

# Manual del procesado de los alimentos

Editor

James G. Brennan

Editorial ACRIBIA, S.A.



# Índice de contenido

	<b>Prólogo</b>	<b>xix</b>
	<b>Colaboradores</b>	<b>xxi</b>
<b>1</b>	<b>Manipulación post-cosecha y preparación de materias primas para su transformación</b>	<b>1</b>
	<i>Alistair S. Grandison</i>	
1.1	Introducción	1
1.2	Propiedades de las materias primas alimentarias y su susceptibilidad a alteraciones y daños	2
1.2.1	Propiedades de las materias primas	3
1.2.1.1	Propiedades geométricas	3
1.2.1.2	Color	4
1.2.1.3	Textura	5
1.2.1.4	Flavor	5
1.2.1.5	Propiedades funcionales	5
1.2.2	Características de las materias primas	6
1.2.3	El deterioro de las materias primas	7
1.2.4	Daños a las materias primas	7
1.2.5	Mejoras en las características del procesado a través de la selección de cultivares e ingeniería genética	7
1.3	Almacenamiento y transporte de materias primas	9
1.3.1	Almacenamiento	9
1.3.1.1	Temperatura	11
1.3.1.2	Humedad	12
1.3.1.3	Composición de la atmósfera	12
1.3.1.4	Otras consideraciones	13
1.3.2	Transporte	13
1.4	Limpieza de las materias primas	14
1.4.1	Métodos de limpieza en seco	14
1.4.2	Sistemas de limpieza húmeda	18
1.4.3	Pelado	20

1.5	Selección y clasificación	21
1.5.1	Criterios y métodos de selección	21
1.5.2	Clasificación	24
1.6	Escaldado	26
1.6.1	Mecanismos y objetivos del escaldado	26
1.6.2	Condiciones de procesado	28
1.6.3	Equipamiento para el escaldado	28
1.7	Sulfitado de frutas y hortalizas	29
	Referencias	30
<b>2</b>	<b>Procesado térmico</b>	<b>33</b>
	<i>Michael J. Lewis</i>	
2.1	Introducción	33
2.1.1	Razones para el calentamiento de los alimentos	33
2.1.2	Aspectos de seguridad y calidad	34
2.1.3	Tipo de productos	35
2.2	Cinéticas de las reacciones	36
2.2.1	Inactivación microbiana	36
2.2.2	Resistencia al calor a temperatura constante	38
2.3	Dependencia de la temperatura	39
2.3.1	Procesado continuo y discontinuo	41
2.3.2	Intercambiadores de calor continuo	44
2.4	Métodos de calentamiento	48
2.4.1	Termización	49
2.4.2	Pasteurización	49
2.4.2.1	Pasteurización HTST	50
2.4.2.2	Pasteurizadores de túnel (aspersión)	54
2.4.3	Esterilización	54
2.4.3.1	Esterilización de los alimentos dentro del envase	54
2.4.3.2	Esterilización continua UHT	62
2.4.3.3	Problemas especiales con los productos viscosos y particulados	68
2.5	Procedimiento de llenado	69
2.6	Almacenamiento	70
	Referencias	70
<b>3</b>	<b>Evaporación y deshidratación</b>	<b>73</b>
	<i>James G. Brennan</i>	
3.1	Evaporación (concentración, condensación)	73
3.1.1	Principios generales	73
3.1.2	Equipo usado en la evaporación al vacío	75
3.1.2.1	Calderas al vacío	75
3.1.2.2	Evaporadores al vacío de tubos cortos	76
3.1.2.3	Evaporadores de tubos largos	77
3.1.2.4	Evaporadores de placas	78
3.1.2.5	Evaporadores de película delgada agitada	79
3.1.2.6	Evaporadores centrífugos	79
3.1.2.7	Equipo auxiliar	79
3.1.3	Evaporador de múltiple efecto (MEE)	80
3.1.4	Recompresión del vapor	81
3.1.5	Aplicaciones de la evaporación	82
3.1.5.1	Productos líquidos concentrados	82

