 \times 10^{-3}$
90	3,2	$2,47 \times 10^{-3}$
95	4	$5,99 \times 10^{-3}$
100	4,8	$1,45 \times 10^{-2}$
105	5,5	$3,52 \times 10^{-2}$
110	6,7	$8,53 \times 10^{-2}$
112	8	$1,22 \times 10^{-1}$
114	9,2	$1,73 \times 10^{-1}$
116	10,5	$2,47 \times 10^{-1}$
118	12	$3,52 \times 10^{-1}$
119	14	$4,20 \times 10^{-1}$
120	18	$5,02 \times 10^{-1}$
120	27,555	

Sol.: $\theta_{\text{proceso}} = 27,555 \text{ [min]}$

Ejercicio 9.2

Obtener las curvas de penetración de calor, la curva de razón letal y el tiempo de esterilización con los siguientes datos:

Microorganismo: *C. pasteurianum*

Producto: carne en latas #300

TDD = 0,5 [min] ($T_r = 250 \text{ [°F]}$)

z = 15 [°F]

T autoclave = 240 [°F]



Temperatura [°C]	Tiempo [min]	1/TDD [1/min]
140	0	$9,28 \times 10^{-8}$
142	5	$1,26 \times 10^{-7}$
148	10	$3,17 \times 10^{-7}$
157	15	$1,21 \times 10^{-6}$
166	20	$5,02 \times 10^{-6}$
178	25	$3,17 \times 10^{-5}$
188	30	$1,47 \times 10^{-4}$
199	35	$7,96 \times 10^{-4}$
207	40	$2,72 \times 10^{-3}$
215	45	$9,28 \times 10^{-3}$
220	50	$2,00 \times 10^{-2}$
222	55	$2,72 \times 10^{-2}$
226	60	$5,02 \times 10^{-2}$
230	65	$9,28 \times 10^{-2}$
232	70	$1,26 \times 10^{-1}$
234	75	$1,72 \times 10^{-1}$
236	80	$2,33 \times 10^{-1}$
237	85	$2,72 \times 10^{-1}$
238	90	$3,17 \times 10^{-1}$
239	93	$3,70 \times 10^{-1}$
239	96,4534	

Sol.: $\theta_{\text{proceso}} = 96,453 \text{ [min]}$

Ejercicio 9.3

Calcular el tiempo de esterilización y obtener las curvas de penetración de calor y de razón letal para estos datos:

Variedad: *B. coagulans*

Producto: Jugo de tomate industrial

Latas: #300 laqueadas

TDD = 0,1 [min] ($T_r = 121$ [°C])

z = 10 [°C]

T autoclave = 115 [°C]

Temperatura [°C]	Tiempo [min]	1/ TDD [1/min]
65	0,0	$2,51 \times 10^{-5}$
70	1,2	$7,94 \times 10^{-5}$
78	2,4	$5,01 \times 10^{-4}$
84	3,6	$2,00 \times 10^{-3}$
90	4,8	$7,94 \times 10^{-3}$
95	6,0	$2,51 \times 10^{-2}$
100	7,2	$7,94 \times 10^{-2}$
104	8,4	$1,99 \times 10^{-1}$
107	9,6	$3,98 \times 10^{-1}$
110	10,8	$7,94 \times 10^{-1}$
112	12,0	1,259
113	13,2	1,585
114	14,4	1,995
114	15,094	

Sol.: $\theta_{\text{proceso}} = 15,094$ [min]

Ejercicio 9.4

Una variedad de *C. sporogenes* fue sometida a tratamiento térmico en el laboratorio a 121,1 [°C]. Calcular el **TDD** a esta temperatura con los siguientes datos:

N₀ [UFC/kg]	N [UFC/kg]	Tiempo [s]
52000	230	240
465000	110	360
21300	0,08	444
60000	350	227

Sol.: **TDD** medio = 96,17 [s]

Ejercicio 9.5

Para pasar de una población microbiana inicial de 1×10^4 hasta $1,2 \times 10^3$ [UFC/kg], se necesitaron 50 [min] a 110 [°C]; y para pasar hasta $8,5 \times 10^2$ se necesitaron 20 [min] a 115 [°C]. ¿Cuál sería el tiempo de esterilización novedecimal a 121 [°C]?

Se realizaron pruebas en un caldo de cultivo de *C. sporogenes* que contenía inicialmente 1×10^7 [UFC/kg], con tratamientos térmicos sucesivos a 100 [°C], 110 [°C] y 120 [°C] durante 10 [min] a cada temperatura. Sabiendo que el **TDD_r** = 100 [s] ($T_r = 121$ [°C]) y que **z** = 10 [°C], calcular el número de [UFC/kg] final.

Sol.: **F** = 46,746 [min]

Sol.: **N** = 51,258 [UFC/kg]

Ejercicio 9.6

En una prueba de esterilización sobre la bacteria *B. stearothermophilus* se pasó de $3,6 \times 10^3$ a 7×10^{-1} [UFC/kg] en 25 [s] a 121 [°C]. ¿A qué temperatura se conseguirá una destrucción igual pero en 5 [min] si **z** = 11 [°C]?

Sol.: **T** = 109,129 [°C]

Ejercicio 9.7

Operaciones de acabado y defectos **de las conservas**



10

10.1 Almacenamiento para control

Luego de que los alimentos han sido esterilizados y enfriados, o bien han sufrido un proceso de pasteurización, deben ser sometidos a un período de almacenamiento durante el cual se tendrán que realizar una serie de pruebas que demuestren su idoneidad para el consumo. Asimismo, durante este tiempo se da la maceración en los productos que así lo requieran, por ejemplo, frutas en almíbar o granos en salmuera. Este es un aspecto muy importante antes que sean distribuidos. Este período de almacenamiento se conoce como cuarentena, ya que si el producto no pasara alguna de las pruebas, sobre todo microbiológicas, no será apto para ser consumido (Coles et al., 2003), (Pastrana y Hernández, 1988), (Sánchez, 2003).

Es obvio que las pruebas a las que se alude no se aplicarán a todos los envases, sino que se tomarán muestras según normas estadísticas de muestreo. El tiempo que los alimentos tienen que permanecer almacenados depende de algunos factores. Uno de ellos es el correspondiente al período de difusión, necesario principalmente en alimentos sólidos en líquidos de gobierno (por ejemplo frutas en almíbar) para que se intercambien el aroma y sabor y se consiga una homogeneidad organoléptica. Esto se consigue en un tiempo mínimo de quince días; sin embargo, este tiempo depende de factores tales como densidad o viscosidad del líquido de gobierno, tamaño del material sólido, volumen de almacenamiento, entre otros (García Garrido y Rodríguez López, 2004), (Pastrana y Hernández, 1988).

Otro factor es el método de detección microbiana, que en unos casos podría ser de hasta tres meses, o bien, si se dispone de infraestructura adecuada, de apenas horas. Normalmente

un producto envasado tiene que sujetarse a tres pruebas de control microbiano: la primera a los quince días de esterilización, la segunda treinta días después de la primera y la tercera cuarenta y cinco días después de la segunda; lo cual hace un total de noventa días, que para los industriales resulta un serio problema (Hayes, 1993), (Müller, 1981).

Finalmente, se deberían llevar a cabo controles de tipo fisicoquímico que garanticen que el producto está ceñido a las normas de calidad establecidas por los organismos oficiales (en Ecuador por el INEN) y a las normas tecnológicas de la misma fábrica (Bernal, 1993), (Osborne y Voogt, 1986), (Pastrana y Hernández, 1988).

Todos estos controles forman parte del control integral de calidad, o mejor aún, de la gestión de calidad, como un proceso global que inicia desde el ingreso de la materia prima.

10.2 Selección final de envases

Este proceso tiene importancia relativa para efectos de comercialización, pues, un envase con defectos o fallas externas difícilmente será aceptado por el consumidor. El envase no debe poseer salpicaduras del recubrimiento ni presentar síntomas de oxidación, peor aún abolladuras, trizaduras, indicios de mal cerrado o abombamientos; lo que no solo haría bajar su calidad para la venta, sino que sembraría dudas sobre su idoneidad. Aunque los análisis de control de calidad se realizan en un número reducido de envases, es importante que se apliquen a todos una selección meticulosa que permita ir descartando los deteriorados (Coles et al., 2003), (Muñoz Sánchez, 2013), (Ostrovski, 1980).

10.3 Etiquetado

No se debe confundir el etiquetado con el marcado de los envases, pues hay que aclarar que todo envase, especialmente el de paredes no transparentes, tiene que ser marcado, lo que evitará su confusión al momento del etiquetado, selección, control u otras operaciones. Frecuentemente, el marcado se realiza estampando las tapas a máquina, sea en alto relieve o con tintes especiales, de tal suerte que se conserve luego de la esterilización y enfriamiento de los envases para poder identificarlos. El marcado consiste en anotar una serie de códigos propios y conocidos por cada fábrica en particular, las mismas que le permitirán reconocer a la empresa la fecha de producción, el lote o alguna otra característica que creyere necesaria. Esta identificación es vital para efectos de trazabilidad; por ejemplo, si eventualmente un lote hubiese salido defectuoso o no apto para consumo, los envases pueden ser fácilmente identificados y retirados del mercado (Caballero Abellán, 2018), (Muñoz Sánchez, 2013), (Sánchez, 2003).

