

# LA CIENCIA del

# CHOCOLATE

STEPHEN T. BECKETT

TX791  
B42  
2000  
EJ.2

Editorial ACRIBIA, S.A.



# **LA CIENCIA DEL CHOCOLATE**

# La ciencia del chocolate

**STEPHEN T. BECKETT**

*Nestlé Product Technology Centre,  
Haxby Road, York YO91 1XY, UK*

Traducido por

**Dr. Antonio Vercet Tormo**

*Departamento de Tecnología de los Alimentos  
Facultad de Veterinaria, Zaragoza*

**Editorial ACRIBIA, S.A.  
ZARAGOZA (España)**

*Título original:* The Science of Chocolate  
*Autor:* Stephen T. Beckett  
*Editorial:* The Royal Society of Chemistry  
Thomas Graham House, Science Park, Milton Road,  
Cambridge CB4 0WF, UK

---

© The Royal Society of Chemistry 2000  
© De la edición en lengua española  
Editorial Acribia, S.A., Apartado 466  
50080 ZARAGOZA (España)

---

I.S.B.N.: 84-200-0963-6

[www.editorialacribia.com](http://www.editorialacribia.com)

IMPRESO EN ESPAÑA

PRINTED IN SPAIN

---

Depósito legal: HU-496/2001

Editorial ACRIBIA S.A.- Royo, 23 - 50006 Zaragoza (España)

---

Imprime: Grafic RM Color, S.L. C/ Ganadería, parcela 27B, nave 2. 22006 Huesca. 2002

# Índice de contenido

Prefacio .....	xi
Glosario .....	xiii
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>La historia del chocolate .....</b>	<b>1</b>
El chocolate como bebida .....	1
Comiendo chocolate .....	3
Chocolate crumb o migas de chocolate .....	6
Chocolate blanco .....	7
Marketing del chocolate en el Reino Unido .....	7
El chocolate es bueno para ti .....	8
Referencias .....	8
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>Ingredientes del chocolate .....</b>	<b>9</b>
Habas de cacao .....	9
Árboles de cacao .....	9
Principales países productores de cacao .....	10
Mazorcas de cacao .....	11
Fermentación .....	14
Proceso de fermentación .....	14
Cambios microbiológicos y químicos .....	15
Secado .....	17
Almacenamiento y transporte .....	18
Azúcar y sustitutos del azúcar .....	19
El azúcar y su producción .....	20
Azúcar cristalino y azúcar amorfo .....	21

Lactosa .....	23
Glucosa y fructosa .....	24
Polialcoholes .....	24
Polidextrosa .....	26
<b>Leche y otros productos lácteos .....</b>	<b>26</b>
Grasa láctea .....	26
Proteínas de la leche .....	28
Lches en polvo .....	29
Suero y lactosa en polvo .....	32
Chocolate crumb .....	33
Referencias .....	33
Lecturas adicionales .....	34
 <b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>Procesado del haba de cacao .....</b>	<b>35</b>
Limpieza del haba .....	35
Tostado y descascarillado .....	36
El problema de la variación del tamaño de las habas .....	36
Descascarillado o aventado .....	39
Tostado del haba .....	40
Tostado del grano y de la pasta .....	40
Tostadores .....	41
Cambios químicos durante el tostado .....	43
Reacción de Maillard .....	43
Molturación del grano de cacao .....	45
Molinos para el cacao .....	47
Molinos de impacto .....	48
Molinos de discos .....	48
Molinos de bolas .....	49
Producción de manteca de cacao y de cacao en polvo .....	50
Alcalinizado (o proceso holandés) .....	50
Manteca de cacao .....	51
Cacao en polvo .....	53
Referencias .....	54
 <b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>Fabricación del chocolate líquido .....</b>	<b>55</b>
Molturación del chocolate .....	56
Molinos separados para la reducción del tamaño de partículas .....	58
Molturación combinada o refinado .....	60
Conchado del chocolate .....	63
Cambios químicos .....	64
Reducción de la viscosidad .....	65
Máquinas para el conchado o conchas .....	67
La concha longitudinal .....	67

Conchas giratorias o rotatorias .....	68
Máquinas en continuo de pequeños volúmenes .....	71
Las tres etapas del conchado .....	72
Referencias .....	73
<b>CAPÍTULO 5</b>	
<b>Control de las propiedades de fluencia del chocolate líquido .....</b>	<b>75</b>
Viscosidad .....	76
Tamaño de partículas .....	79
Datos de distribución del tamaño de partículas .....	79
Efecto del tamaño de las partículas sobre la viscosidad .....	81
Efecto de las adiciones de grasa sobre la viscosidad .....	84
Humedad y flujo del chocolate .....	86
Los emulgentes y la viscosidad del chocolate .....	87
Lecitina .....	89
Polirricinoleato de poliglicerol .....	92
Otros emulgentes .....	93
Grado de mezclado .....	94
Referencias .....	95
<b>CAPÍTULO 6</b>	
<b>Cristalización de la grasa en el chocolate .....</b>	<b>97</b>
Estructura de la manteca de cacao .....	98
Diferentes formas cristalinas .....	100
Precristalización o atemperado .....	104
Mezclas de grasas diferentes (eutécticos de grasas) .....	106
Fat bloom o eflorescencia grasa en el chocolate .....	109
Algunos tipos de grasas vegetales distintas de la manteca de cacao .....	111
Equivalentes de la manteca de cacao (CBEs) .....	111
Interesterificación enzimática .....	112
Grasas láuricas sustitutas de la manteca de cacao (CBR láuricas) .....	113
Sustitutos no láuricos de la manteca de cacao (CBR no láuricos) .....	115
Grasas bajas en calorías .....	115
Referencias .....	117
<b>CAPÍTULO 7</b>	
<b>Fabricación de los productos con chocolate .....</b>	<b>119</b>
Atemperado .....	120
Almacenamiento del chocolate líquido .....	120
Atemperadores .....	120
Medición del atemperado .....	122
Moldeado .....	125
Tabletas sólidas .....	125
Coquillas de chocolate .....	127

Bañadoras .....	131
Mantenimiento del chocolate atemperado .....	135
Solidificación del chocolate .....	135
Túneles de enfriamiento .....	136
Grageado .....	137
Recubrimiento con chocolate .....	138
Grageado con azúcar .....	141
Referencias .....	143
<b>CAPÍTULO 8</b>	
<b>Técnicas analíticas .....</b>	<b>145</b>
Determinación del tamaño de partículas .....	145
Determinación de la humedad .....	148
Determinación del contenido en grasa .....	150
Determinación de la viscosidad .....	151
Técnicas simples para la fábrica .....	151
El método estándar .....	153
Flavor .....	154
Seguimiento de la textura .....	156
Tipo y cantidad de cristales .....	159
Resonancia Magnética Nuclear .....	159
Calorimetría diferencial de barrido .....	159
Referencias .....	161
<b>CAPÍTULO 9</b>	
<b>Envásado de los productos con chocolate .....</b>	<b>163</b>
Legislación .....	163
Nutrición .....	164
Vida útil .....	164
Envásado .....	166
Envuelta de papel de aluminio y papel .....	168
Envuelta en flow-wrap .....	169
Empaquetado robotizado .....	171
<b>CAPÍTULO 10</b>	
<b>Experimentos con chocolate y productos que lo contienen .....</b>	<b>173</b>
Experimento 1: Azúcar amorfo y cristalino .....	173
Experimento 2: Separación de las partículas .....	174
Experimento 3: Migración de la grasa .....	176
Experimento 4: Separación de la manteca de cacao .....	176
Experimento 5: Viscosidad del chocolate .....	177
Experimento 6: Tamaño de las partículas en el chocolate .....	179
Experimento 7: Efecto de la lecitina .....	180
Experimento 8: Cambiando la fase continua .....	181
Experimento 9: Atemperado del chocolate .....	182

Experimento 10: Determinación de la textura .....	183
Experimento 11: Composición del chocolate y control del peso del producto ...	184
Experimento 12: Distribuciones y probabilidades .....	185
Experimento 13: Cromatografía de los colorantes .....	186
Experimento 14: Efectividad de los diferentes materiales de envasado .....	187
Experimento 15: Viscosidad y flavor .....	189
Experimento 16: Comprobación de la resistencia al calor .....	190
Experimento 17: Coeficiente de expansión .....	191
Experimento 18: La reacción de Maillard .....	192
<b>Índice alfabético .....</b>	<b>193</b>

## Prefacio

En 1988 escribí un artículo para *School Science Review* en el cual describía algunas de las bases científicas involucradas en la fabricación de chocolate acompañadas de dos experimentos que podían desarrollarse en el aula. Como resultado de este trabajo, recibí cartas tanto de alumnos como de profesores en las que me pedían más información o nuevos experimentos. Posteriormente se puso en contacto conmigo Chris Butlin, que entonces se encontraba poniendo en marcha una optativa relacionada con alimentos para un curso nivel A en Física en Salters. Como resultado de esto se incluyó, en esta asignatura optativa, parte de la ciencia relacionada con el chocolate. La numerosas conferencias dadas por mis colegas y por mí mismo en institutos, asociaciones y universidades me convencieron de que había un interés real por esta materia y que la gente no sólo asistía por probar los bombones gratis.