3.1.5.2	La evaporación como paso previo a un posterior proceso	83
3.1.5.3	El uso de la evaporación para reducir los costos de transporte, almacenamiento y envasado	85
3.2	Deshidratación (secado)	87
3.2.1	Principios generales	87
3.2.2	Secado de alimentos sólidos en aire caliente	88
3.2.3	Equipo usado en el secado por aire caliente de alimentos sólidos	90
3.2.3.1	Secadero de armario (bandeja)	90
3.2.3.2	Secadero de túnel	90
3.2.3.3	Secadero de cinta transportadora	91
3.2.3.4	Secadero de arcón	92
3.2.3.5	Secadero de lecho fluidizado	92
3.2.3.6	Secadero neumático (flash)	94
3.2.3.7	Secadero rotatorio	95
3.2.4	Secado de alimentos sólidos por contacto directo con una superficie caliente	96
3.2.5	Equipo usado en el secado de alimentos sólidos por contacto directo con una superficie caliente	96
3.2.5.1	Secadero de armario (bandejas o estantes) a vacío	96
3.2.5.2	Secadero a vacío de doble cono	97
3.2.6	Secado por congelación (secado por sublimación, liofilización) de alimentos sólidos	97
3.2.7	Equipo usado en el secado por congelación de alimentos sólidos	99
3.2.7.1	Liofilizador de cabina (discontinuo)	99
3.2.7.2	Liofilizador de túnel (semicontinuo)	100
3.2.7.3	Liofilizador continuo	100
3.2.7.4	Atomizador liofilizador a vacío	101
3.2.8	Secado por aplicación de energía radiante (infrarrojos)	101
3.2.9	Secado por aplicación de energía dieléctrica	102
3.2.10	Deshidratación osmótica	104
3.2.11	Secado al sol o secado solar	106
3.2.12	Secado de alimentos líquidos y pastas en aire caliente	107
3.2.12.1	Secado por atomización	107
3.2.13	Secado de líquidos y papillas por contacto directo con una superficie caliente	112
3.2.13.1	Secadero de tambor (rodillo, película)	112
3.2.13.2	Secadero de banda (cinta) a vacío	114
3.2.14	Otros métodos usados para secar líquidos y papillas	115
3.2.15	Aplicaciones de la deshidratación	116
3.2.15.1	Productos de hortalizas deshidratadas	116
3.2.15.2	Productos de frutas deshidratadas	117
3.2.15.3	Productos lácteos deshidratados	119
3.2.15.4	Café y té instantáneos	120
3.2.15.5	Productos cárnicos deshidratados	120
3.2.15.6	Productos derivados de la pesca deshidratados	121
3.2.16	Estabilidad de los alimentos deshidratados	121
	Referencias	124
<b>4</b>	<b>Conservación por frío</b>	<b>127</b>
	<i>José Mauricio Pardo y Keshavan Niranján</i>	
4.1	Introducción	127
4.2	Métodos y equipos de enfriamiento	127
4.2.1	Sistemas de contacto con placas	128

4.2.2	Sistemas de contacto con aire	128
4.2.3	Sistema de contacto por inmersión y por aspersión	129
4.2.4	Congelación criogénica	129
4.3	Producción de frío	130
4.3.1	Ciclo de la refrigeración mecánica	131
4.3.1.2	Ciclo real del enfriamiento (ciclo de compresión de vapor estándar)	133
4.3.2	Equipamiento de un sistema de enfriamiento mecánico	134
4.3.2.1	Evaporadores	134
4.3.2.2	Condensadores	135
4.3.2.3	Compresores	137
4.3.2.4	Válvulas de expansión	137
4.3.2.5	Refrigerantes	137
4.3.3	Términos normalmente utilizados en el diseño del sistema de enfriamiento	139
4.3.3.1	Capacidad de enfriamiento	139
4.3.3.2	Coefficiente de rendimiento (COP)	139
4.3.3.3	Velocidad de flujo del refrigerante	140
4.3.3.4	Trabajo realizado por el compresor	140
4.3.3.5	Transferencia de calor en el condensador y en el evaporador	140
4.4	Cinética de la congelación	140
4.4.1	Formación de la microestructura durante la solidificación	142
4.4.2	Modelos matemáticos de la cinética de congelación	143
4.4.2.1	Modelo de Neumann	143
4.4.2.2	Modelo de Plank	144
4.4.2.3	Modelo de Cleland	144
4.5	Efectos del enfriamiento sobre la calidad de los alimentos	146
	Referencias	146
<b>5</b>	<b>Irradiación</b>	<b>149</b>
	<i>Alistair S. Grandison</i>	
5.1	Introducción	149
5.2	Principios de la irradiación	149
5.2.1	Efectos físicos	150
5.2.2	Efectos químicos	154
5.2.3	Efectos biológicos	155
5.3	Equipo	156
5.3.1	Fuentes de isótopos	156
5.3.2	Fuentes de máquinas	159
5.3.3	Control y dosimetría	160
5.4	Aspecto sobre seguridad	161
5.5	Efectos sobre las propiedades de los alimentos	162
5.6	Métodos de detección de alimentos irradiados	163
5.7	Aplicaciones y posibles aplicaciones	165
5.7.1	Efectos generales y mecanismos de irradiación	166
5.7.1.1	Inactivación de microorganismos	166
5.7.1.2	Inhibición de la germinación	167
5.7.1.3	Retraso de la maduración y senescencia	168
5.7.1.4	Desinfestación de insectos	168
5.7.1.5	Eliminación de parásitos	168
5.7.1.6	Efectos variados sobre las propiedades de los alimentos y el procesado	169
5.7.1.7	Tratamientos combinados	169
5.7.2	Aplicaciones a clases particulares de alimentos	169
5.7.2.1	Carne y productos cárnicos	169