Poner la etiqueta en un envase es, en cambio, una operación un poco más ligada con la comercialización. Incluso en los envases de vidrio, la etiqueta se usa con la finalidad de exaltar las virtudes del producto y hacerlo más atractivo para el consumidor. Diseños, colores y figuras que componen la etiqueta, hablan del producto tratando de impactar y atraer las miradas de los posibles compradores. Además, la etiqueta tiene un segundo objetivo y es el de exponer algunos de los datos técnicos exigidos por los organismos estatales de control, tales como el nombre del producto, el peso neto, los ingredientes básicos (no necesariamente la fórmula), especialmente si el producto lleva aditivos, la fecha de expiración y el precio de venta sugerido (opcional). El etiquetado se realiza a máquina

y en la actualidad la tecnología mecánica ha desarrollado etiquetadoras de alta eficiencia y versatilidad, que permiten grandes ahorros de mano de obra y de tiempo, con el consiguiente abaratamiento de la producción (Potter y Hotchkiss, 1999), (Rodríguez Peula, 2013), (Somoza y Gandman, 2004).

10.4 Comercialización

Podría decirse que es la última operación industrial, aunque algunos autores no la consideran dentro de las operaciones de procesamiento, sino en todo caso como una gestión que bien la podría realizar un Ingeniero Comercial u otro profesional afín, mas no forzosamente el Ingeniero en Alimentos. Por tal motivo, considerando el alcance de este libro, lo dejaremos para que sea debidamente tratado por los profesionales de ese campo. De todas formas, un aspecto que si nos corresponde resaltar es la importancia de las condiciones de transporte de los productos terminados y su mantenimiento en los puntos de venta: cadena de frío, exposición a la luz, mantenimiento en lugares frescos y secos, entre otros (Potter y Hotchkiss, 1999), (Somoza y Gandman, 2004).

10.5 Defectos de las conservas y fallas en la esterilización

10.5.1 Condiciones microbiológicas de las conservas

Se había indicado en el capítulo anterior que, desde el punto de vista microbiológico, al hablar de 'Conservas Estériles' se puede llegar a errores debido a que luego del tratamiento térmico, aunque las conservas carecen de microorganismos en forma vegetativa, pueden presentar

esporas que sobreviven a dicho tratamiento. Por lo tanto, las conservas pueden contener esporas viables que no crecerán a menos que se les brinden las condiciones favorables para su desarrollo durante el almacenamiento, distribución o venta (Cruess, 2012), (Durán Ramírez, 2008), (García Garrido y Rodríguez López, 2004), (Potter y Hotchkiss, 1999). Las normas microbiológicas que debe cumplir una conserva son las siguientes (Hayes, 1993), (Müller, 1981):

1. Carecer de microorganismos patógenos y sus esporas. Se exigirá como mínimo un tratamiento térmico capaz de destruir las esporas de *C. botulinum* que son de todos el más resistente al tratamiento térmico
2. Carecer de formas bacterianas vegetativas viables
3. No poseer levaduras viables ni deuteromicetos
4. Estar exentos de toxinas
5. No haber sufrido alteración organoléptica alguna

10.5.2 Alteraciones de las conservas

Aunque las conservas son alimentos resistentes a la alteración, no están libres de posibles deterioros. Los defectos que pueden presentar se los clasifican en tres tipos: alteraciones de origen físico, químico y microbiológico. Generalmente, estas alteraciones originan fallas o defectos graves como el abombamiento (*tic-tac*) y la fermentación plana (*flat-sour*), entre los más importantes (Cruess, 2012), (Hersom y Hullah, 1981), (Müller, 1981), (Potter y Hotchkiss, 1999). El abombamiento se caracteriza por una distensión de la tapa o el fondo, o de ambos, causado por la formación de gas en su interior u otros factores. En ocasiones el abombamiento es demasiado intenso debido al exagerado

acúmulo gaseoso que provoca que el cuerpo del mismo 'reviente' por la costura lateral. En las conservas en envases de vidrio el mecanismo es similar, pero estas pierden lentamente el vacío interno por la tapa. El abombamiento de las conservas se debe, además de causas microbianas, a procesos físicos y químicos. Debido a que externamente estas alteraciones son idénticas, conviene conocer sus características internas (García Garrido y Rodríguez López, 2004), (Potter y Hotchkiss, 1999).

10.5.2.1 Alteraciones de origen físico

Los abombamientos debidos a factores físicos se designan como 'pseudo abombamiento', que se diferencia de los de origen químico y microbiológico por la ausencia de gas en el interior de los envases. Se han definido algunas clases de abombamiento físico (Charley, 2012), (Cruess, 2012), (Sánchez, 2003):

1. abombamiento ligero
2. abombamiento por calor
3. abombamiento por frío o congelación
4. abombamiento celular

El abombamiento ligero es originado por defectos en los fondos y tapas de hojalata que no se ajustan a las medidas establecidas, por ejemplo, cuando se usan tapas demasiado delgadas. El abombamiento por calor se presenta en las latas cuyas tapas y fondos (o ambos a la vez) presentan, posterior al enfriamiento, de manera persistente la convexidad formada durante la esterilización. Dentro de las posibles causas citaremos (Ostrovski, 1980):

- a. liberación de los gases disueltos en la materia prima por acción del calor, entre los cuales se encuentran los productos de la actividad gaseosa microbiana (CO_2 e H_2) y los

gases del metabolismo intracelular de los tejidos vegetales (CO_2 y O_2). Se evita sometiendo los vegetales a la acción de un correcto escaldado.

- b. dilatación de las partes sólidas a causa de la imbibición que sucede cuando el envase se ha sobrellenado, lo que origina un espacio de cabeza reducido o nulo.
- c. enfriamiento inadecuado como consecuencia de una presión externa muy pequeña.
- d. sobrecalentamiento que se puede originar por un funcionamiento inadecuado de los instrumentos de medida (termómetros y manómetros) del autoclave.
- e. almacenamiento en ambientes exageradamente cálidos.

El abombamiento por frío o congelación se origina en conservas que contienen excesiva cantidad de agua, la cual bajo la acción del frío se congela aumentando su volumen y deformando el envase. El aumento de volumen produce ajustes en las costuras por las que pueden ingresar microorganismos que alteran el alimento. El congelamiento de conservas de frutas y carnes reblandece el producto y en algunos casos adquieren sabores desagradables, por lo que se precisa evitar un almacenamiento a temperaturas muy bajas. El abombamiento celular se identifica principalmente en conservas de legumbres, como guisantes y alubias, insuficientemente remojadas y cuya incorporación de agua se desarrolla en los envases ya cerrados. Al abrirlos, el producto se presenta como 'apelmazado'. Estos abombamientos se presentan inmediatamente después de la esterilización y en contraposición a aquellos debidos a causas microbianas o químicas, el abombamiento no aumenta durante su vida de almacén. Desde el punto de vista de inocuidad, no existe impedi-

mento o razón alguna para no consumir conservas que presentan abombamiento de origen físico.

10.5.2.2 Alteraciones de origen químico

Constituyen la segunda causa de alteración. El abombamiento surge como resultado de la interacción química entre el contenido de la lata y el metal (*galvano-corrosión*), produciendo el desprendimiento de hidrógeno e hinchamiento de las latas. También puede originar la pérdida de hermeticidad en el envase. Se presenta principalmente en conservas de materias primas muy ácidas envasadas en recipientes de hojalata o aluminio, por ejemplo, conservas de guindas, zumo de limón, espinacas y ruibarbo (ricas en ácido oxálico) (García Garrido y Rodríguez López, 2004).