Por consiguiente, cuando la RSC me planteó la posibilidad de escribir un libro completo sobre esta materia, dirigido a escuelas y universidades, accedí a hacerlo, sin darme cuenta de la cantidad de trabajo que conllevaba. Como titulado en Ciencias Físicas, el libro está enfocado de un modo natural hacia esta dirección, aunque he intentado incluir una parte importante de la química e incluso algo de matemáticas en este proyecto de trabajo. Varios de los términos químicos empleados en la industria son diferentes de los que se enseñan en las escuelas. He intentado emplear la terminología actual y he incluido un glosario con la esperanza de que sea útil para aquellos que no estén familiarizados con los términos empleados en este libro. Este glosario también explica algunas de las denominaciones técnicas propias de la industria.

Este libro debe de ser especialmente útil para alguien que esté estudiando ciencia de los alimentos en la universidad o para alguien que se vaya a incorporar a la industria de la confitería. Aunque es necesaria una cierta base científica para comprender

las secciones más difíciles, como la química de las grasas o la reacción de Maillard, la mayor parte del resto del libro puede ser leído por jóvenes de entre 16 y 18 años. Aquí he intentado mostrar como conceptos como calor latente, humedad relativa, etc., juegan un importante papel en algo aparentemente tan simple como el chocolate. Espero que al final esto resulte en un modo «indoloro» de aprender sobre estos conceptos.

Varias de las secciones son relativamente simples y pueden ser adaptadas por profesores de ciencia de GCSE\* o incluso para alumnos más pequeños. Esto es así de un modo concreto para los proyectos descritos en el Capítulo 10. Se pretende que sean tan sólo ideas básicas que puedan adaptarse en función de la edad. Todos los aparatos e ingredientes empleados deben de ser fáciles de obtener o hacer. Por supuesto deben tomarse las precauciones de seguridad adecuadas, especialmente para aquellos experimentos que conllevan el manejo de vidrio, calentamientos o reactivos químicos.

Finalmente me gustaría darle las gracias a mi mujer Dorothy por su ayuda en la lectura del borrador y por la realización del índice del libro y a nuestro hijo Richard por su ayuda con los diagramas, junto a John Birkett, Richard Crisp, Philippe Gonos, Karen Jones, Huma Lateef, John North, Helmut Traitler y Bronek Wedzicha por las correcciones del libro, la realización de las ilustraciones o la comprobación de que todos los experimentos funcionaban. También estoy agradecido a Blackwell Science, Loders Croklaan y Palsgaard Industri A/S por el permiso para reproducir diagramas y tablas y a Nestlé por su aprobación para la publicación de este libro. En concreto las Figuras 1.2, 2.3, 3.5, 3.6, 3.10, 3.13, 3.14, 4.4, 4.9, 4.10, 4.11, 5.2, 5.3, 5.8, 5.10, 5.13, 6.8, 7.1, y 7.4 son reproducciones del libro «Industrial Chocolate Manufacture and Use», con el permiso de Blackwell Science.

---

\* N. del T.: El GCSE o General Certificate of Secundary Education es el certificado académico del Reino Unido para cada una de las asignaturas de la Educación Secundaria Obligatoria.

## Glosario

**Ácido acético:** es el nombre común del ácido etanoico.

**Ácido etanodioico:** también conocido como ácido oxálico.

**Ácido etanoico:** también conocido como ácido acético.

**Ácido oxálico:** también conocido como ácido etanodioico.

**Atemperado:** proceso que asegura que la grasa del chocolate cristalice en la forma cristalina correcta.

**Bañadora:** máquina que cubre los centros de los dulces mediante el vertido de chocolate sobre los mismos.

**Chocolate blanco:** chocolate hecho con manteca de cacao, azúcar y leche en polvo.

**Chocolate crumb o miga de chocolate:** es una mezcla deshidratada de leche, azúcar y pasta de cacao utilizada como ingrediente en algunos tipos de chocolate con leche.

**Concha:** máquina que mezcla los ingredientes de los chocolate para obtener una pasta líquida y eliminar parte de los aromas no deseados.

**Equivalente a la manteca de cacao (Cocoa Butter Equivalent o CBE):** grasa que puede mezclarse en cualquier proporción con la manteca de cacao sin alterar el modo en el que cristaliza.

**Expositor:** caja que contiene un determinado número de barras o tabletas.

**Fosfoglicérido:** grasa que contiene ácido fosfórico (u otros ácidos que contengan fósforo) en forma de un éster como los glicerofosfolípidos.

**Fosfolípido:** denominación comúnmente utilizada para los fosfoglicéridos.

**Grano de cacao:** haba de cacao desprovista de la cascarilla.

**Grasa láurica:** grasa rica en ácido dodecanoico (láurico) (C12:0). Es el principal componente de las grasas de coco y de nuez de palma.

**Licor de cacao:** otra denominación de la pasta de cacao.

**Manteca de cacao:** grasa extraída por prensado del centro (grano, cotiledones) de las habas de cacao.

**Pasta de cacao:** es el grano de cacao finamente triturado. Como el chocolate, es sólido a temperatura ambiente pero por encima de 35°C se encuentra en estado líquido.

**Polimorfismo:** capacidad de una sustancia de cristalizar en diferentes formas con distintos puntos de fusión.

**Triacilglicerol:** tipo de grasas que consta de un glicerol esterificado con tres ácidos grasos.

**Triglicérido:** denominación comúnmente empleada para el triacilglicerol.

**Umbral de fluencia, límite de deslizamiento o valor mínimo (yield value):** medida relacionada con la energía necesaria para que un líquido comience a fluir, es decir, su viscosidad cuando se desplaza muy lentamente.

**Viscosidad plástica:** medida que está relacionada con la viscosidad de un líquido cuando éste se desplaza de un modo relativamente rápido.

# **La ciencia del chocolate**

## *Capítulo 1*

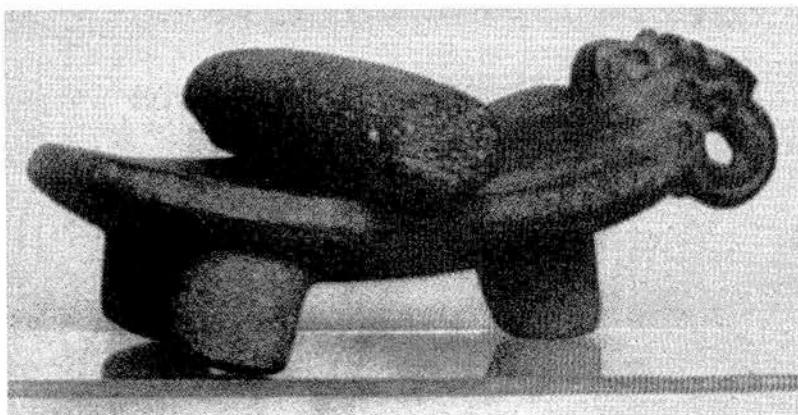
### **La historia del chocolate**

El chocolate es prácticamente un alimento único ya que se encuentra en estado sólido a temperatura ambiente pero funde rápidamente dentro de la boca. Esto se debe a que la grasa que contiene, la manteca de cacao, se encuentra en su mayor parte en estado sólido a temperaturas inferiores a 25°C lo que mantiene unidas al azúcar y a las partículas de cacao, ambos en estado sólido. Sin embargo, la grasa se encuentra casi al completo en estado líquido a la temperatura del cuerpo humano lo que permite que las partículas fluyan de modo que el chocolate pasa a ser un líquido suave cuando éste se calienta en la boca. El chocolate también tiene un sabor dulce que lo hace atractivo a la mayoría de la gente.

Aunque parezca extraño el chocolate empezó siendo una bebida bastante astringente, grasa y de sabor desagradable y el hecho de su evolución es uno de los misterios de la historia.

#### **EL CHOCOLATE COMO BEBIDA**

Las primeras plantaciones conocidas de cacao eran las que establecieron los Mayas en las tierras bajas del sur del Yucatán alrededor del 600 después de Cristo. Los árboles del cacao eran cultivados por los Aztecas en México, y los Incas en el Perú cuando los europeos descubrieron América Central. Las habas eran muy valoradas y se utilizaban como dinero, así como para elaborar una bebida denominada *chocolatl*. Las habas eran tostadas en recipientes de barro y se trituraban entre dos piedras, a veces empleando mesas decoradas a fuego y piedras para moler similares a las mostradas en la Figura 1.1. Luego podían amasarse para dar una torta, que podía mezclarse con agua caliente para obtener una bebida. A menudo se añadía vainilla, espe-



**Figura 1.1** Metate antiguo decorado junto con el cilindro para moler, procedente del Yucatán.

cias o miel y se batía la bebida para hacerla espumosa.<sup>1</sup> Se decía que el emperador azteca Moctezuma se tomaba 50 vasos de esta bebida cada día.