5.7.2.2	Pescado y marisco	170
5.7.2.3	Frutas y verduras	171
5.7.2.4	Bulbos y tubérculos	171
5.7.2.5	Especias y hierbas	172
5.7.2.6	Cereales y productos de cereales	172
5.7.2.7	Otros alimentos	172
	Referencias	173
<b>6</b>	<b>Procesado con alta presión</b>	<b>175</b>
	<i>Margaret F. Patterson, Dave A. Leward y Nigel Rogers</i>	
6.1	Introducción	175
6.2	Efecto de la alta presión sobre los microorganismos	178
6.2.1	Esporas bacterianas	178
6.2.2	Bacterias vegetativas	179
6.2.3	Levaduras y mohos	179
6.2.4	Virus	179
6.2.5	Variación de cepas dentro de una especie	180
6.2.6	Etapas de crecimiento de los microorganismos	180
6.2.7	Magnitud y duración del tratamiento de presión	180
6.2.8	Efecto de la temperatura sobre la resistencia a la presión	181
6.2.9	Sustrato	181
6.2.10	Tratamientos combinados implicando presión	182
6.2.11	Efecto de la alta presión sobre la calidad microbiológica de los alimentos	182
6.3	Funcionalidad de los ingredientes	183
6.4	Actividad enzimática	184
6.5	Formación de espuma y emulsificación	187
6.6	Gelación	189
6.7	Consideraciones organolépticas	191
6.8	Equipo para HPP	192
6.8.1	Sistema «continuo»	192
6.8.2	Sistema «discontinuo»	193
6.9	Consideraciones sobre el recipiente de presión	195
6.9.1	Bombas de alta presión	196
6.9.2	Sistemas de control	197
6.10	Aplicaciones actuales y posibles de HPP para alimentos	197
	Referencias	199
<b>7</b>	<b>Procesado con pulsos eléctricos, ultrasonidos de potencia y otras tecnologías emergentes</b>	<b>203</b>
	<i>Craig E. Leadley y Alan Williams</i>	
7.1	Introducción	203
7.2	Procesado con pulsos eléctricos	205
7.2.1	Definición de procesado con pulsos eléctricos	205
7.2.2	Procesado con pulsos eléctricos – Breve historia	205
7.2.3	Efectos de los PEAIC sobre los microorganismos	206
7.2.3.1	Ruptura eléctrica	206
7.2.3.2	Electroporación	207
7.2.4	Factores críticos de la inactivación de microorganismos mediante PEAIC	207
7.2.4.1	Factores del proceso	207
7.2.4.2	Factores del producto	208
7.2.4.3	Factores microbiológicos	208
7.2.5	Efectos de los PEAIC sobre los enzimas de los alimentos	208