10.5.2.3 Alteraciones de origen microbiano

Las conservas con alteración de origen microbiano sufren, generalmente, modificaciones muy intensas, tal es el caso del ablandamiento del producto enlatado, descomposición, olor putrefacto, sabor muy amargo, líquido de gobierno turbio y decoloración del alimento. El ataque producido por levaduras y hongos en las frutas envasadas en recipientes de vidrio se caracteriza por turbidez del líquido de gobierno, formación de una película o velo superficial y presencia de micelio algodonoso (*mucílago*). Debido a la acción microbiana se originan gases como H_2 , CO_2 o SH_2 , que son los responsables del abombamiento. En las conservas de espinacas se origina también, bajo ciertas circunstancias, óxido nítrico (Hayes, 1993), (Müller, 1981). La alteración de origen microbiano es la causa más frecuente de defectos en las conservas y se deben a las siguientes razones:

1. Tratamiento térmico insuficiente (subesterilización)
2. Contaminación posterior del alimento a través de fugas
3. Alteraciones de las conservas previas al proceso

Las causas que influyen en un tratamiento térmico esterilizante insuficiente que generen la supervivencia de los microorganismos, especialmente en el centro del envase son:

- a. no mantener el alimento en el autoclave durante el tiempo necesario y a la temperatura establecida para destruir todos los microorganismos presentes durante la esterilización
- b. no seguir el régimen de esterilización establecido
- c. purgado insuficiente para eliminar el aire del autoclave
- d. defectos y fallos técnicos debidos especialmente al descuido de los operarios en la zona de autoclaves
- e. fallas de los instrumentos de control

La subesterilización es un problema que trae como consecuencia el deterioro del alimento, con o sin abombamiento de las latas. Cuando se produce abombamiento, también conocido como *tic-tac*, se debe a la formación de gases de los microorganismos como resultado de la descomposición de los componentes de las conservas.

Por otra parte, el empleo de materia prima con una gran carga microbiana origina dificultades durante la esterilización. Este crecimiento se puede deber a la permanencia prolongada de la materia prima en la industria antes del proceso de manufactura o a tratamientos antihigiénicos

de la materia prima durante la transformación. Este aspecto tiene gran importancia al tratar con productos que, como los espárragos y fresas, presentan termosensibilidad y que por tanto deben ser sometidos a tratamientos térmicos moderados. El tratamiento térmico insuficiente permite la acción de levaduras, hongos, bacterias no esporuladas y esporuladas.

Las alteraciones por mohos, levaduras, hongos y bacterias no esporuladas se presentan en conservas que han sido sometidas a una esterilización a temperaturas relativamente bajas. Se tiene conocimiento de algunos géneros bacterianos cuyas formas vegetativas son relativamente resistentes al calor y resisten el proceso de pasteurización. Entre ellos se incluyen los *Lactobacillus*, *Leuconostoc* y algunas cocáceas como el *S. thermophilus*. Las bacterias ácido lácticas heterofermentativas, al igual que algunas levaduras, pueden originar abombamiento debido a la formación de CO₂.

Las especies fúngicas que producen micelio algodonoso superficial, generalmente son poco resistentes al calor, es el caso de *B. fulva*, *Paecilomyces variotii*, *A. malignus* y el *Penicillium* sp; sin embargo, sus ascosporas son siempre resistentes. Las esporas de *A. malignus*, identificadas en conservas de fresas, toleran temperaturas de 100 [°C] durante 1 [h], aunque este hongo es poco frecuente. En las conservas de acidez fuerte, como las de frutas, se encuentran generalmente mohos y levaduras; mientras que en los alimentos de escasa acidez, como los de carne, pescado o verduras, prevalecen las bacterias, excepto algunas ácido lácticas que crecen también en productos ácidos como pulpa de tomate. Los hongos difícilmente se desarrollan en envases herméticamente cerrados debido a que la carencia de oxígeno detiene el crecimiento micelial.

Las alteraciones por bacterias esporuladas son un problema particular de las bacterias que producen endosporas. Las formas vegetativas de estas bacterias mueren en las condiciones normales de esterilización industrial. No obstante, las esporas de *Clostridium* y *Bacillus* pueden sobrevivir al tratamiento debido a su termorresistencia. Basándose en las necesidades térmicas de reproducción las bacterias esporuladas se clasifican en mesófilas y termófilas. También se presentan diferencias de termorresistencia de las esporas de estos grupos.

1. *Bacterias mesófilas esporuladas*: su temperatura de desarrollo óptimo se sitúa entre 20 y 37 [°C] y son de menor resistencia al calor que las bacterias esporuladas termófilas. Existen claras diferencias en su termorresistencia: mientras algunas esporas se destruyen en pocos minutos con un tratamiento térmico a 100 [°C], otras sobreviven a esta temperatura luego de una larga exposición; aunque seguramente se destruyan al esterilizarse en el autoclave a mayor temperatura. Dentro de los bacilos productores de gas destacan el *B. polymyxa* y el *B. macerans* que frecuentemente originan alteraciones en conservas de judías, espinacas, guisantes, espárragos y tomates. Las especies no productoras de gas son el *B. subtilis* y el *B. megaterium* que generalmente intervienen en el deterioro de conservas neutras y de baja acidez. Ciertas especies de bacilos no se desarrollan en alimentos de acidez alta. Por otra parte, la escasa presencia de oxígeno en las conservas limita el entorno para el desarrollo de los bacilos.

Los bacilos anaerobios que pertenecen al género *Clostridium*, encuentran condiciones favorables de desarrollo en ausencia de oxígeno, sobre todo en recipientes cerrados a vacío o en aquellos en los que el oxígeno residual es con-

sumido por microorganismos aerobios. En productos de escasa acidez, y en ciertas ocasiones en los alimentos ácidos en fase de alteración, se encuentran el *C. pasteurianum* y el *C. Butyricum*, que son los responsables de la fermentación butírica. Se detecta su presencia por la cantidad de ácido butírico originado y por formar CO₂ e H₂ que originan abombamiento. Estos microorganismos predominan en productos tratados a temperaturas menores a 100 [°C] y ricos en hidratos de carbono, por ejemplo, peras, tomates, piñas, manzanas, entre los más importantes. Las esporas de las especies mesófilas anaerobias no productoras de ácido tienen escaso interés como causa de alteración, a pesar de que son más termorresistentes. De hecho, el valor del **TDD** de las esporas del *C. sporogenes* es de 0,1 a 1,5 [min] a 121 [°C]; por esta razón los *Clostridium* no productores de ácido adquieren mayor importancia práctica y se nombran con mayor frecuencia como causa de alteración. El *C. sporogenes* y el *C. putrefaciens* degradan las proteínas para producir metabolitos malolientes como escatol, indol, ácido sulfhídrico, mercaptano, amoníaco y otros; así como dióxido de carbono e hidrógeno, que provocan abombamiento de la lata. Los alimentos de acidez baja, como productos de pescado, cárnicos y verduras son los más afectados.

Merece especial atención el *C. botulinum* como agente productor del botulismo. Este microorganismo origina metabolitos muy tóxicos que al ser ingeridos producen intoxicaciones muy graves y muchas veces mortales. Las conservas con este tipo de alteración no siempre presentan alteración de los caracteres sensoriales. Este microorganismo no se desarrolla a pH menor a 4,5, por lo que ataca en menor grado a las conservas de frutas ácidas. De los seis tipos de *C. botulinum* que se conocen, el valor **TDD** para los tipos A y B a 121 [°C] es de 0,1 a 0,3 [min]

(Tabla 9.2). La toxina producida se trata de una proteína termolábil que se destruye a 80 [°C] en 10 [min] y actúa como veneno nervioso. Por otra parte, el *C. perfringens*, de menor peligrosidad que el *C. Botulinum*, es otro microorganismo esporulado que puede contaminar los alimentos.

2. *Bacterias termófilas esporuladas*: son las formas microbianas más resistentes al tratamiento térmico, por lo que es de temer cuando se presentan en alimentos tratados térmicamente. Se identifican tres clases de alteraciones originadas por microorganismos termófilos:

Primero: las que producen el agriado o amargor, denominadas productoras de fermentación simple o *flat sour*. Estas no provocan abombamiento o alteración del aspecto del envase (la tapa y fondo están planos), porque generan ácido láctico sin producción de gas. Los microorganismos responsables del *flat sour* son diversas especies del género *Bacillus*. Se pueden encontrar especies mesófilas además de termófilas; sin embargo, las bacterias mesófilas solo tienen importancia en procesos térmicos deficientes ya que sus esporas se destruyen con la temperatura y tiempo normales de esterilización. Con las esporas de especies termófilas ocurre lo contrario, son extremadamente resistentes al calor, llegando incluso a sobrevivir a los tratamientos esterilizantes. Dentro de las especies productoras de amargor tenemos: *B. stearothermophilus* y *B. thermoacidurans*. Este último conocido también como *B. coagulans* por ser responsable de la coagulación de la leche evaporada.

El *flat sour* afecta principalmente a las conservas de baja acidez, presentándose especialmente en productos ricos en hidratos de carbono, por ejemplo en conservas de hortalizas y jugo de tomate, así como en conservas de car-

ne y embutidos, guisantes y alimentos procesados para bebés. Se puede citar como fuente de contaminación las hortalizas sucias con tierra y en ocasiones el almidón y el azúcar contaminados. Otros responsables también son los escaleadores y otros utensilios deficientemente limpiados.

Segundo: las alteraciones con producción de hidrógeno causado por el *C. thermosaccharolyticum* (*Thermoanaerobacterium*), que generan el abombamiento de los envases. Este microorganismo también pertenece a los esporulados y contrariamente al grupo precedente, crece solo en anaerobiosis; es decir, en ausencia de oxígeno. Su temperatura ideal de crecimiento fluctúa entre los 55 y 62 [°C]. Este microorganismo afecta tanto a las conservas de baja y alta acidez. Sus fuentes de contaminación son las ya anotadas para el grupo anterior.