Cristóbal Colón trajo de vuelta a Europa algunas habas de cacao como curiosidad, pero fue sólo después de la conquista de México por parte de los españoles cuando Hernán Cortés introdujo esta bebida en España allá por 1520. Allí se le añadió el azúcar para contrarrestar el amargor y los sabores astringentes, pero la bebida permaneció siendo prácticamente desconocida en el resto de Europa durante casi cien años, llegando a Italia en 1606 y a Francia en 1657. Era cara y, como era una bebida de la aristocracia, su expansión a menudo estaba relacionada con las uniones entre las familias más poderosas. Por ejemplo, la princesa española Ana de Austria, se la dio a conocer a su esposo el rey de Francia Luis XIII y a la corte francesa en 1615. En ella, el Cardenal Richelieu la disfrutaba como bebida y como digestivo. Su sabor no gustaba a nadie y de hecho un papa declaró que esta bebida podía consumirse durante el ayuno, debido a su mal sabor.

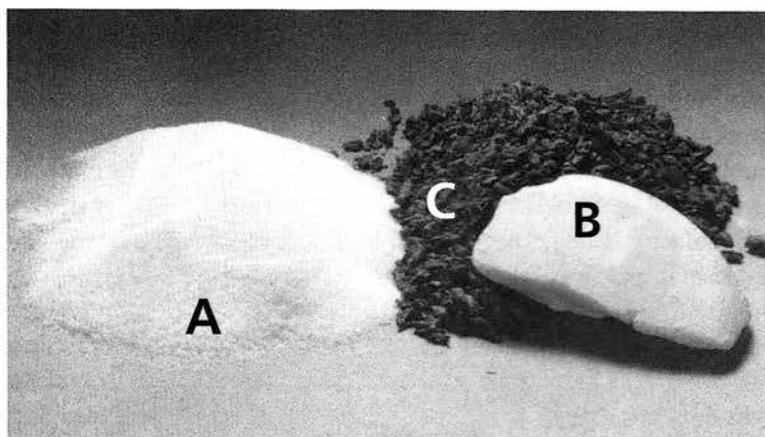
Los primeros establecimientos en los que se bebía chocolate se fundaron en Londres en 1657 y se mencionaron en el *diario* de Pepy en 1664 en el que decía que el «jocolatte» era «muy bueno». En 1727 se comenzó a añadir leche a la bebida. Esta invención se atribuye generalmente a Nicholas Sanders.<sup>2</sup> Durante el siglo XVIII la *White's Chocolate House* se convirtió en uno de los lugares de moda para los jóvenes londinenses, mientras que los políticos de la época iban al *Cocoa Tree Chocolate House*. Estos eran lugares mucho menos bullangueros que las tabernas de la época. Sin embargo, continuaba siendo una bebida destinada principalmente a los ricos.

Uno de los problemas del chocolate bebido es que era muy graso. Más de la mitad del haba de cacao se transformaba en manteca de cacao. Ésta se fundía en el agua

caliente haciendo difícil la dispersión de las partículas de cacao además de darle un aspecto poco agradable debido a la separación de la grasa en la superficie. Sin embargo, los holandeses encontraron un modo de mejorar esta bebida mediante la eliminación de parte de esta grasa. En 1828 Van Houten desarrolló la prensa para cacao. Esto tenía bastante mérito ya que en aquel momento su fábrica operaba de modo completamente manual. Los cotiledones del haba de cacao (conocidos como almendra o grano de cacao) se sometían a prensado para producir una «torta» dura a la que se le había retirado cerca de la mitad de la grasa. Esta torta se molía para dar un polvo que podía emplearse para elaborar una bebida mucho menos grasa. Con el fin de hacer que este polvo se dispersase mejor en agua caliente o en leche, los holandeses trataban las habas de cacao con un líquido alcalino durante el proceso de tostado. Posteriormente este procedimiento se ha convertido en el proceso de alcalinización o «proceso holandés». Mediante cambios en el tipo de agente alcalinizante también resulta posible ajustar el color del cacao en polvo.

## COMIENDO CHOCOLATE

Con el uso de las prensas para retirar parte de la manteca de cacao, a los productores de cacao en polvo les quedaba encontrar un mercado para esa grasa. Este problema lo solucionaron los confiteros ya que hallaron que se podía producir chocolate para comer si se añadía esta grasa a una mezcla molida de azúcar y granos de cacao. (Los ingredientes utilizados para la fabricación de chocolate negro se muestran en la Figura 1.2). Si tan sólo se mezclaban y molían juntos el azúcar y los granos



**Figura 1.2** Fotografía de los ingredientes sin molturar empleados para la elaboración de chocolate negro: A, azúcar; B, manteca de cacao; C, granos de cacao (Beckett<sup>3</sup>).

de cacao se obtenía un producto duro y desmenuzable. La adición de una parte extra de grasa permitía que todas las partículas sólidas estuviesen envueltas por la grasa con lo que se formaba una barra uniforme tal y como la conocemos hoy que fundiría llanamente en la boca.

Casi veinte años después de la invención de la prensa, en 1847, Joseph Fry fundó en Bristol, en el Reino Unido, la primera fábrica británica que elaboraba chocolate negro para comer.

Al contrario que Van Houten, Fry utilizó los recientemente diseñados dispositivos a vapor para accionar su fábrica. Es interesante señalar que la mayoría de las primeras empresas de chocolates, incluyendo a Cadbury, Rowntree y Hershey (en EE UU) fueron fundadas por cuáqueros o gentes con creencias religiosas similares. Esto pudo deberse a que sus prácticas de abstinencia y sus creencias pacifistas impidieron que trabajasen en muchas industrias. Sin embargo se consideraba que la industria del chocolate era beneficiosa para la gente. Tanto Cadbury como Rowntree se trasladaron a las afueras de las ciudades a finales de la década de 1890, donde construyeron ciudades jardín para algunos de sus trabajadores. Fry se mantuvo en el centro de Bristol y no tuvo una expansión tan rápida como las otras dos compañías. Posteriormente pasó a formar parte de Cadbury.

Con el desarrollo del chocolate para comer, la demanda de cacao se incrementó considerablemente. Inicialmente la mayoría del cacao venía de las Américas. La primera plantación de cacao en Bahía, Brasil se fundó en 1746. Antes incluso de esto, los españoles habían llevado árboles del cacao a Fernando Poo (Biyogo) en las costas africanas, y pronto esta zona se convirtió en una de las áreas de cultivo importantes. En 1879 un herrero de África occidental llevó algunas plantas a su casa a la zona de la Costa Dorada (hoy Ghana). El gobernador británico se dio cuenta de su potencial y favoreció la plantación de árboles, lo que tuvo como resultado que Ghana se convirtiese en la principal fuente de cacao de calidad. Otras potencias europeas también favorecieron el cultivo de los árboles de cacao en sus colonias en el trópico, por ejemplo Francia en Costa de Marfil (Côte D'Ivorie) que es ahora el mayor productor mundial de cacao.

El chocolate fabricado por Fry era inicialmente un bloque de chocolate negro y no fue hasta 1876 cuando Daniel Peter en Suiza fabricó el primer chocolate con leche. El chocolate no puede tener un contenido elevado de humedad, ya que el agua reacciona con el azúcar y convierte al chocolate fundido en una pasta más que en un líquido que fluye suavemente (véase el Experimento 5 en el Capítulo 10). Un contenido en humedad tan bajo como de un 2% puede dar un producto con una vida útil reducida así como de una textura inferior. Esto significaba que Daniel Peter encontró un modo de secar el abundante suministro de leche líquida que se hallaba en su propio país. Recibió la ayuda que supuso el reciente desarrollo de la fórmula de la leche condensada que realizó Henri Nestlé. Esto implicaba que tenía una cantidad de agua a evaporar mucho menor. Además fue capaz de eliminar la humedad restante

con máquinas baratas accionadas por agua. En la mayoría de los países los productos con chocolate con leche son mucho más populares que los que llevan chocolate puro.

Para que el chocolate de una sensación de suavidad en la lengua cuando funde en la boca, la partículas sólidas no grasas deben de tener un tamaño inferior a las 30 micras ( $\mu\text{m}$  1.000 micras = 1 mm). Los chocolates fabricados por Fry y Peter se molían con rodillos de granito, con lo que no se podía obtener una molienda tan fina, por lo que tenían una textura arenosa. Además, varios grupos de partículas se unían para dar aglomerados por lo que la grasa no recubría bien las partículas debido a un mezclado deficiente. Todo esto hacía que el chocolate tuviese una textura pobre. Además el sabor del chocolate tenía a ser amargo por la presencia de algunos componentes químicos de carácter ácido (véase Capítulo 4).