7.2.6	Aspectos básicos de la ingeniería de PEAIC	210
7.2.6.1	Formas de pulsos	210
7.2.6.2	Diseños de cámaras	212
7.2.7	Aplicaciones potenciales de los PEAIC	213
7.2.7.1	Usos en conservación	213
7.2.7.2	Aplicaciones distintas a la conservación	214
7.2.8	El futuro de los PEAIC	215
7.3	Ultrasonidos de potencia	216
7.3.1	Definición de ultrasonidos de potencia	216
7.3.2	Generadores de ultrasonidos de potencia	217
7.3.3	Tipos de sistemas	218
7.3.3.1	Baños de ultrasonidos	218
7.3.3.2	Sondas de ultrasonidos	218
7.3.3.3	Placas vibrantes paralelas	219
7.3.3.4	Sistemas vibratorios radiales	219
7.3.3.5	Tecnología de los ultrasonidos de potencia en medios aéreos	219
7.3.4	Aplicaciones de los ultrasonidos de potencia en la industria de alimentos	220
7.3.4.1	Oxidación acelerada por ultrasonidos	220
7.3.4.2	Estimulación ultrasónica de células vivas	220
7.3.4.3	Emulsificación ultrasónica	222
7.3.4.4	Extracción ultrasónica	222
7.3.4.5	Procesado de carne con ultrasonidos	222
7.3.4.6	Cristalización	222
7.3.4.7	Desgasificación	223
7.3.4.8	Filtración	223
7.3.4.9	Secado	223
7.3.4.10	Efecto de los ultrasonidos en la transmisión de calor	224
7.3.5	Inactivación de microorganismos por ultrasonidos de potencia	224
7.3.5.1	Mecanismo de acción de los ultrasonidos	224
7.3.5.2	Factores que afectan a la cavitación	225
7.3.5.3	Factores que afectan a la sensibilidad de los microorganismos a los ultrasonidos	226
7.3.5.4	Efecto del medio de tratamiento	226
7.3.5.5	Tratamientos combinados	227
7.3.6	Efecto de los ultrasonidos de potencia sobre los enzimas	229
7.3.7	Efectos de los ultrasonidos sobre la calidad de los alimentos	229
7.3.8	El futuro de los ultrasonidos de potencia	230
7.4	Otras tecnologías potenciales	231
7.4.1	Pulsos luminosos	231
7.4.2	Descargas de arco eléctrico de alto voltaje	231
7.4.3	Campos magnéticos oscilantes	232
7.4.4	Procesado con plasma	232
7.4.5	Pasteurización con dióxido de carbono	233
7.5	Conclusiones	233
	Referencias	234
<b>8</b>	<b>Panificación, extrusión y fritura</b>	<b>239</b>
	<i>Bogdan J. Dobraszczyk, Paul Ainsworth, Senol Ibanoglu y Pedro Bouchon</i>	
8.1	Proceso de panificación del pan	239
8.1.1	Principios generales	239
8.1.2	Métodos de producción de pan	241
8.1.2.1	Fermentación en masa	241

8.1.2.2	Proceso de panificación Chorleywood	242
8.1.3	El proceso de panificación	244
8.1.3.1	Amasado	244
8.1.3.2	Fermentación	245
8.1.3.3	Cocción	246
8.1.4	Estructura del polímero de gluten, reología y cocción	247
8.1.5	Calidad para la panificación y reología	251
8.2	Extrusión	254
8.2.1	Principios generales	254
8.2.1.1	El proceso de extrusión	254
8.2.1.2	Ventajas de la extrusión	256
8.2.2	Equipos para realizar la extrusión	257
8.2.2.1	Extrusores de tornillo simple	258
8.2.2.2	Extrusores de tornillos gemelos	259
8.2.2.3	Comparación de los extrusores de tornillos simples y tornillos gemelos	260
8.2.3	Efecto de la extrusión sobre las propiedades de los alimentos	262
8.2.3.1	Extrusión de productos amiláceos	262
8.2.3.2	Cambios nutricionales	268
8.2.3.3	Generación y retención del aroma durante la extrusión	271
8.3	Fritura	273
8.3.1	Principios generales	273
8.3.1.1	El proceso de fritura	273
8.3.1.2	Productos fritos	274
8.3.2	Equipos para freír	275
8.3.2.1	Equipos de fritura por módulos	275
8.3.2.2	Equipos de fritura en continuo	276
8.3.2.3	Sistema de reducción de aceite	277
8.3.3	Aceites de fritura	277
8.3.4	Producción de patatas fritas en tiras y patatas fritas crujientes en láminas	279
8.3.4.1	Producción de patatas fritas en tiras	280
8.3.4.2	Producción de patatas fritas crujientes en láminas	280
8.3.5	Transferencia de calor y masa durante la fritura por inmersión	281
8.3.6	Modelización de la fritura por inmersión	282
8.3.7	Cinética de la absorción de aceite	283
8.3.8	Factores que afectan a la absorción de aceite	284
8.3.9	Cambios microestructurales durante la fritura por inmersión	285
	Referencias	287
<b>9</b>	<b>Envasado</b>	<b>295</b>
	<i>James G. Brennan y Brian P. F. Day</i>	
9.1	Introducción	295
9.2	Factores que afectan a la elección del material de envasado y/o del recipiente para un uso determinado	296
9.2.1	Daño mecánico	296
9.2.2	Características de permeabilidad	297
9.2.3	Impermeabilidad a las grasas y aceites	298
9.2.4	Temperatura	299
9.2.5	Luz	299
9.2.6	Compatibilidad química entre el material de envasado y el contenido del envase	299
9.2.7	Protección frente a la contaminación microbiana	301
9.2.8	Contaminación ligada a las características del envase	301
9.2.9	Protección frente a la infestación por insectos y roedores	302