Tercero: las alteraciones por *C. nigrificans* (*C. bifermentan*), que también es un anaerobio esporulado. Tiene la particularidad de que, a diferencia de las especies termófilas antes citadas, produce ácido sulfhídrico. Las conservas que presentan este tipo de alteración se reconocen por un olor desagradable, que se lo denomina a 'huevos podridos' y también porque en la mayoría de los casos presenta alterado su color normal. En general, no originan abombamiento debido a que el ácido producido forma sulfuros o se disuelve en los líquidos de gobierno. El *C. nigrificans* ataca de preferencia a conservas de baja acidez (por ejemplo guisantes) y sus fuentes de contaminación son los abonos orgánicos. Debido a que sus esporas son termorresistentes como las de los agentes del *flat sour* y las de *C. thermosaccharolyticum*, se presenta solo en productos sometidos a un tratamiento térmico insuficiente.

Los microorganismos termófilos tienen mayor importancia en las zonas cálidas ya que su temperatura de crecimiento óptima está en torno a los 50 [°C], esto se debe tener en cuenta en la exportación a países o zonas tropicales. Es de temer sobre todo a los que sobreviven al enfriamiento luego de la esterilización, ya que son los que originan inconvenientes si el almacenamiento es defectuoso. Esto se observa claramente cuando en el espacio de cabeza se desarrollan floras de microorganismos anaeróbicos termófilos.

Es importante señalar que no todos los microorganismos que sobreviven al tratamiento térmico originan alteraciones en los enlatados. En las conservas de frutas y hortalizas se ha demostrado que se produce alteración cuando el contenido de microorganismos viables es del 30 - 50 % del original. La alteración se produce únicamente cuando los microorganismos que sobreviven a la esterilización se encuentran en lugares con condiciones aptas para su desarrollo. Existen algunos factores limitantes como el pH del alimento, que si es muy ácido evita la formación de esporas; mientras que los ambientes con escasez de oxígeno evitan el desarrollo de bacterias aeróbicas, aunque por otra parte favorecen el crecimiento de anaeróbicos. Otros favorecen son los parámetros de almacenamiento: a bajas temperaturas, sin llegar a la congelación, las condiciones para el desarrollo microbiano son desfavorables. En general, el almacenamiento de las conservas exige temperaturas comprendidas entre 4 y 10 [°C].

El desarrollo de microorganismos luego del tratamiento térmico es muy lento, debido a que durante el proceso térmico sufren algún tipo de daño. Esto explica que la alteración se presenta en las conservas luego de un almacenamiento prolongado. Otro hecho interesante es que en

ciertas especies bacterianas la germinación de esporas luego de un tratamiento térmico subletal está en función de las condiciones en que tuvo lugar el proceso, y está influenciada por factores como el pH del alimento y edad de las esporas.

10.5.2.4. Fugas como causa de alteración

La conservación de alimentos enlatados está garantizada solo si los envases son completamente impermeables y herméticos, de tal manera que desde el exterior no penetren microorganismos. En los envases que no son sellados correctamente aparecen a menudo microorganismos que se introducen y forman gases que escapan con el contenido del envase. Son variadas las causas de costuras con fugas, por ejemplo, cuando la máquina selladora trabaja inadecuadamente, que no se coloquen correctamente las latas en el plato o que las tapas y fondos no sean compatibles con el diámetro del cuerpo del envase. Por el contrario, un cierre defectuoso es muy raro que se deba a fallas en el material de constitución del envase. Además, las características o mecanismos del autoclave tienen una marcada influencia durante el proceso de esterilización y posterior al mismo. Así, la colocación de los envases en autoclaves anticuados tiene vital importancia por las diferencias de presión interna y externa a la que se someten las latas. Estas diferencias ejercen gran tensión en las costuras peligrando su hermeticidad (Muñoz Sánchez, 2013), (Ostrovski, 1980).

Una vez esterilizadas las latas, el enfriamiento es de vital importancia. Durante este proceso se debe utilizar agua que carezca de microorganismos, para lo cual es simplemente necesario cumplir con las normas para el agua potable. Asimismo, es importante tratar el agua con un desinfectante adecuado cuando se trata de

agua recirculante, ya que los residuos alimenticios que puede acarrear y las temperaturas de 25 - 50 [°C] benefician el desarrollo de bacterias esporuladas. Un excelente agente desinfectante es el cloro activo a una concentración de 2 - 4 [mg/L]. La utilización en concentraciones más bajas puede originar la selección de bacterias cloro-resistentes. En la actualidad se utilizan autoclaves automáticas donde se tiende a evitar cualquier diferencia de presión que se vería reflejado en las costuras del envase.

Es importante que las latas, tanto vacías como llenas, sean correctamente tratadas durante el transporte y almacenamiento para evitar deformaciones mecánicas. Se ha observado que el almacenamiento en lugares secos es el más conveniente, especialmente cuando se trata de evitar la corrosión de los mismos. Donde más frecuentemente se presenta corrosión de los envases de hojalata es debajo de las etiquetas, lo que conlleva a pérdidas de hermeticidad y permite el ingreso de microorganismos. La microflora de los envases de conservas mal sellados se caracteriza por la presencia de microorganismos muy variados y aunque algunas veces se puede presentar una sola especie, predomina generalmente la flora microbiana mesófila que forma parte de bacterias no esporuladas (Müller, 1981).

10.5.3 Medidas para evitar el abombamiento de las conservas

Aunque las conservas dentro de los alimentos estabilizados son las que presentan mayor resistencia al deterioro, se debe tener en cuenta que pueden aparecer alteraciones originadas por diversos factores, tales como una incorrecta manipulación durante su elaboración y almacenamiento. Debido a que la alteración en el producto no puede apreciarse a simple vista,

especialmente en los que no se produce abombamiento del envase, se debe llevar a cabo un control microbiológico, comenzado con la materia prima y siguiendo en todos los procesos de transformación de la misma (trazabilidad). Sin embargo, se lleva un control riguroso durante la esterilización, pues es la operación que define la inocuidad o no del alimento (Alba y Cuéllar, 2008), (Charley, 2012), (García Garrido y Rodríguez López, 2004).

10.5.4 Otras alteraciones producidas

El jaspeado de tono azulado que en ocasiones se origina en la superficie interna de la hojalata del envase se debe a la acción del ácido sulfhídrico originado por procesos microbianos o químicos puros. Cuando reacciona con la mayoría de los metales pesados (por ejemplo el zinc) forma sulfuros, que en su mayor parte son de tonos oscuros. Se forma especialmente en conservas a base de huevos, guisantes, de carne o pescado. La herrumbre de las latas es otro defecto que pueden presentar las conservas y se distinguen tres grados:

1. capa de óxido ligera que se elimina al frotarla con algodones
2. perturbación de la capa de estaño que deja manchas oscuras al frotarla
3. formación de oquedades en la hojalata

A pesar de que la herrumbre exterior por sí misma no influye en la calidad del contenido, disminuye la estabilidad de las conservas durante su almacenamiento, pues el desarrollo de la herrumbre provoca la perforación de los envases y el daño de las conservas.