En 1880, Rodolphe Lindt, en su fábrica en Berna (Suiza) inventó una máquina que producía un chocolate más suave y de mejor sabor. A esta máquina se le conocía como concha, porque su forma era bastante similar a las conchas con ese nombre (Figura 1.3). Consistía en una artesa de granito con un rodillo, normalmente construido del mismo material que impulsaba el chocolate caliente líquido hacia delante y hacia atrás durante varios días. Con esto se rompían los aglomerados y algunas de las partículas de mayor tamaño y se recubrían todas ellas con la grasa. Al mismo tiempo se evaporaba la humedad y parte de los compuestos químicos de naturaleza ácida, con lo que se obtenía un chocolate más suave y de sabor menos astringente.

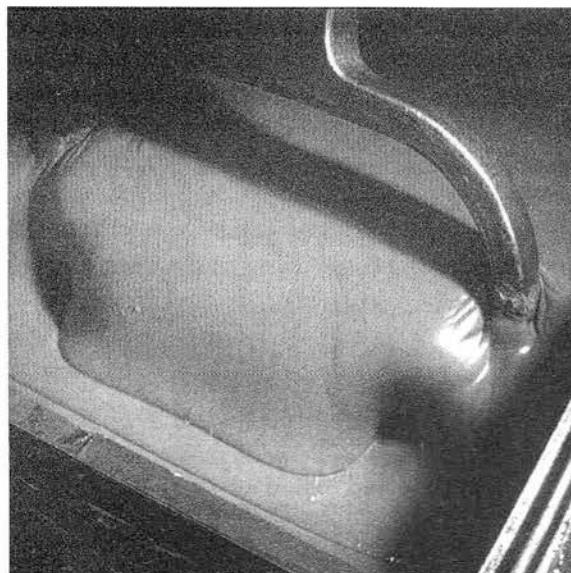


Figura 1.3 Fotografía del procesado del chocolate en una concha longitudinal.

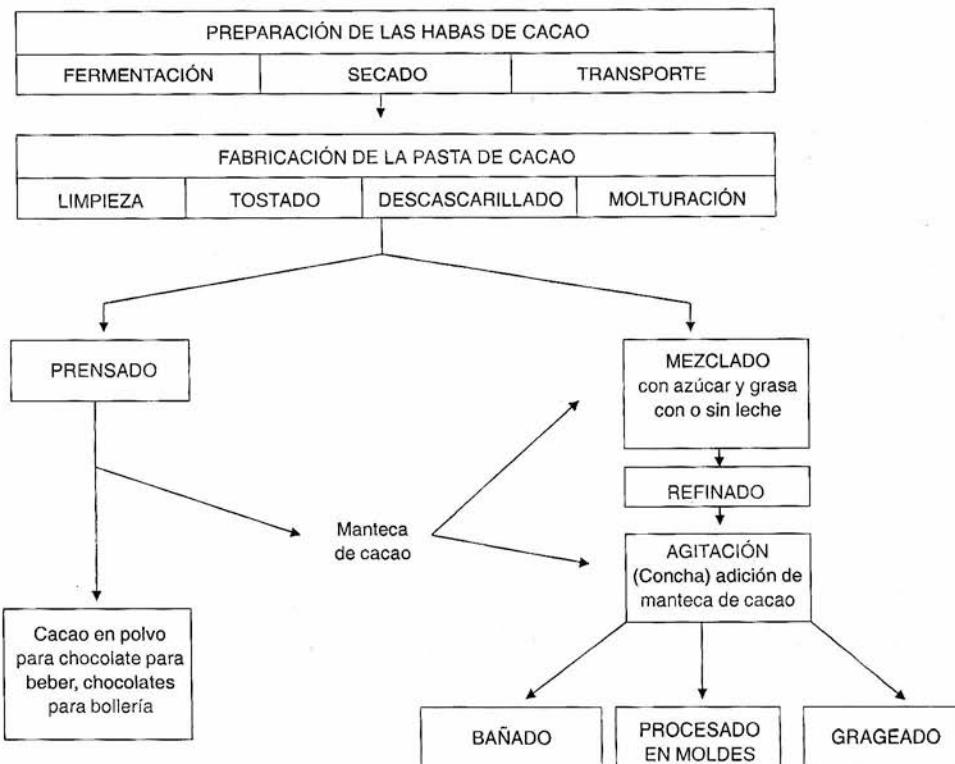


Figura 1.4 Diagrama esquemático de los procesos de fabricación del chocolate.

La Figura 1.4 muestra un diagrama esquemático de los procesos de fabricación de chocolate.

### Chocolate crumb o migas de chocolate

En la primera parte del siglo XX la leche utilizada para fabricar chocolate tenía unas malas cualidades de conservación. Esto daba lugar a problemas en la industria del chocolate que tenía un mayor número de ventas en Navidad, una época del año en la que había un suministro limitado de leche fresca. En el Reino Unido y algunos otros países esto condujo a desarrollo de un ingrediente intermedio llamado *chocolate crumb* o crumb de chocolate.

Los granos de cacao contienen sustancias antioxidantes. Éstas reducen la degradación de las grasas que normalmente harían que la grasa de la leche se tornase agria. Además se sabía que la adición de azúcar prolongaba la vida útil de los alimentos (se utilizaba en mermeladas, etc.). En consecuencia, los fabricantes de cho-

colate añadieron azúcar y cacao a la leche y lo secaban conjuntamente. Con este proceso se obtenía el chocolate crumb que tenía una vida útil de al menos un año. La leche obtenida en el pico de producción de primavera podía ser utilizada en la fabricación del chocolate de las próximas Navidades. Sin embargo, el proceso de secado introdujo una serie de sabores a cocido en el chocolate y por este motivo muchos de los chocolates del Reino Unido tienen un sabor diferente de los de la Europa continental, que se fabrican con leche en polvo.

### **Chocolate blanco**

El primer chocolate blanco se elaboró en 1930. Se fabricó con azúcar, leche en polvo y manteca de cacao. Las propiedades conservantes de los antioxidantes del cacao residen principalmente en las sustancias oscuras del cacao. Esto significa que la conservación del chocolate blanco no es tan buena como la del chocolate con leche y también que no puede mantenerse en un envoltorio transparente ya que la luz acelera la degradación de la grasa láctea.

## **MARKETING DEL CHOCOLATE EN EL REINO UNIDO**

Al mejorar la tecnología del chocolate, éste se ha utilizado para recubrir otros ingredientes, o para formar parte de un producto distinto de una tabletta. En la década de los 30 se desarrollaron muchos de estos productos y han seguido siendo populares hasta nuestros días. Unos buenos ejemplos de estos son el KitKat, las barritas Mars y los Smarties. Hoy en día a los productos se les conoce por los nombres de sus marcas más que por el nombre del fabricante. Algunas empresas, como Cadbury, tienden a dar a ambos la misma importancia.

Durante la guerra se redujeron mucho los envíos de habas de cacao desde las plantaciones y se introdujo un racionamiento estricto. Muchas de las marcas líderes cesaron sus producciones. El racionamiento en el Reino Unido finalizó en abril de 1949 pero la avalancha para su compra era tan grande que en el mes de junio el 60% de las confiterías ya no tenían género que vender. Se reinstauró el racionamiento hasta febrero de 1953.

El consumo creció de modo muy rápido, pero a lo largo de los últimos diez años ha permanecido constante con una media de 8 kg por persona y año de productos de confitería de chocolate en la mayoría de los países de Europa Occidental (no se incluyen las galletas y bollos con chocolate). Suiza presenta el consumo más elevado con 9,5 kg por persona y año. Esto hace que la industria de la confitería sea un sector importante. En el Reino Unido, la unión de las ventas en productos de confitería elaborados básicamente con azúcar y los fabricados principalmente con chocolate superan a las del té, los periódicos y el pan juntos.<sup>4</sup>

## EL CHOCOLATE ES BUENO PARA TI

Es sabido que los antioxidantes de los alimentos protegen al organismo frente a las sustancias químicas llamadas radicales libres que dañan las células. El cacao es una conocida fuente de antioxidantes y en 1999, médicos del Instituto Nacional de Salud Pública y Medioambiente en Bilthoven, en Holanda, examinaron el contenido en catequinas de los chocolates. Las catequinas pertenecen a la familia de los flavonoides, que se encuentran entre los antioxidantes más potentes. Hallaron que el chocolate puro contenía 53,5 mg por cada 100 g, que es cuatro veces, la cantidad que tiene el té. Se dice que el consumo de una taza de té al día disminuye el riesgo de un ataque al corazón.<sup>5</sup>

Se afirma que ciertas grasas provocan un aumento del colesterol. Debido a la estructura de sus triglicéridos (véase Capítulo 6) se ha observado que la manteca de cacao tiene un efecto neutro a este respecto. Los estudios desarrollados por el profesor Kris-Etherton en los Estados Unidos de América, en los que individuos de alto riesgo fueron alimentados con cantidades importantes de chocolate, mostraron que su nivel de colesterol se mantuvo sin cambios.<sup>6</sup>

## REFERENCIAS

1. R. Whymper, 'Cocoa and Chocolate. Their Chemistry and Manufacture', Churchill, London, 1912.
2. L.R. Cook (revised by E.H. Meursing), 'Chocolate Production and Use', Harcourt Brace, New York, 1984.
3. S.T. Beckett (ed.), 'Industrial Chocolate Manufacture and Use', 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.
4. Nestlé, 'Sweet Facts '98', Nestlé Rowntree, York, UK, 1999.
5. Anon 'Antioxidante en Chocolate', *Manufacturing Confectioner*, (Sept.) 1999, 8.
6. P.M. Kris-Etherton, 'Dietary Fatty Acids and Cardiovascular Disease Risk', 43rd Technology Conference, BCCCA, London, 1996.