9.2.10	Malos olores	302
9.2.11	Envases resistentes/con características que evidencian la manipulación	303
9.2.12	Otros factores	303
9.3	Materiales y recipientes utilizados para el envasado de alimentos	304
9.3.1	Papeles, cartones y cartón fibra	304
9.3.1.1	Papeles	304
9.3.1.2	Cartones	305
9.3.1.3	Pulpa moldeada	306
9.3.1.4	Cartón fibra	306
9.3.1.5	Recipientes compuestos	307
9.3.2	Recipientes de madera	307
9.3.3	Tejidos	307
9.3.4	Películas flexibles	308
9.3.4.1	Celulosa regenerada	309
9.3.4.2	Acetato de celulosa	310
9.3.4.3	Polietileno	310
9.3.4.4	Cloruro de polivinilo	310
9.3.4.5	Cloruro de polivinilideno	311
9.3.4.6	Polipropileno	311
9.3.4.7	Poliéster	312
9.3.4.8	Poliestireno	312
9.3.4.9	Poliamidas	312
9.3.4.10	Policarbonato	313
9.3.4.11	Politetrafluoroetileno	313
9.3.4.12	Ionómeros	313
9.3.4.13	Copolímeros etileno-acetato de vinilo	313
9.3.5	Películas metalizadas	314
9.3.6	Laminados flexibles	314
9.3.7	Equipos de termosellado	315
9.3.8	Envasado de laminados y películas flexibles	316
9.3.9	Recipientes plásticos rígidos y semirrígidos	318
9.3.9.1	Termoformado	318
9.3.9.2	Moldeo en masa	319
9.3.9.3	Moldeo por inyección	319
9.3.9.4	Moldeo por compresión	319
9.3.10	Materiales y recipientes metálicos	319
9.3.10.1	Papel de aluminio	319
9.3.10.2	Hojalata	320
9.3.10.3	Acero cromado electrolíticamente	323
9.3.10.4	Aleación de aluminio	323
9.3.10.5	Recipientes metálicos	324
9.3.11	Vidrio y recipientes de vidrio	326
9.4	Envasado en atmósfera modificada	329
9.5	Envasado aséptico	331
9.6	Envasado activo	335
9.6.1	Información preliminar	335
9.6.2	Eliminadores de oxígeno	338
9.6.3	Eliminadores/Emisores de dióxido de carbono	340
9.6.4	Eliminadores de etileno	341
9.6.5	Emisores de etanol	342
9.6.6	Liberadores de conservantes	343
9.6.7	Absorbentes de humedad	345