Referencias bibliográficas

- Adrian, J., Potus, J., Poiffait, A., & Dauvillier, P. (2000). *Análisis Nutricional de los Alimentos*. España: Editorial Acribia, SA.
- Agenjo, C. (1980). *Enciclopedia de la Inspección Veterinaria y Análisis de Alimentos*. España: Editorial Espasa-Calpe, SA.
- Aguilera, J. M. (1997). *Temas en Tecnología de Alimentos*. México: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Instituto Politécnico Nacional.
- Aguilera, J. M. (2011). *Ingeniería Gastronómica*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Aguilera, J. M., & Stanley, D. W. (1999). *Microstructural Principles of Food Processing and Engineering* (Second edition). USA: Aspen Publishers, Inc.
- Al-Baali, A. A. G., & Farid, M. M. (2007). *Sterilization of Food in Retort Pouches*. USA: Springer Science & Business Media.
- Alba, C. A., & Cuéllar, A. (2008). *Ciencia, Tecnología e Industria de Alimentos*. Colombia: Grupo Latino Editores.
- Alfa Laval, <http://www.alfalaval.com/>.
- Alvarado, J. de D. (1996). *Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos* (Primera edición). Ecuador: Secretaría de la Organización de los Estados Americanos.
- Alvarado, J. de D. (2001a). Calor Específico. En J. de D. Alvarado & J. M. Aguilera (Editores), *Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos* (pp. 189-212). España: Editorial Acribia, S.A.
- Alvarado, J. de D. (2001b). Índice de Refracción. En J. de D. Alvarado & J. M. Aguilera (Editores), *Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos* (pp. 347-368). España: Editorial Acribia, S.A.
- Alvarado, J. de D. (2012). *Propiedades Termodinámicas Relacionadas con el Agua Constitutiva de Alimentos*. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Alvarado, J. de D. (2013). *Principios de Ingeniería Aplicados en Alimentos* (Segunda edición). Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Alvarado, J. de D. (2018). *CÁLCULO de Procesos en Leche y Productos Lácteos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Ammar, K., Lásztity, R., & El-Kady, S. (1986). Biochemical Changes of Green Peas During Processing and Storage. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 30, 11-19.
- Añón, M., & Pilosof, A. (2002). *Proteínas y Polisacáridos como Ingredientes Funcionales*. Argentina: Editorial de la Universidad de La Plata.
- Appendini, P., & Hotchkiss, J. H. (2002). Review of Antimicrobial Food Packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3(2), 113-126.
- Aranda Rengifo, L. A. (2015). *Valor Agregado de Colosoma Macropomun (Gamitana): Obtención De Conserva Tipo Grated en Salmuera y Aceite Vegetal*. (Ingeniero en Industrias Alimentarias), Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.
- Arthey, D., & Ashorst, P. (1997). *Procesado de Frutas*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Arthey, D., & Dennis, C. (1992). *Procesado de Hortalizas*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Asadi, M. (2006). *Beet-Sugar Handbook*. USA: John Wiley & Sons.
- Astiasarán, I., & Martínez, J. (2000). *Alimentos. Composición y Propiedades*. España: McGraw-Hill Interamericana.
- Badui Dergal, S. (2012). *La Ciencia de los Alimentos en la Práctica*. México: Pearson.
- Badui, S. (2013). *Química de los Alimentos* (Quinta edición). México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Baltes, W. (2007). *Química de los Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Balzarini, M., Di Rienzo, J., Tablada, M., Gonzalez, L., Bruno, C., Córdoba, M., Robledo, W., & Casanoves, F. (2012). *Estadística y Biometría. Ilustraciones del Uso de InfoStat en Problemas de Agronomía* (Primera edición). Argentina: Editorial Brujas.

- Ballabio, D. (2006). *Chemometric Characterisation of Physical-Chemical Fingerprints of Food Products*. (PhD Thesis), Università degli Studi di Milano, Italia.
- Baquero, J., & Llorente, V. (1985). *Equipos para la Industria Química y Alimentaria* (Primera edición). España: Editorial Alhambra S.A.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Ma, L., & Barletta, B. (2000). *Manual de Laboratorio de Ingeniería de Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Barbosa-Canovas, G. V., Pothakamury, U. R., Gongora-Nieto, M. M., & Swanson, B. G. (1999). *Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields*. USA: Academic Press.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Pothakamury, U. R., Palou, E., & Swanson, B. G. (1999). *Conservación no Térmica de Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Barbosa-Cánovas, G. V., & Vega-Mercado, H. (2000). *Deshidratación de Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Barbosa-Cánovas, G. V., & Zhang, Q. H. (2001). *Pulsed Electric Fields in Food Processing. Fundamental Aspects and Applications*. USA: CRC Press.
- Belitz, H., Grosch, W., & Schieberle, P. (2012). *Química de los Alimentos* (Tercera edición). España: Editorial Acribia, S.A.
- Berk, Z. (1980). *Introducción a la Bioquímica de los Alimentos*. México: Editorial El Manual Moderno, S.A.
- Bermudez-Aguirre, D. (2017). *Ultrasound: Advances in Food Processing and Preservation*. Academic Press.
- Bernal, I. (1993). *Análisis de Alimentos*. Colombia: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Bojanic, A. (2011). *La Quinoa. Cultivo Milenario para Contribuir a la Seguridad Alimentaria Mundial*: D-FAO.
- Bourgeois, C., & Larpent, J. (1995). *Microbiología Alimentaria Volumen II. Fermentaciones Alimentarias*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Bourgeois, C., Mescle, J., & Zucca, J. (1994). *Microbiología Alimentaria Volumen I. Aspectos Microbiológicos de la Seguridad y Calidad Alimentaria*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Braun, D. (1990). *Métodos Sencillos de Identificación de Plásticos*. España: Editorial Pulsar.
- Brennan, J. (2006). *Manual del Procesado de los Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Brennan, J., Butters, J., Cowell, N., & Lilley, A. (1998). *Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos* (Tercera edición). España: Editorial Acribia, S.A.
- Brody, A. (1996). *Envasado de Alimentos en Atmósferas Controladas, Modificadas y a Vacío*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Brody, A. L., Bugusu, B., Han, J. H., Sand, C. K., & McHugh, T. H. (2008). Scientific Status Summary: Innovative Food Packaging Solutions. *Journal of Food Science*, 73(8), R107-R116.
- Bureau, G., & Multon, J. (1995). *Embalaje de los Alimentos de Gran Consumo*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Caballero Abellán, M. J. (2018). *Tratamientos de Preparación y Conservación de los Alimentos*. España: Editorial Síntesis, S.A.
- Calderón, T. (2000). *La Irradiación de Alimentos. Principios, Realidades y Perspectivas de Futuro* (Primera edición). España: Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, SAU.
- Callejo González, M. a. J. s. (2002). *Industrias de Cereales y Derivados*. España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Carrión, M. (1995). *Manual de Prácticas en Tecnología de Conservas Vegetales*. Ecuador: IICT de la Universidad de Cuenca.
- Carrión, M. (1997). *Tecnología de Conservas Vegetales*. Ecuador: IICT de la Universidad de Cuenca.
- Casearmeccanica Vicentina s.r.l., <http://www.casearmeccanica.it>.
- Casp Vanaclocha, A., & Abril Requena, J. (2003). *Procesos de Conservación de Alimentos* (Segunda edición). España: Mundi-Prensa.
- Castells, X. E. (2012). *Reciclaje de Residuos Industriales: Residuos Sólidos Urbanos y Fangos de Depuradora*. España: Ediciones Díaz de Santos.



- Catalá, R., & Gavara, R. (2001). Nuevos envases. De la protección pasiva a la defensa activa de los alimentos envasados. *Arbor* CLXVIII, 661, 109-127.
- CESELSAN Machinery Industry and Trading Incorporated Company, <http://www.ceselsan.com/>.
- Coenders, A. (2001). *Química Culinaria. Estudios de lo que les Sucede a los Alimentos Antes, Durante y Después de Cocinados*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Coles, R., McDowell, D., & Kirwan, M. J. (2003). *Manual del Envasado de Alimentos y Bebidas*. España: AMV Ediciones.
- Continuous Retorts Ltd., <http://continuousretorts.com>.
- Cooper, J. M. (2006). Sucrose. In W. J. Spillane (Editor), *Optimising sweet taste in foods* (pp. 135-153). USA: CRC Press.
- Corporación JARCON del Perú, <http://www.jarcondelperu.com/>.
- Coulter, T. (1984). *Alimentos. Química de sus Componentes*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Cox, P. (1987). *Ultracongelación de Alimentos. Guía de la Teoría y Práctica*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Cruess, W. V. (2012). *Commercial Fruits and Vegetable Products*. India: Agrobios.
- CYTED. (2010). *Temas en Tecnología de Alimentos. Fibras Dietéticas. Volumen II*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Charley, H. (2012). *Tecnología de los Alimentos. Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de los Alimentos* (Segunda edición). México: Editorial Limusa.
- Cheftel, J.-C., Cuq, J.-L., & Lorient, D. (1989). *Proteínas Alimentarias. Bioquímica. Propiedades Funcionales. Valor Nutricional. Modificaciones Químicas*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Cheftel, J.-C., Cheftel, H., & Besançon, P. (1989). *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Volumen II* (Primera edición). España: Editorial Acribia, S.A.
- Chiralt, A., Martínez, N., Carmen, C. M. d., & González, C. (1998). *Experimentos de Físicoquímica de Alimentos*. España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Chiralt, A., Martínez, N., González, C., Talens, P., & Moraga, G. (2007). *Propiedades Físicas de los Alimentos*. España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Dainelli, D., Gontard, N., Spyropoulos, D., Zondervan-van den Beuken, E., & Tobback, P. (2008). Active and Intelligent Food Packaging: Legal Aspects and Safety Concerns. *Trends in Food Science & Technology*, 19, S103-S112.
- Damodaran, S., Parkin, K., & Fennema, O. (2010). *Fennema Química de los alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Davies, F. S., & Albrigo, L. G. (1999). *Cítricos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- del Pilar Buera, M., Welti-Chanes, J., Lillford, P. J., & Corti, H. R. (2006). *Water Properties of Food, Pharmaceutical, and Biological Materials*. USA: CRC Press.
- Desrosier, N. (1991). *Conservación de Alimentos* (Primera edición). México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.
- Desrosier, N. W. (1983). *Elementos de Tecnología de Alimentos*. México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.
- DizioInoxa, <http://www.dizioinox.com/it/index.php>.
- Duchowicz, P. R., & Castro, E. A. (2008). *The Order Theory in QSPR-QSAR Studies*. Kragujevac: Faculty of Science, University of Kragujevac.
- Durán, F. (2007). *Manual del Ingeniero de Alimentos*. Colombia: Grupo Latino Editores.
- Durán Ramírez, F. (2008). *Ciencia, Tecnología e Industria de Alimentos*. Colombia: Grupo Latino Editores.
- Durán, S. (1983). *Frigoconservación de la Fruta* (Primera edición). España: Editorial AEDOS.
- Earle, R. (1988). *Ingeniería de los Alimentos* (Segunda edición). España: Editorial Acribia S.A.
- Edmon, J. (1981). *Principios de Horticultura* (Quinta edición). México: Compañía Editorial Continental, S.A.
- Enoveneta. Tecnología Enologica, <http://www.enoveneta.it/index.php/>.
- Fabra, M., López-Rubio, A., & Lagaron, J. (2014). Biopolymers for Food Packaging Applications. In M. R. Aguilar & J. San Román (Editors), *Smart Polymers and Their Applications* (pp. 476-509): Elsevier.