## **Capítulo 2**

### **Ingredientes del chocolate**

#### **HABAS DE CACAO**

##### **Árboles de cacao**

Para que un producto pueda denominarse chocolate, debe de contener cacao. El cacao o árbol del cacao (*Theobroma cacao*, L.) es originario de América Central y del Sur, aunque hoy se cultiva comercialmente en aquellos ambientes adecuados entre las latitudes 20° norte y 20° sur. Estas áreas tienen una temperatura media elevada ( $\geq 27^{\circ}\text{C}$ ) a lo largo de todo el año y una alta y constante humedad relativa originada por las abundantes precipitaciones (1.500-25.000 mm). El suelo debe ser rico y profundo, debe de estar bien drenado y normalmente la altitud debe de ser inferior a los 700 metros sobre el nivel del mar, ya que los fuertes vientos dañarían las cosechas.

Los árboles son relativamente pequeños, de entre 12-15 m de altura y crecen de modo natural en el nivel inferior de la selva tropical perenne. En las plantaciones comerciales a menudo se encuentran parapetados entre otros árboles productores, como cocoteros y babaneros. Son de hoja perenne de unos 300 mm de longitud. Los árboles comienzan a producir mazorcas tras 2 ó 3 años, pero el rendimiento pleno no lo alcanzan hasta los 6-7 años.

Hay tres tipos de cacao. El Criollo tiene habas con cotiledones blancos y un flavor intermedio. Sin embargo, los árboles dan un rendimiento relativamente bajo. La mayoría del cacao es Forastero, que es el de mayor resistencia y a menudo se cultiva en África occidental en pequeñas explotaciones (tierras cultivadas por una familia que tienen una extensión menor que la de una granja). El tercer tipo, el Trinitario, se piensa que es un híbrido de los otros dos tipos.

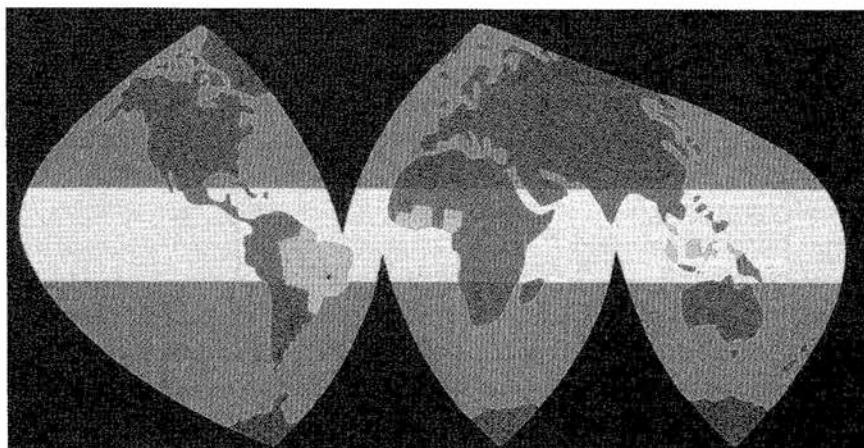
Los árboles son atacados por muchas plagas y enfermedades. Algunas de las más graves son:

- Cápsidos (insectos que se alimentan de la savia, provocando daños en los tejidos de las plantas).
- La plaga de la mazorca negra (hongos que atacan principalmente a la mazorca provocando su podredumbre).
- La enfermedad de las escobas de las brujas (witches' broom disease) (ataque por hongos que al crecer forman unas «escobas» en los brotes de las hojas, pero que también afectan a flores y mazorcas).
- Los barrenadores de la mazorca de cacao (las larvas perforan el interior de las mazorcas afectando al desarrollo de las habas).

### Principales países productores de cacao

Hay tres áreas importantes de cultivo de cacao: África occidental, el Sudeste Asiático y Sudamérica. Estas zonas se muestran en la Figura 2.1. Los suministros de cacao procedentes de cada país han sufrido cambios espectaculares en los últimos veinte años debido a los cambios económicos así como a las plagas y enfermedades.

Bahía en Brasil era la principal área de cultivo de cacao con una producción de más de 400.000 toneladas a mediados de los años 80. Hoy produce menos de la mitad, debido principalmente a la destrucción de cultivos por la enfermedad de las escobas de las brujas. En lugar de ser el principal exportador de habas de cacao, ahora prácticamente toda la producción de esta zona se procesa y utiliza en el mismo Brasil.



**Figura 2.1** Mapa en el que se muestran los principales países productores de cacao.

Más del 40% de la cosecha mundial se obtiene ahora en Costa de Marfil (Côte d'Ivorie). La producción se ha incrementado espectacularmente en los últimos 30 años y gran parte del chocolate fabricado en Europa se elabora con habas de cacao de este origen.

Ghana es el segundo país productor con alrededor del 14% de la producción mundial. Además tiene una buena reputación por la producción de habas de cacao de una gran calidad. Nigeria también produce cacao, pero el asentamiento de las industrias petroleras y de otros sectores industriales, ha supuesto la aparición de un empleo alternativo y una reducción en la producción de cacao.

Malasia aumentó una producción de cacao bastante grande durante los años 80 pero esta disminuyó rápidamente, en parte debido a la infestación con los barrenadores de la mazorca y en parte debido a la alta rentabilidad de otras producciones como las de aceite de palma.

Actualmente se está expandiendo el cultivo del cacao en Indonesia que hoy en día está produciendo casi tanto como Ghana.

El flavor del cacao no sólo depende del tipo de cacao, por ejemplo si es Criollo o Forastero, sino que también depende del clima, de las condiciones del suelo, etc. Para algunos chocolates «de gourmet», normalmente chocolates puros o negros, las habas se obtienen de zonas concretas. Estos cacaos aromáticos, con frecuencia del tipo Criollo, se producen en pequeñas áreas de cultivo como Ecuador, las islas del Caribe y Papúa Nueva Guinea.

Además del flavor de las habas, la grasa presente en el haba también cambia en función del área de producción. En general, cuanto más cerca del ecuador se encuentre el lugar de cultivo del árbol, más blanda será la grasa, es decir fundirá más fácilmente. Esto significa que la manteca de cacao procedente de Malasia es relativamente dura, mientras que la mayoría de la que procede de Brasil es mucho más blanda. Las más duras son mejores para los chocolates que vayan a ser comercializados durante el verano, mientras que las más blandas son más adecuadas para productos congelados, como los helados de chocolate, en los que la grasa se endurece por las condiciones de temperaturas frías. Véase el Capítulo 6 y el Experimento 10 del Capítulo 10.

### **Mazorcas de cacao**

A lo largo del año, crecen unas pequeñas flores (Figura 2.2) hasta un número de 100.000, en las ramas y el tronco del árbol. Éstas se desarrollan en unas pequeñas mazorcas verdes llamadas *cherelles*\* (Figura 2.3) pero les lleva entre 5 y 6 meses el

\* N. del T.: Denominadas maracas en América o piñas en África. Desde el punto de vista botánico, la mazorca es una baya.



**Figura 2.2** Fotografía de las flores en el árbol del cacao.



**Figura 2.3** Crecimiento de las pequeña mazorcas o *cherelles* en el tronco de un árbol del cacao (Fowler<sup>1</sup>).

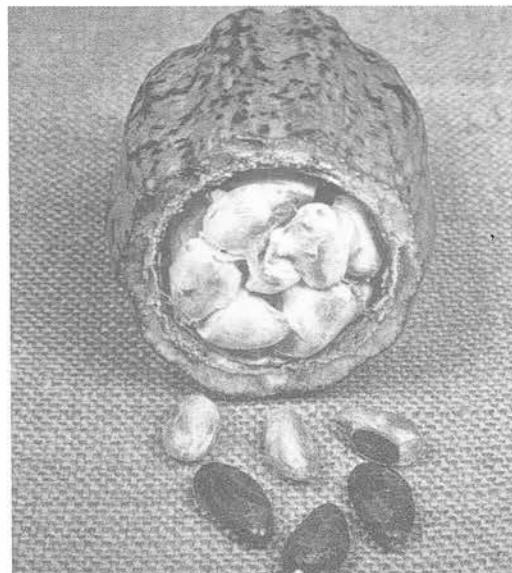


Figura 2.4 Mazorca de cacao en la que se muestran las habas en su interior.

desarrollarse en su estado maduro (Figura 2.4) con una longitud de entre 100 y 350 mm. Su peso varía entre 200 g hasta más de 1 kg y se presentan en una amplia diversidad de formas y colores dependiendo de la variedad. Cada mazorca contiene entre 30 y 45 habas.