9.6.8	Adsorbentes de sabores y olores	346
9.6.9	Envasado con control de temperatura	347
9.6.10	Seguridad alimentaria, aceptabilidad del consumidor y aspectos normativos	348
9.6.11	Conclusiones	349
	Referencias	350
<b>10</b>	<b>Seguridad en el procesado de los alimentos</b>	<b>355</b>
	<i>Carol A. Wallace</i>	
10.1	Introducción	355
10.2	Diseño seguro	355
10.2.1	Los peligros de seguridad alimentaria	356
10.2.2	Factores intrínsecos	358
10.2.3	Tecnologías del procesado de los alimentos	359
10.2.4	Problemas de envasado de alimentos	359
10.3	Los programas de prerrequisitos de buenas prácticas de fabricación	359
10.3.1	Programas de prerrequisitos: los fundamentales	361
10.3.2	Validación y comprobación de los programas de prerrequisitos	365
10.4	Sistema APPCC; Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico	366
10.4.1	Desarrollando un Sistema de APPCC	367
10.4.2	Ejecución y mantenimiento de un sistema de APPCC	374
10.4.3	Control permanente de seguridad alimentaria en el procesado	375
	Referencias	376
<b>11</b>	<b>Control de procesos en la tecnología de los alimentos</b>	<b>377</b>
	<i>Keshavan Niranjan, Araya Ahromrit y Ahok S. Khare</i>	
11.1	Introducción	377
11.2	Medida de los parámetros de un proceso	378
11.3	Sistemas de control	378
11.3.1	Control manual	378
11.3.2	Control automático	380
11.3.2.1	Controlador on/off (dos posiciones)	380
11.3.2.2	Controlador proporcional	381
11.3.2.3	Controlador integral proporcional	382
11.3.2.4	Controlador proporcional integral derivativo	383
11.4	El control de procesos en las industrias alimentarias modernas	384
11.4.1	Controlador lógico programable	385
11.4.2	Control supervisado de la adquisición de datos	386
11.4.3	Sistemas de ejecución de procesos	386
11.5	Resumen	388
	Referencias	388
<b>12</b>	<b>Aspectos ambientales del procesado de los alimentos</b>	<b>389</b>
	<i>Niharika Mishra, Ali Abd El-Aal Bakr y Keshavan Niranjan</i>	
12.1	Introducción	389
12.2	Características de los residuos	390
12.2.1	Residuos sólidos	391
12.2.2	Residuos líquidos	391
12.2.3	Residuos gaseosos	391
12.3	Tecnología del procesado de residuos líquidos	391
12.4	Recuperación de productos a partir de los residuos de las industrias alimentarias	392
12.5	Impacto ambiental de los residuos de envasado	393
12.5.1	Mínimización del envasado	394

12.5.2	Reciclado de los materiales de envase	394
12.6	Refrigerantes	396
12.7	Efectos ambientales del uso de la energía	398
12.8	Evaluación del ciclo vital	400
	Referencias	401
<b>13</b>	<b>Tratamiento del agua y de los efluentes</b>	<b>403</b>
	<i>R. Andrew Wilbey</i>	
13.1	Introducción	403
13.2	Abastecimiento de agua	403
13.2.1	Tratamientos primarios	404
13.2.2	Aireación	405
13.2.3	Coagulación, floculación y clarificación	405
13.2.4	Filtración	407
13.2.5	Desinfección	410
13.2.5.1	Cloración	411
13.2.5.2	Ozono	412
13.2.6	Agua para las calderas	413
13.2.7	Agua de refrigeración	413
13.3	Aguas residuales	414
13.3.1	Tipos de residuos de las operaciones alimentarias	415
13.3.2	Tratamientos físicos	416
13.3.3	Tratamientos químicos	417
13.3.4	Tratamientos biológicos	418
13.3.4.1	Tratamiento aeróbico – Películas superficiales	418
13.3.4.2	Tratamiento aeróbico – Biomasa suspendida	421
13.3.4.3	Tratamiento aeróbico – Baja tecnología	423
13.3.4.4	Tratamientos anaeróbicos	425
13.3.4.5	Aprovechamiento del biogás	429
13.4	Desecho de los lodos	429
13.5	Desecho final de las aguas residuales	430
	Referencias	431
<b>14</b>	<b>Separaciones en el procesado de alimentos</b>	<b>433</b>
	<i>James G. Brennan, Alistair S. Grandison y Michael J. Lewis</i>	
14.1	Introducción	433
14.1.1	Separaciones de sólidos	434
14.1.1.1	Separaciones sólido-sólido	434
14.1.1.2	Separación de una matriz sólida	434
14.1.2	Separaciones de líquidos	434
14.1.2.1	Separaciones líquido-sólido	434
14.1.2.2	Líquidos inmiscibles	435
14.1.2.3	Separaciones de líquidos en general	435
14.1.3	Separaciones de gases y vapores	435
14.2	Filtración sólido-líquido	436
14.2.1	Principios generales	436
14.2.2	Medio de filtración	437
14.2.3	Coadyuvantes de la filtración	438
14.2.4	Equipos de filtración	439
14.2.4.1	Filtros de presión	439
14.2.4.2	Filtros a vacío	442
14.2.4.3	Filtros de centrifuga (Centrífugas filtrantes, centrífugas de cesto)	444