- Fatemi, M. H., & Malekzadeh, H. (2014). CORAL: Predictions of Retention Indices of Volatiles in Cooking Rice Using Representation of the Molecular Structure Obtained by Combination of SMILES and Graph Approaches. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 12(3), 405-412.
- Fellows, P. (2007). *Tecnología del Procesado de Alimentos. Principios y Práctica* (Segunda edición). España: Editorial Acribia, S.A.
- Fernández-Álvarez, M. (2000). Revisión: Envasado activo de los alimentos. *Food Science and Technology International*, 6(2), 97-108.
- Fontana Jr, A. J. (2007). Measurement of Water Activity, Moisture Sorption Isotherms, and Moisture Content of Foods. In G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana Jr, S. J. Schmidt, & T. P. Labuza (Editors), *Water Activity in Foods. Fundamentals and Applications* (pp. 155-171). USA: John Wiley & Sons.
- Fornari, T., & Stateva, R. P. (2015). *High Pressure Fluid Technology for Green Food Processing*. USA: Springer.
- Francis, F. J. (1999). *Wiley Encyclopedia of Food Science and Technology*. USA: Wiley-Interscience.
- Frazier, C. (2000). *Microbiología de los Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Fukuda, T., Takeda, T., & Yoshida, S. (2014). Comparison of Volatiles in Cooked Rice with Various Amylose Contents. *Food Science and Technology Research*, 20(6), 1251-1259.
- Gacula Jr, M. C. (2008). *Design and Analysis of Sensory Optimization*. USA: John Wiley & Sons.
- Galiana Llinares, L. (2017). *Nuevos materiales para envasado activo de alimentos: antimicrobianos*. (Trabajo de Fin de Grado), Universidad de Alicante,
- García Garrido, J., & Rodríguez López, A. D. (2004). *Industrias Químicas y Agroalimentarias. Análisis y Ensayos*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México.
- Genemco Food Processing Equipment, www.genemco.com.
- Gerhardt, U. (1975). *Especias y Condimentos*. España: Editorial Acribia.
- Giannetto, N. (1979). *Conservazione e Trasformazione degli Alimenti*. Italia: Editorial Ulrico Hoepli.
- Gianola, C. (1981). *La Industria de la Fruta Seca, en Almibar y Confitada* (Segunda edición). España: Editorial Paraninfo S.A.
- Grandison, A. S. (2012). Postharvest Handling and Preparation of Foods for Processing. In J. G. Brennan & A. S. Grandison (Editors), *Food Processing Handbook* (Second edition, pp. 1-30). Germany: Wiley-VCH.
- Gruda, Z., & Postolski, J. (1986). *Tecnología de la Congelación de los Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Grujić, R., Vujadinović, D., & Savanović, D. (2017). Biopolymers as Food Packaging Materials. In E. Pellicer, D. Nikolic, J. Sort, M. D. Baró, F. Zivic, N. Grujovic, R. Grujic, & S. Pelemis (Editors), *Advances in Applications of Industrial Biomaterials* (pp. 139-160): Springer.
- Gupta, M. K., Warner, K., & White, P. J. (2004). *Frying Technology and Practices*: AOCS Press.
- Hanssen, M., & Marsden, J. (1986). *E para Aditivos (Guía de los Números E)*. España: Editorial EDAF, S.A.
- Hayes, G. D. (1992). *Manual de Datos para Ingeniería de los Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Hayes, P. R. (1993). *Microbiología e Higiene de los Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Heiss, R. (1970). *Principios de Envasado de los Alimentos. Guía Internacional* (Primera edición). España: Editorial Acribia.
- Heldman, D. R. (2013). *Food Preservation Process Design*. USA: Academic Press.
- Hernández-Briz, F. (1993). *Conservas Caseras de Alimentos* (Segunda edición). España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Hersom, A. C., & Hulland, E. D. (1981). *Canned Foods. Thermal Processing and Microbiology* (Seventh edition): Chemical Publishing Company.
- Higueras Contreras, L. (2015). *Quitosano como Matriz Biopolimérica para el Desarrollo de Envases Activos Antimicrobianos de Alimentos*. (PhD), Universitat de València,
- Holdsworth, S. (1988). *Conservación de Frutas y Hortalizas*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Horowitz, B. Z. (2005). Botulinum Toxin. *Critical Care Clinics*, 21(4), 825-839.
- Hubbard, M. R. (2012). *Statistical Quality Control for the Food Industry*. USA: Springer Science & Business Media.



- Hugot, E., & Jenkins, G. H. (1972). *Handbook of Cane Sugar Engineering* (Vol. 114). The Netherlands: Elsevier.
- Hui, Y. H. (2006). *Handbook of Fruits and Fruit Processing*. USA: Blackwell Publishing.
- Ibarz, A., Barbosa-Cánovas, G., Garza, S., & V. G. (2000). *Métodos Experimentales en la Ingeniería Alimentaria*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Ibarz, A., & Ribas, A. I. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. España: Ediciones Mundi-Prensa.
- InduHerzig, <http://www.herzig.com.co/>.
- Ishikawa, K. (1994). *Introducción al Control de Calidad*. España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Jay, J. M. (1978). *Microbiología Moderna de los Alimentos* (Segunda edición). España: Editorial Acribia.
- John Bean Technologies, <http://www.jbtfoodtech.com/>.
- Kar, S., Roy, K., & Leszczynski, J. (2017). On Applications of QSARs in Food and Agricultural Sciences: History and Critical Review of Recent Developments. In K. Roy (Editor), *Advances in QSAR Modeling. Applications in Pharmaceutical, Chemical, Food, Agricultural and Environmental Sciences* (pp. 203-302). Switzerland: Springer.
- Kay, D. N. H. (1985). *Legumbres Alimenticias*. España: Acribia.
- Kirk, R. S., Sawyer, R., & Egan, H. (2003). *Composición y Análisis de Alimentos de Pearson*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Krochta, J. M. (2007). Food Packaging. In D. R. Heldman & D. B. Lund (Editors), *Handbook of Food Engineering* (Second edition) pp. 847-927). USA: CRC Press.
- Kruijf, N. D., Beest, M. V., Rijk, R., Sipiläinen-Malm, T., Losada, P. P., & Meulenaer, B. D. (2002). Active and Intelligent Packaging: Applications and Regulatory Aspects. *Food Additives & Contaminants*, 19(S1), 144-162.
- Labuza, T. P., & Altunakar, B. (2007). Water Activity Prediction and Moisture Sorption Isotherms. In G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana Jr, S. J. Schmidt, & T. P. Labuza (Editors), *Water Activity in Foods. Fundamentals and Applications* (pp. 109-154). USA: John Wiley & Sons.
- Labuza, T. P., Tannenbaum, S. R., & Karel, M. (1970). Water Content and Stability of Low Moisture and Intermediate Moisture Foods. *Journal of Food Technology*, 24, 543-550.
- Larrañaga, I., Carballo, J., Rodríguez, M., & Fernández, J. (1999). *Control e Higiene de los Alimentos* (Primera edición). España: Editorial McGraw Hill/Interamericana de España.
- Lees, M. (2003). *Food Authenticity and Traceability*. USA: Elsevier.
- Lees, R. (1982). *Análisis de los Alimentos. Métodos Analíticos y de Control de Calidad* (Segunda edición). España: Editorial Acribia.
- Leistner, L., & Gorris, L. G. (1995). Food Preservation by Hurdle Technology. *Trends in Food Science & Technology*, 6(2), 41-46.
- Leveau, J.-Y., & Bouix, M. (2000). *Microbiología Industrial. Los Microorganismos de Interés Industrial*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Levtov, Y. (1981). *Conservación de Frutas y Vegetales por Refrigeración*. Ecuador: Publicación de CENDES, Programa de Asistencia Técnica de ONUDI.
- Linden, G., & Lorient, D. (1996). *Bioquímica Agroindustrial. Revalorización Alimentaria de la Producción Agrícola*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Loncin, M., & Carballo Caabeiro, J. (1965). *Técnica de la Ingeniería Alimentaria* (Primera edición). España: Editorial Dossat.
- Loncin, M., & Merson, R. L. (1979). *Food Engineering. Principles and Selected Applications*. USA: Academic Press.
- López-Gómez, A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). *Food Plant Design*. USA: CRC Press.
- López, S., Chávez, S. G., & Chuquizuta, T. S. (2017). Evaluación de la vida útil de dos frutas usando un envase biodegradable de yuca (*Manihot esculenta*). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(4), 373-380.
- Lück, E., & Jager, M. (2000). *Conservación Química de los Alimentos. Características, Usos, Efectos* (Segunda edición). España: Editorial Acribia, S.A.
- Lycoc Manufacturing, Inc. <http://lycomfg.com/>.