Las mazorcas se separan cuidadosamente del árbol con un machete, allí donde se alcance. Para las ramas más altas es necesario utilizar un cuchillo especial atado a una larga vara, como se observa en la Figura 2.5. Normalmente se recolectan las mazorcas cada 2-4 semanas durante un período de varios meses ya que no todas ellas maduran a la vez.

Se abren las mazorcas con el machete o bien se cascan con una maza de madera. Las habas son de forma ovalada y están recubiertas con una pulpa blanca (mucílago). Las habas se separan a mano de la mayor parte de la pulpa.

Las habas constan de una cáscara externa o testa que rodea los dos cotiledones (llamados granos o almendras) y de un pequeño germen (el embrión de la planta). Los cotiledones almacenan el alimento para la plántula en desarrollo pero también sus dos primeras hojas. La mayor parte de los nutrientes se encuentran en forma de grasa (manteca de cacao) que supone más de la mitad del peso seco del haba. El contenido en humedad del haba en esta etapa es de cerca del 65%.



**Figura 2.5** Recolección de las mazorcas de cacao mediante una vara larga.

## Fermentación

### *Proceso de fermentación*

Una correcta fermentación es esencial para obtener al final un chocolate con un sabor adecuado. Es un proceso por el cual se mata el haba de manera que ésta no pueda verse alterada por la germinación. Además se forman ciertos compuestos químicos que cuando se calientan le darán el sabor al cacao ya que ellos por sí mismos tienen un sabor completamente diferente o puede que incluso no sepan a nada. A estos compuestos se les conoce como precursores del sabor ya que originarán los aromas, pero ellos en sí mismos no lo proporcionan. Las habas sin fermentar pueden someterse a prensado para obtener manteca de cacao, pero los sólidos de cacao restantes no se utilizarían normalmente para la fabricación de chocolate.

Gran parte de los árboles de cacao son cultivados en pequeñas explotaciones y el método de fermentación es tradicional, aunque algunos países están haciendo intentos para modernizarlo. Básicamente, hay dos métodos de fermentación: la fermentación en montones y la fermentación en cajas.

En África occidental está muy extendida la fermentación en montones. Se amontonan entre 25 y 2.500 kg de habas frescas junto con una pequeña cantidad de pulpa blanca y se cubren con hojas de bananero (Figura 2.6). Normalmente este proceso dura entre 5 y 6 días, siendo la experiencia la que determina cuando finaliza. Algunos productores voltean las habas tras 2 ó 3 días. A menudo cuanto más pequeño es el montón se producen mejores sabores.



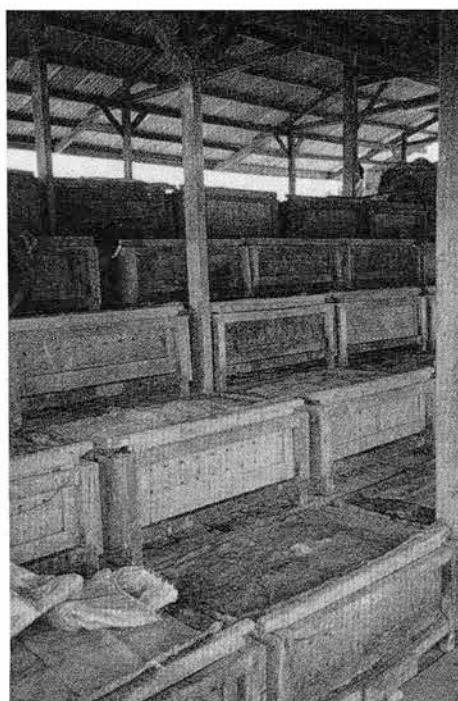
Figura 2.6 Fermentación de las habas de cacao bajo hojas de bananero.

Las plantaciones más grandes, particularmente en Asia, utilizan la técnica de fermentación en caja. Las cajas de madera pueden albergar entre 1 y 2 toneladas de habas, estas cajas presentan pequeños orificios o aberturas, normalmente en su base (Figura 2.7). Éstas proporcionan ventilación y una salida que permite drenar el agua que sale de las habas y de la pulpa. Las cajas pueden tener hasta un metro de profundidad, pero las menos profundas (250-500 mm) a menudo proporcionan un mejor sabor debido a una mejor ventilación. Las habas se vuelcan de una caja a otra cada día para aumentar la aireación y proporcionar un tratamiento más uniforme. Habitualmente, el período de fermentación es similar al de la fermentación en montones, aunque algunas plantaciones lo prolongan uno o dos días más.

#### *Cambios microbiológicos y químicos*

Lo que ocurre realmente en la fermentación ha sido objeto de muchas investigaciones y no está completamente claro. Además, como la cáscara del haba permanece intacta, no es posible que los microorganismos reaccionen directamente con los cotiledones, que son la parte utilizada para la fabricación de chocolate. Por ello, en cierto modo, no es realmente un proceso de fermentación verdadero.

Sin embargo, durante la fermentación la temperatura aumenta espectacularmente durante las primeras etapas y se piensa que tres días de calor son suficientes para matar el haba. Tras su muerte se liberan los enzimas (un tipo de catalizador capaz de aumentar enormemente la velocidad de ruptura de sustancias como la grasa en sus componentes esenciales, pero que sale de esta reacción sin ninguna alteración en sí



**Figura 2.7** Habas de cacao fermentando en cajas.

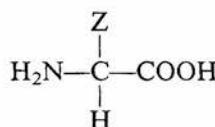
mismo). Este hecho provoca la rápida descomposición de las reservas nutritivas del haba para dar azúcares y ácidos, que son los precursores del flavor en el chocolate.

Sin embargo, el proceso es mucho más complicado que esto, ya que el proceso de fermentación más habitual tiene lugar fuera del haba. Allí hay parte de la pulpa blanca, que es muy rica en azúcares que pueden ser metabolizados por las levaduras que también se encuentran presentes para formar ácidos y etanol, de un modo muy parecido al que tiene lugar en la fermentación de la cerveza. Este etanol activa a otras bacterias, por ejemplo, las bacterias acéticas (etanoicas) y las bacterias ácido-lácticas, que lo transforman en sus respectivos ácidos. El etanol y los ácidos son capaces de pasar al interior del haba a través de la cascarilla. Este cambio en la acidez (pH) aceleran la muerte del haba.

Los diferentes modos de fermentación también proporcionan diferencias en el flavor. Por ejemplo, en una fermentación en caja, las habas se voltean cada día. Esto produce una aireación de las habas y estimula a aquellas bacterias que requieren oxígeno (por ejemplo, *Acetobacter*) con lo que se favorece la producción de ácido etanoico. Otras reacciones, por ejemplo aquéllas en las que participan las levaduras, se ven retardadas por la presencia de oxígeno, de manera que se forma menos etanol.

Esto significa que los cacao fermentados en cajas tienen una mayor probabilidad de presentar un sabor ácido que el mismo tipo de cacao que haya sido fermentado en montones. Con el fin de contrarrestar esta acidez, algunos de los procesos de fermentación en cajas acortan su duración y reducen el número de volteos.

También tienen lugar otras reacciones importantes. Las proteínas y los péptidos reaccionan con los polifenoles para dar el color marrón asociado al cacao, a la vez que se forman otros precursores del flavor a través de reacciones entre la sacarosa y las proteínas. De especial importancia es la formación de aminoácidos. Las proteínas están compuestas por una serie de aminoácidos unidos secuencialmente por enlaces peptídicos. Los aminoácidos pueden representarse de la siguiente manera:



$$Z = \text{H}, \text{CH}_3, \text{C}_2\text{H}_5, \text{CH}_2\text{OH} \text{ etc.}$$

(En la práctica se encuentran en forma ionizada, bien con el  $\text{H}_2\text{N}$  protonado o con el  $\text{COOH}$  disociado, en función del pH del entorno).

Muchas de las proteínas se degradan durante la fermentación dando sus aminoácidos constituyentes. Existen 20 formas, entre las que se incluyen la valina y la glicina, que son muy importantes en la formación del flavor en el chocolate.

Fowler<sup>1</sup> y Dimick y Hoskin<sup>2</sup> dan más detalles sobre los cambios químicos que tienen lugar durante la fermentación.