14.2.5	Aplicaciones de la filtración en el procesado de alimentos	446
14.2.5.1	Refinado de aceites comestibles	446
14.2.5.2	Refinado de azúcar	446
14.2.5.3	Producción de cerveza	446
14.2.5.4	Producción de vino	447
14.3	Centrifugación	447
14.3.1	Principios generales	447
14.3.1.1	Separación de líquidos inmiscibles	447
14.3.1.2	Separaciones de sólidos insolubles de líquidos	449
14.3.2	Equipos de centrifugación	450
14.3.2.1	Separadores centrífugos líquido-líquido	450
14.3.2.2	Separadores centrífugos sólido-líquido	451
14.3.3	Aplicaciones de la centrifugación en el procesado de alimentos	453
14.3.3.1	Productos lácteos	453
14.3.3.2	Refinado de aceites comestibles	454
14.3.3.3	Producción de cerveza	454
14.3.3.4	Elaboración de vino	454
14.3.3.5	Procesado de zumos de fruta	455
14.4	Extracción sólido-líquido (Lixiviación)	455
14.4.1	Principios generales	455
14.4.2	Equipos de extracción	458
14.4.2.1	Extractores de contacto simple	458
14.4.2.2	Extractores de múltiples contactos de lecho estático	459
14.4.2.3	Extractores de múltiples contactos de lecho móvil	460
14.4.3	Aplicaciones de la extracción sólido-líquido en el procesado de alimentos	461
14.4.3.1	Extracción de aceites comestibles	461
14.4.3.2	Extracción de azúcar de remolacha	462
14.4.3.3	Fabricación de café instantáneo	462
14.4.3.4	Elaboración de té instantáneo	463
14.4.3.5	Extracción de zumos de frutas y verduras	463
14.4.4	Uso de dióxido de carbono supercrítico como disolvente	463
14.5	Destilación	464
14.5.1	Principios generales	464
14.5.2	Equipos de destilación	468
14.5.2.1	Alambiques	468
14.5.2.2	Columnas de destilación continuas (fraccionamiento)	468
14.5.3	Aplicaciones de la destilación en el procesado de alimentos	470
14.5.3.1	Elaboración de güisqui	470
14.5.3.2	Elaboración de bebidas alcohólicas neutras	471
14.6	Cristalización	473
14.6.1	Principios generales	473
14.6.1.1	Estructura de los cristales	474
14.6.1.2	El proceso de cristalización	475
14.6.2	Equipos utilizados en las operaciones de cristalización	477
14.6.3	Aplicaciones a la industria alimentaria	479
14.6.3.1	Producción de azúcar	479
14.6.3.2	Producción de sal	479
14.6.3.3	Aliños de ensalada y mayonesa	479
14.6.3.4	Margarina y grasas para pastelería	480
14.6.3.5	Concentración por congelación	480
14.7	Procesos de membrana	480
14.7.1	Introducción	480