- Madrid, A., Cenzano, I., & Vicente, J. (1994). *Nuevo Manual de Industrias Alimentarias*. España: AMV Ediciones y Mundi-Prensa.
- Mafart, P. (1994). *Ingeniería Industrial Alimentaria. Volumen I. Procesos Físicos de Conservación*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Mafart, P., & Beliard, E. (1994). *Ingeniería Industrial Alimentaria. Volumen II. Técnicas de Separación*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Maldonado-Alvarado, P., & Ruales Nájera, J. (2018). Arroz. En A. Silvia Bermúdez (Editor), *Papel de los Cereales y los Pseudocereales en la Seguridad Alimentaria* (pp. 23-38). Colombia: International Life Science Institute (ILSI) Nor-Andino.
- Marini, F. (2013). *Chemometrics in Food Chemistry*. The Netherlands: Elsevier.
- Martínez Navarrete, N., Andrés Grau, A. M., Chiralt Boix, A., & Fito Maupoey, P. (1998). *Termodinámica y Cinética de Sistemas Alimento Entorno*. España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Martins, A. T., dos Santos, F. d. S. A., Scannavino, F. L. F., Pires, J. R., Zuza, E. P., Padovani Junior, J. A., Azoubel, R., Di Mateo, M. A. S., & Lopes, R. A. (2010). Effect of Sodium Cyclamate on the Rat Fetal Exocrine Pancreas: A Karyometric and Stereological Study. *International Journal of Morphology*, 28(3), 899-904.
- Matissek, R., Schnepel, F., & Steiner, G. (1998). *Análisis de los Alimentos. Fundamentos-Métodos-Aplicaciones*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Mendoza, E., & Calvo, C. (2010). *Bromatología. Composición y Propiedades de los Alimentos*. México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Meyer, M. R., & Paltrinieri, G. (1989). *Elaboración de Frutas y Hortalizas*. México: Editorial Trillas S.A. de C.V.
- Michelis, A. (2008). *Elaboración de Conservas de Frutas y Hortalizas. Procedimientos para el Hogar y para Pequeños Emprendimientos Comerciales* (Primera edición). Argentina: Editorial Hemisferio Sur S.A.
- Miller, R. B. (2006). *Electronic Irradiation of Foods. An Introduction to the Technology*. USA: Springer Science & Business Media, Inc.
- Mishra, D. K., & Sinha, N. K. (2011). Principles of Vegetable Canning. In N. K. Sinha (Editor), *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing* (pp. 243-258). India: Wiley-Blackwell.
- Molins, R. A. (2001). *Food Irradiation. Principles and Applications*. USA: John Wiley & Sons.
- Moreiras, O., Carbajal, Á., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2018). *Tablas de Composición de Alimentos. Guía de Prácticas* (Decimonovena edición). España: Ediciones Pirámide.
- Moros, J. E. (2002). *Diseño de Empaques Industria Agroalimentaria* (Primera edición). Colombia: Editorial UNAD.
- Mossel, D., Moreno, B., & Struijk, C. (2003). *Microbiología de los Alimentos* (Segunda edición). España: Editorial Acribia, S.A.
- Multon, J. L. (1999). *Aditivos y Auxiliares de Fabricación en las Industrias Agroalimentarias*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Müller, G. (1981). *Microbiología de los Alimentos Vegetales*. España: Editorial Acribia.
- Muñoz Sánchez, M. T. (2013). *Envasado de Conservas Vegetales*. España: IC Editorial.
- Murano, E. A., & Hayes, D. J. (1995). *Food Irradiation. A Sourcebook*. USA: Iowa State Press.
- Nagy, S. (1980). *Tropical and Subtropical Fruits. Composition, Properties and Uses*. USA: AVI Publishing Co., Inc.
- The National Drying Machinery Company, Aeroglide Corporation, www.nationaldrying.com.
- Nickerson, J. T., & Sinskey, A. J. (1978). *Microbiología de los Alimentos y sus Procesos de Elaboración* (Primera edición). España: Editorial Acribia.
- Noriega-Editores. (2000). *Introducción a la Tecnología de Alimentos. Academia del Área de Plantas Piloto de Alimentos*. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V.
- Osborne, D. R., & Voogt, P. (1986). *Análisis de los Nutrientes de los Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Ospina Meneses, S. M., & Cartagena Valenzuela, J. R. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista De Investigación*, 5(2), 112-123.



- Ostrovski, A. (1980). *Fundamentos de la Tecnología de los Productos Alimenticios*. URSS: Editorial MIR.
- Ozdemir, M., & Floros, J. D. (2004). Active Food Packaging Technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(3), 185-193.
- Pardavé Livia, W. (2004). *Envases y Medio Ambiente* (Segunda edición). Colombia: Ecoe Ediciones.
- Parsons, D. (1983). *Manual para la Educación Agropecuaria. Cucurbitáceas. Área de Producción Vegetal*. México: Trillas.
- Pastrana, R., & Hernández, H. (1988). *Análisis de Conservas de Frutas y Vegetales. Primera Reimpresión*. Cuba: Editorial Pueblo y Educación.
- Piergiovanni, L., & Limbo, S. (2010). *Food Packaging. Materiali, Tecnologie e Qualità degli Alimenti*. Italia: Springer-Verlag.
- Pini, R. O. (2009). *Conservación de Alimentos en Envases de Hojalata*. Argentina: Alsina.
- Pola, A. (2009). *Gestión de la calidad*. España: Editorial Marcombo.
- Ponce, N. C. (2014). *Tubérculos Andinos. Conservación y Uso desde una Perspectiva Agroecológica*. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Potter, N. N., & Hotchkiss, J. H. (1999). *Ciencia de los Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Rahman, M. (2003). *Manual de Conservación de Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Rauch, H. (1987). *Fabricación de Mermeladas*. España: Editorial Acribia.
- Rees, J., & Bettison, J. (1994). *Procesado Térmico y Envasado de los Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Richardson, P. (2001). *Thermal Technologies in Food Processing*. USA: CRC press.
- Robertson, G. L. (2017). Envasado de Alimentos. En G. Campbell-Platt (Editor), *Ciencia y Tecnología de los Alimentos* (pp. 291-311). España: Editorial Acribia, S.A.
- Robinson, D. (1991). *Bioquímica y Valor Nutritivo de los Alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Rodríguez-Sauceda, R., Rojo-Martínez, G. E., Martínez-Ruiz, R., Piña-Ruiz, H. H., Ramírez-Valverde, B., Vaquera-Huerta, H., & Cong-Hermida, M. d. I. C. (2014). Envases Inteligentes para la Conservación de Alimentos. *Ra Ximhai*, 10(6), 151-173.
- Rodríguez Peula, M. (2013). *Envasado y Empaquetado de Productos Alimenticios*. España: IC Editorial.
- Rojas, C., Aguilar, L., & Tripaldi, P. (2010). Desarrollo y Optimización de un Producto Untable a Base de Soya. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 23(2), 33-40.
- Rojas, C., Ballabio, D., Consonni, V., Tripaldi, P., Mauri, A., & Todeschini, R. (2016). Quantitative Structure-Activity Relationships to Predict Sweet and Non-Sweet Tastes. *Theoretical Chemistry Accounts*, 135(3), 1-13.
- Rojas, C., Duchowicz, P. R., & Castro, E. A. (2019). Foodinformatics: Quantitative Structure Property Relationship Modeling of Volatile Organic Compounds in Peppers. *Journal of Food Science*, 84(4), 770-781.
- Rojas, C., Duchowicz, P. R., Pis Diez, R., & Tripaldi, P. (2015). Applications of Quantitative Structure-Relative Sweetness Relationships in Food Chemistry. In A. G. Mercader, P. R. Duchowicz, & P. M. Sivakumar (Editors), *Chemometrics Applications and Research. QSAR in Medicinal Chemistry* (pp. 317-339). USA: CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Rojas, C., Duchowicz, P. R., Tripaldi, P., & Pis Diez, R. (2015a). QSPR Analysis for the Retention Index of Flavors and Fragrances on a OV-101 Column. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 140(0), 126-132.
- Rojas, C., Duchowicz, P. R., Tripaldi, P., & Pis Diez, R. (2015b). Quantitative Structure-Property Relationship Analysis for the Retention Index of Fragrance-Like Compounds on a Polar Stationary Phase. *Journal of Chromatography A*, 1422, 277-288.
- Rojas, C., Todeschini, R., Ballabio, D., Mauri, A., Consonni, V., Tripaldi, P., & Grisoni, F. (2017). A QSTR-Based Expert System to Predict Sweetness of Molecules. *Frontiers in Chemistry*, 5(53), 1-12.
- Rojas, C., Tripaldi, P., & Duchowicz, P. R. (2016). A New QSPR Study on Relative Sweetness. *International Journal of Quantitative Structure-Property Relationships*, 1(1), 76-90.