### Secado

Tras la fermentación las habas de cacao deben secarse antes de que puedan transportarse a las fábricas en las que se elabora el chocolate. Si esta operación no se realiza bien, se produciría un crecimiento de mohos en las habas. Este crecimiento le conferiría al chocolate un fuerte olor a sucio de manera que no podría emplearse. Tampoco se debe secar en exceso las habas. Aquéllas que presentan un contenido en humedad menor del 6% se vuelven muy quebradizas lo que hace mucho más difícil su posterior manipulación y procesado.

Allí donde el clima lo permite, las habas se secan habitualmente al sol. Durante el día se extienden en capas de 100 mm de grosor sobre esterillas, bandejas o en terrazas. Se rastrillan a intervalos determinados y por la noche o cuando llueve, se amontonan y se protegen. En América Central y en Sudamérica se utiliza un cobertizo colocado sobre ruedas para cubrir las habas que permanecen en el suelo. En Ghana se colocan esterillas de tiras de bambú sobre mesas bajas de madera. Las esterillas pueden enrollarse cuando llueve. Aquí habitualmente cuesta alrededor de una sema-



**Figura 2.8** Habas de cacao secándose en mesas móviles.

na el que las habas se sequen al contenido en humedad de un 7-8% que se requiere, el cual es demasiado bajo para que los mohos crezcan. En otras áreas, las habas se secan en mesas móviles que pueden ponerse a cubierto cuando sea necesario (Figura 2.8). Uno de los mayores problemas del secado al sol es el riesgo de contaminación que pueda provenir de los alrededores y de la granja y los animales salvajes que puedan merodear entre las habas. Esto significa que deben tomarse precauciones en su manipulación cuando lleguen a la fábrica de elaboración de chocolate (ver Capítulo 3).

En otros países, particularmente en Asia, el clima puede ser demasiado húmedo y es necesario recurrir al secado artificial. A veces se prenden hogueras en una cámara situada por debajo del área de secado y dejando pasar el humo caliente por tubo que transcurre por la parte inferior de la plataforma de secado y que posteriormente saldrá por una chimenea vertical. El principal problema que tiene este sistema son las fugas de humo procedentes del tubo. Éstas, al igual que el crecimiento de mohos, confieren a las habas un desagradable flavor áspero lo que imposibilita su uso en la fabricación del chocolate. Los desecadores de aire forzado son mejores ya que son eficientes intercambiadores de calor y se evita que los contaminantes provenientes del humo puedan llegar a las habas. Si el secado es demasiado lento, las habas tendrán un sabor muy ácido por lo que es mejor dejarlas secar durante períodos de tiempo mayores, bien a temperaturas más bajas o bien realizando cambios intermitentes de temperaturas.

### **Almacenamiento y transporte**

Las habas deben almacenarse de modo que no capten agua, ya que podrían enmohercerse una vez su contenido en humedad superase el 8%. Tradicionalmente se han almac-



**Figura 2.9** Cacao en sacos de yute listo para su carga en el barco.

cenado en sacos de yute que contienen entre 60-65 kg (Figura 2.9). Son fuertes, se apilan bien y permiten el paso de la humedad. También son biodegradables. Como el chocolate tiene un flavor muy delicado, las habas también deben almacenarse bien lejos de otros productos como las especias, que pueden dar lugar a sabores anómalos en el chocolate.

A menudo las habas son transportadas en las bodegas de los barcos. En el lugar de carga la temperatura estará alrededor de 30°C, pero muy pronto la temperatura en el Atlántico Norte será próxima a la de congelación. Si el contenido en agua de las habas es del 8%, su humedad relativa en equilibrio está próxima al 75%. En otras palabras, si la humedad relativa es inferior al 75% las habas se secaran pero si la humedad es mayor, captará agua. El contenido en humedad no debe superar el 8%, de manera que las habas no deben almacenarse a una humedad relativa superior al 75%. Sin embargo esto resulta difícil en los barcos. La humedad ya es alta cuando se cargan los sacos y la caída de la temperatura provoca un rápido aumento de la humedad relativa hasta el 100% (punto de rocío). La humedad se condensará en la estructura del barco y a veces en los sacos haciendo que las habas se enmohezcan. Por consiguiente los sacos nunca deben entrar en contacto con las superficies frías de las bordas de los barcos y deben colocarse esterillas absorbentes encima de los sacos. La bodega del barco debe ventilarse para eliminar el aire húmedo.

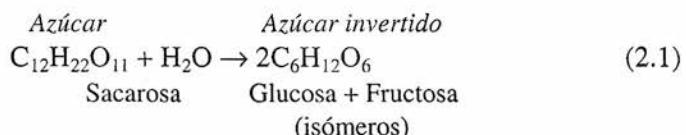
## AZÚCAR Y SUSTITUTOS DEL AZÚCAR

Tradicionalmente se ha elaborado el chocolate con un contenido en azúcares de cerca de un 50%, la mayor parte de él en forma de sacarosa pero también con parte

de lactosa proveniente de los productos lácteos empleados en el chocolate con leche. Los diabéticos no pueden consumir mucho azúcar, de modo que se han desarrollado otras fórmulas en las que se incorpora fructosa (otro tipo de azúcar que también se haya presente en la miel) y otros edulcorantes que no son azúcares, como el sorbitol. Más recientemente ha aparecido una demanda de chocolates bajos en calorías o «amigos de los dientes» de modo que se han desarrollado otros sustitutos del azúcar.<sup>3</sup>

### El azúcar y su producción

La sacarosa (también conocida como sucrosa) se obtiene tanto de la remolacha azucarera como de la caña de azúcar. Ambas proporcionan el mismo disacárido en forma cristalina natural. Es un disacárido porque está compuesto por dos azúcares sencillos (monosacáridos) unidos químicamente. Estos azúcares se denominan glucosa y fructosa, que se encuentran en partes iguales y pueden separarse por un tratamiento con ácido o mediante el uso de un enzima denominado invertasa. La mezcla resultante de los dos azúcares se denomina azúcar invertido (Ecuación 2.1).



La lactosa también es un disacárido y se compone de una combinación de glucosa y galactosa. Muchos de los sustitutos del azúcar como el sorbitol, son polialcoholes provenientes de los azúcares.

La remolacha azucarera contiene entre 14-17% de sacarosa. La remolacha se limpia y trocea, y el azúcar, junto con algunas impurezas minerales y orgánicas, es lavado con agua caliente. Se añade cal muerta para precipitar las impurezas y posteriormente se burbujea la disolución con dióxido de carbono. Se retiran los sólidos por filtración para obtener una disolución de un contenido en azúcar del 15% que se evapora posteriormente hasta una concentración del 65-70%. Luego se emplean la evaporación a vacío y las centrifugaciones para purificar y cristalizar la sacarosa. No es posible recuperar todo el azúcar en un proceso sencillo con una sola etapa y la obtención de un azúcar blanco requiere tres o cuatro pasos diferentes.

La caña de azúcar tiene un contenido en sacarosa de entre 11-17%. Se obtiene un zumo bruto del exprimido de las cañas partidas, a menudo utilizando molinos de rodillos. El material sobrante puede utilizarse para la fabricación de papel, cartulina o cartón, etc. Este zumo contiene más azúcar invertido que el obtenido con la remolacha azucarera. Esto hace que sea más difícil su cristalización y que sea necesario un tratamiento más suave para eliminar todas las impurezas ya que de otro modo se formaría un color marrón no deseable. Los tratamientos alternativos incluyen el empleo de temperaturas más bajas o de dióxido de azufre. Para clarifi-

car el líquido se emplean hidrociclones y tamices en forma de arco y los procedimientos de cristalización son similares a los utilizados para el azúcar de remolacha.

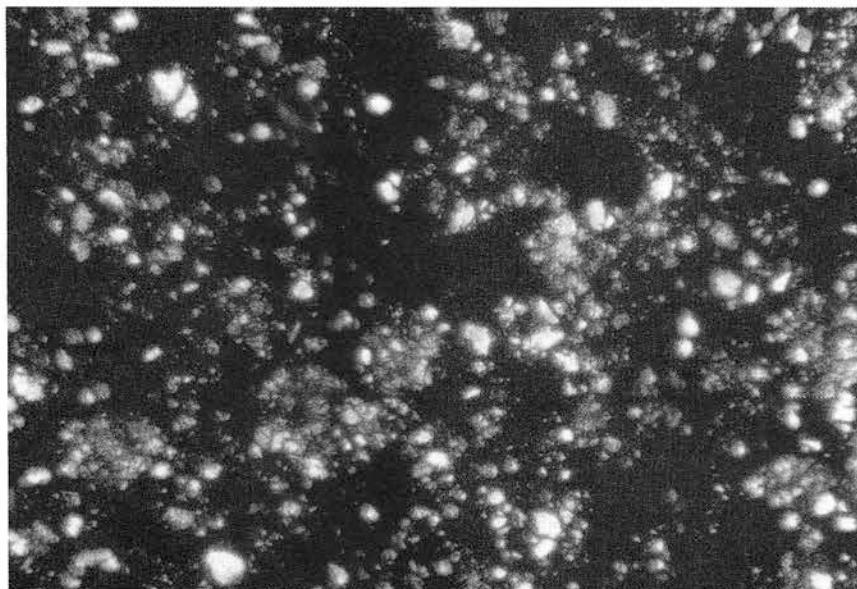
### Azúcar cristalino y azúcar amorfo

Los cristales de azúcar son extremadamente puros, normalmente con una pureza de más de un 99,9% y raramente inferior a 99,7%. Puede adquirirse con diferentes tamaños de cristal que aproximadamente son los siguientes:

Azúcar grueso	1,0-2,5 mm de tamaño de partícula
Azúcar medio fino	0,6-1,0 mm de tamaño de partícula
Azúcar fino	0,1-0,6 mm de tamaño de partícula
Azúcar glass	0,005-0,1 mm de tamaño de partícula

La mayoría de los fabricantes de chocolate utilizan azúcar medio fino, aunque algunos exigen una distribución determinada del tamaño de partículas, ya que puede influir en el flujo del chocolate final (véase Capítulo 5).