14.7.2	Terminología	480
14.7.3	Características de las membranas	483
14.7.4	Caudal	483
14.7.5	Fenómenos de transporte y polarización de la concentración	484
14.7.6	Equipos de membranas	485
14.7.7	Configuración de las membranas	486
14.7.8	Consideraciones de seguridad e higiene	490
14.7.9	Aplicaciones de la ósmosis inversa	490
14.7.9.1	Procesado de leche	490
14.7.9.2	Otros alimentos	491
14.7.10	Aplicaciones de la nanofiltración	492
14.7.11	Aplicaciones de la ultrafiltración	492
14.7.11.1	Productos lácteos	492
14.7.11.2	Proteínas de aceites vegetales y de semillas	494
14.7.11.3	Productos animales	494
14.7.12	Aplicaciones de la microfiltración	495
14.8	Intercambio iónico	497
14.8.1	Principios generales	497
14.8.2	Equipos de intercambio iónico	499
14.8.3	Aplicaciones del intercambio iónico en la industria alimentaria	502
14.8.3.1	Ablandamiento y desmineralización	502
14.8.3.2	Decoloración	504
14.8.3.3	Purificación de proteínas	504
14.8.3.4	Otras separaciones	505
14.8.4	Conclusión	506
14.9	Electrodiálisis	506
14.9.1	Principios generales y equipos	506
14.9.2	Aplicaciones de la electrodiálisis	508
	Referencias	510
<b>15</b>	<b>Mezcla, emulsión y reducción de tamaño</b>	<b>515</b>
	<i>James G. Brennan</i>	
15.1	Mezcla y agitación	515
15.1.1	Introducción	515
15.1.2	Mezcla de líquidos de viscosidad baja y moderada	515
15.1.2.1	Agitador de paletas	517
15.1.2.2	Agitadores de turbina	517
15.1.2.3	Agitador de hélice	518
15.1.3	Mezcla de líquidos de alta viscosidad, de pastas, y de sólidos plásticos	519
15.1.3.1	Mezcladoras de paletas	521
15.1.3.2	Mezcladoras de artesa o de bandeja	521
15.1.3.3	Amasadoras (dispersadoras, masticadoras)	521
15.1.3.4	Mezcladoras continuas para materiales pastosos	521
15.1.3.5	Mezcladoras estáticas continuas	522
15.1.4	Mezcla de sólidos pulverulentos	522
15.1.4.1	Mezcladoras de cinta o tornillo horizontal	524
15.1.4.2	Mezcladoras de tornillo vertical	524
15.1.4.3	Mezcladoras de volteo	524
15.1.4.4	Mezcladoras de lecho fluidizados	525
15.1.5	Mezcla de gases y líquidos	525
15.1.6	Aplicaciones de mezcla en el procesado de alimentos	526
15.1.6.1	Líquidos poco viscosos	526

15.1.6.2	Materiales viscosos	526
15.1.6.3	Sólidos pulverulentos	526
15.1.6.4	Dispersión de gases en líquidos	526
15.2	Emulsión	527
15.2.1	Introducción	527
15.2.2	Agentes emulsionantes	528
15.2.3	Equipos de emulsificación	529
15.2.3.1	Mezcladoras	530
15.2.3.2	Homogeneizadoras de presión	530
15.2.3.3	Homogeneizadora de hidrocizalla	532
15.2.3.4	Microfluidificadores	532
15.2.3.5	Homogeneizadoras de membrana	532
15.2.3.6	Homogeneizadores ultrasónicos	533
15.2.3.7	Molinos coloidales	533
15.2.4	Ejemplos de emulsificación en el procesado de alimentos	534
15.2.4.1	Leche	535
15.2.4.2	Mezclas para helados	535
15.2.4.3	Cremas de licor	535
15.2.4.4	«Blanqueadores» de té y café	535
15.2.4.5	Aderezos para ensalada	536
15.2.4.6	Productos cárnicos	536
15.2.4.7	Productos de panadería y pastelería	537
15.2.4.8	Mantequillas	537
15.2.4.9	Margarina y cremas para untar (spreads)	539
15.3	Reducción de tamaño de sólidos (trituración, desmenuzamiento, fricción, molienda)	539
15.3.1	Introducción	539
15.3.2	Equipos de reducción de tamaño	543
15.3.2.1	Algunos factores a considerar al elegir equipos de reducción de tamaño	543
15.3.2.2	Molinos de rodillos (Rodillos de aplastamiento)	544
15.3.2.3	Molinos de impacto o percusión	547
15.3.2.4	Molinos de fricción	550
15.3.2.5	Molinos gravitatorios	552
15.3.3	Ejemplos de reducción de tamaño de sólidos en el procesado de alimentos	553
15.3.3.1	Cereales	553
15.3.3.2	Chocolate	556
15.3.3.3	Granos de café	557
15.3.3.4	Semillas y nueces oleosas	558
15.3.3.5	Caña de azúcar	558
	Referencias	560

## Índice alfabético

563