- Rojas, C., Tripaldi, P., & Dután, H. (2011). Desarrollo y Optimización de una Infusión Aromática Tipo Tisana Aplicando Diseño de Plackett-Burman y Optimización de Máxima Pendiente. *Revista de Ciencias*, 14, 103-115.
- Rojas, C., Tripaldi, P., Pérez-González, A., Duchowicz, P. R., & Diez, R. P. (2018). A Retention Index-Based QSPR Model for the Quality Control of Rice. *Journal of Cereal Science*, 79, 303-310.
- Rojas, C., Tripaldi, P., Pérez, A., & Quinteros, P. (2012). Diseño Experimental y Métodos de Decisión Multicriterio para Optimizar la Composición del Helado Mantecado. *Scientia Agropecuaria*, 3(1), 51-60.
- Rollán, M. G. (2007). *Cultivo de Setas y Trufas*. España: Mundi-Prensa Libros.
- Romo, L. A. (1993). *Emulsiones. Fundamentos Físicoquímicos, Formulación y Aplicaciones*. Ecuador: Editorial Universitaria.
- Romo, L. A. (2002). *Planeamiento y Optimización de la Experimentación Científica. Diseño de Experimentos*. Ecuador: Editorial Universitaria.
- Romero, F., Riquelme, F., Pretel, M. T., Martínez, G., Serrano, M., Martínez, C., Lozano, P., & Luna, P. A. (1996). *Nuevas Tecnologías de Conservación de Frutas y Hortalizas. Atmósferas Modificadas*. España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Sahin, S., & Güllüm-Sumnu, S. (2009). *Propiedades Físicas de los Alimentos*. España: Editorial Acirbia, S.A.
- Salto, H. A. (1986). *Estadística de Inferencia*. Ecuador: Editorial Pio XII.
- Salto, H. A. (1993). *Diseño Experimental. Aplicación de procesos Tecnológicos*. Ecuador: Editorial Pio XII.
- Salto, H. A. (2001). Aplicaciones de Estadística en la Industria Alimentaria. En J. de D. Alvarado & J. M. Aguilera (Editores), *Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos* (pp. 369-399). España: Editorial Acirbia, S.A.
- Salto, H. A. (2010). *Sensometría. Análisis en el Desarrollo de Alimentos Procesados*. Ecuador: Editorial Pedagógica Freire.
- Sánchez, M. T. (2003). *Procesos de Elaboración de Alimentos y Bebidas* (Primera edición). España: AMV Ediciones. Mundi-Prensa.
- Serrano, O., López, M. F., & Carmen, M. (2012). *Aspectos Bromatológicos y Toxicológicos de Colorantes y Conservantes*. España: Ediciones Díaz de Santos.
- Seymour, J. (1981). *El Horticultor Autosuficiente* (Primera edición). España: Editorial Blume.
- Shallenberger, R. S. (1993). *Taste Chemistry*. USA: Springer.
- Sharma, S. K., Mulvaney, S. J., & Rizvi, S. S. H. (2003). *Ingeniería de Alimentos. Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio*. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.
- Silva, C. L. M., Gonçalves, E. M., & Brandão, T. R. S. (2018). Congelación de Frutas y Hortalizas. En J. A. Evans (Editor), *Ciencia y Tecnología de los Alimentos Congelados* (pp. 203-224). España: Editorial Acirbia, S.A.
- Singh, R. P. (2017). Ingeniería de Alimentos. En G. Campbell-Platt (Editor), *Ciencia y Tecnología de los Alimentos* (pp. 259-290). España: Editorial Acirbia, S.A.
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2014). *Introduction to Food Engineering* (Fifth edition). USA: Academic Press.
- Sobral, P., Alvarado, J. de D., Zaritzky, N., Laurindo, J., Gomez-Guillen, C., Anon, M., Montero, P., Denavi, G., Molina Ortiz, S., Mauri, A., Pinotti, A., García, M., Martino, M., & Carvalho, R. (2008). Films Based on Biopolymer from Conventional and Non-Conventional Sources. In G. Gutierrez-López, G. Barbosa-Cánovas, J. Welti-Chanes, & E. Parada-Arias (Editors), *Food Engineering. Intergrated Approaches* (pp. 193-223).
- Somoza, E., & Gandman, A. (2004). *Packaging. Aprender el Envase*. Argentina: Editorial Nobuko.
- Steffe, J. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering* (Second edition). USA: Freeman Press.
- Stone, H., & Bleibaum, R. N. (2017). Análisis Estadístico. En G. Campbell-Platt (Editor), *Ciencia y Tecnología de los Alimentos* (pp. 359-370). España: Editorial Acirbia, S.A.

- Sun, D.-W. (2005). *Emerging Technologies for Food Processing*. USA: Elsevier.
- Sun, D.-W. (2009). *Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control*. USA: Academic Press.
- Teixeira, A. (2007). Thermal Processing of Canned Foods. In D. R. Heldman & D. B. Lund (Editors), *Handbook of Food Engineering* (Second edition) pp. 745-797: CRC Press.
- Tetra Pak, <http://www.tetrapak.com>.
- Tinoco, M., Rojas, C., Tripaldi, P., Criollo, M., & Huallasaca, L. (2011). Aplicación de Funciones de Decisión Multicriterio y Diseño Plackett-Burman para el Estudio de la Calidad Sensorial de Mortadelas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 142-157.
- Todeschini, R., Consonni, V., Ballabio, D., & Mauri, A. (2012). *La Metodologia della Ricerca Sperimentale*. Italia: Milano chemometrics and QSAR research group, Università degli Studi di Milano-Bicocca.
- Toledo, R. T. (2007). *Fundamentals of Food Process Engineering* (Third edition). USA: Springer.
- Tummers Simon Dryers Technology, <http://www.simon-dryers.co.uk/>.
- van der Wel, H., van der Heijden, A., & Peer, H. (1987). Sweeteners. *Food Reviews International*, 3(3), 193-268.
- Vanaclocha, A. C., & Abril Requena, J. (2003). *Procesos de Conservación de Alimentos* (Segunda edición): Mundi-Prensa.
- Vasconcellos, J. A. (2004). *Quality Assurance for the Food Industry. A Practical Approach*. USA: CRC Press.
- Vélez Ruíz, J. F. (2001). Actividad Acuosa. En J. de D. Alvarado & J. M. Aguilera (Editores), *Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos* (pp. 237-262). España: Editorial Acribia, S.A.
- Vera, D., & Díez, M. J. C. (2016). Efecto del Envasado en Atmosfera Modificada sobre la Conservación de la Carne de Ternera Liofilizada. *Investigación Agraria*, 18(1), 15-21.
- Vergara Medero, M., & Acosta González, F. (1986). *Introducción a la Tecnología de los Alimentos*. Cuba: Editorial Pueblo y Educación.
- Véronique, C. (2008). Bioactive Packaging Technologies for Extended Shelf Life of Meat-Based Products. *Meat Science*, 78(1-2), 90-103.
- Vicente, A. M. (2014). *Los Aditivos en los Alimentos*. España: AMV Ediciones.
- Wagner, W., & Kretzschmar, H.-J. (2008). *International Steam Tables*. German: Springer-Verlag.
- Yúfera, E. (1979). *Química Agrícola III. Alimentos* (Primera edición). España: Editorial Alhambra S.A.
- Zhang, H. Q., Barbosa-Cánovas, G. V., Balasubramaniam, V. B., Dunne, C. P., Farkas, D. F., & Yuan, J. T. (2011). *Nonthermal Processing Technologies for Food* (Vol. 45). USA: Wiley-Blackwell.
- Zuluaga Domínguez, C. M. (2011). Análisis Estadístico Multivariado: Una Herramienta Estratégica para el Control de Procesos y Calidad en la Industria Agroalimentaria. *Publicaciones e Investigación*, 5, 143-157.



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa 
Editora

Introducción a la **tecnología** de **conservas vegetales**

ISBN: 978-9942-822-23-9



9 789942 822239