Todos estos tipos de azúcar se encuentran en estado cristalino. De hecho los cristales de sacarosa pueden crecer hasta un tamaño de varios centímetros de largo, adquiriendo muchas formas cristalinas. Sin embargo todas son birrefringentes. Esto significa que si los cristales se colocan en un microscopio de polarización, en el que



**Figura 2.10** Partículas birrefringentes de azúcar observadas en un microscopio de polarización.

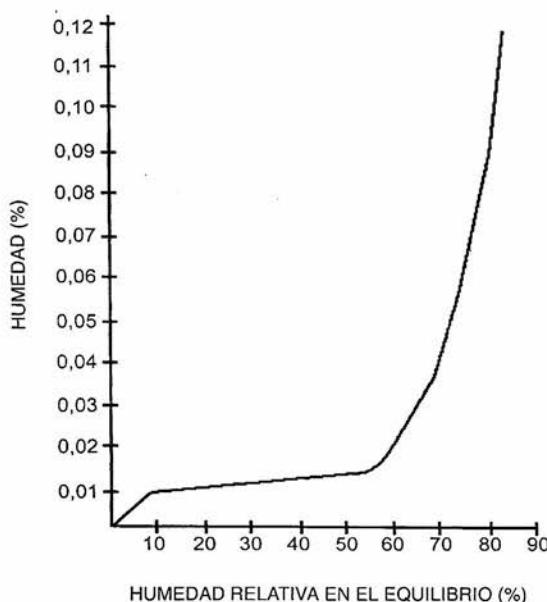
los filtros de polarización se han ajustado para que no se transmita la luz, los cristales reflejan la luz y se observan como imágenes que brillan (Figura 2.10).

El azúcar también puede presentarse en forma vítreo, es decir, una estructura sólida aunque no cristalina. Un buen ejemplo resulta un caramelo duro de azúcar como un *Glacier mint* (caramelo duro de menta refrescante). Este tipo de sólidos aparece cuando las disoluciones de sacarosa pierden agua de un modo muy rápido y las moléculas individuales no tienen tiempo de formar la estructura cristalina cuando se elimina el agua. Un sistema de obtener azúcar en estado amorfo es liofilizando una disolución de sacarosa. El azúcar amorfo no es birrefringente ya que no posee una estructura que pueda reflejar la luz en el microscopio. Hay otros modos de determinar el azúcar amorfo en los sistemas de sacarosa (véase el Experimento 1 en el Capítulo 10).

El azúcar amorfo tiene importancia en la fabricación de chocolate ya que puede afectar tanto al aroma como a las propiedades de fluencia del chocolate líquido. Su superficie es muy reactiva y puede absorber fácilmente cualquier flavor que se encuentre en sus alrededores. También puede formarse a temperaturas elevadas a partir de la sacarosa en estado cristalino. Esto puede ocurrir cuando se muele el azúcar. Si no hay otras sustancias alrededor el azúcar puede dar un toque metálico. (Esto puede demostrarse con una molturación fina del azúcar en una mezcladora y disolviéndolo después en agua; tendrá un sabor metálico en comparación con una disolución realizada con el producto sin molturar). Por otro lado, si se moltura conjuntamente con el cacao, algunos de los sabores volátiles del cacao son absorbidos por el azúcar amorfo en lugar de escapar a la atmósfera como ocurriría de otro modo. Así se obtendría un chocolate con un flavor más intenso. Debe tenerse cuidado en la molturación del azúcar, especialmente cuando se muele solo, ya que hay un riesgo elevado de explosión.

El estado amorfo es inestable y, en presencia de agua, se irá convirtiendo en un material cristalino. Una vez ha tenido lugar el cambio, la humedad es expulsada ya que la sacarosa cristalina es esencialmente anhidra. Cerca de la mitad de la masa de chocolate es sacarosa, de manera que las partículas se encuentran muy cerca unas de otras. La humedad de la superficie hace que se adhieran entre sí. Con esto se construye un esqueleto de azúcar, que se mantiene unido incluso si se funde la grasa. Esta es la base de un método utilizado para elaborar un chocolate que sea adecuado para su comercialización en climas húmedos. Si el chocolate todavía no se ha solidificado, la adhesividad de la superficie de parte del azúcar incrementa enormemente la viscosidad del chocolate líquido.

El azúcar cristalino también puede absorber humedad, dependiendo de las condiciones que lo rodeen. Las condiciones de almacenamiento a emplear deben determinarse a través de isotermas de sorción. La Figura 2.11 muestra la curva para un azúcar a 20°C. Como se ha señalado anteriormente, la humedad relativa en el equilibrio es la humedad relativa a la cual el alimento ni capta ni cede agua al ambiente.



**Figura 2.11** Representación típica de la relación entre la humedad y la humedad relativa en el equilibrio para un azúcar en estado cristalino.

Esto significa que a una humedad relativa entre el 10 y el 60%, el azúcar mantendrá un contenido en humedad entre el 0,01 y el 0,02%. A humedades relativas mayores, el contenido en humedad aumentará espectacularmente. El azúcar húmedo puede estar contaminado microbiológicamente. Además se pegará y formará grumos, incluso si se volviese a reducir la humedad.

En la industria del chocolate, el azúcar se almacena en grandes silos que contienen muchas toneladas. Debe prestarse una gran atención a las condiciones de almacenamiento ya que de otro modo el silo se podría obturar impidiendo su descarga. Con mucha frecuencia se suele deshumidificar el aire que se encuentra en el interior de los silos.

### Lactosa

La lactosa, como la sacarosa, es un disacárido, esta vez compuesto por los monosacáridos glucosa y galactosa. Es uno de los componentes de la leche de vaca (véase la siguiente sección) y, en consecuencia, se encuentra en todos los chocolates con leche. A veces se utiliza en forma de lactosa cristalina para sustituir a parte de la sacarosa. Como es mucho menos dulce que el azúcar normal, reduce el sabor dulce global del chocolate. La forma cristalina se encuentra en estado monohidratado, es

decir contiene una molécula de agua que no se pierde incluso si la temperatura sube hasta los 100°C. De hecho hay dos formas cristalinas la  $\alpha$ - y la  $\beta$ -lactosa. La forma  $\alpha$ - es la obtenida por los procedimientos más habituales y es ligeramente menos dulce y menos soluble que la otra forma. Ambas son no higroscópicas, es decir, no captan agua con facilidad. Sin embargo, el estado amorfo es muy higroscópico.

Cuando se añade lactosa en la forma de leche en polvo desecada por atomización, ésta se encuentra normalmente en estado amorfo. Esto se puede demostrar mediante el Experimento 1 descrito en el Capítulo 10. Este estado vítreo es capaz de retener parte de la grasa láctea dejándola en un estado en la que es incapaz de facilitar el flujo al chocolate (Capítulo 5).

A temperaturas elevadas la lactosa es capaz de participar en la reacción de Maillard o también llamadas reacciones de pardeamiento. Este es el tipo de reacciones que da lugar a los aromas a cocinado cuando se asan los alimentos. Será descrito con más detalle en el Capítulo 3.

Algunas personas son intolerantes a la lactosa, es decir, sus organismos reaccionan frente a este tipo de azúcar y deben limitar la cantidad de productos lácteos que ingieren.

### **Glucosa y fructosa**

Aunque estos monosacáridos (azúcares sencillos) se unen dando el disacárido sacarosa, normalmente no se emplean por separado en la elaboración de chocolates. La glucosa, también llamada dextrosa, cristaliza en forma de monohidratato y es muy difícil secarla por completo. Normalmente contiene algo de agua y la absorbe rápidamente del aire de alrededor (es decir, es muy higroscópica). Esta humedad hace que el chocolate líquido fundido sea muy espeso, porque las partículas de azúcar tienden a adherirse unas con otras.

La fructosa también es muy higroscópica. Se encuentra de modo natural en las frutas y la miel. A veces la podemos encontrar en chocolates especiales para diabéticos ya que, al contrario que la sacarosa, no produce un aumento en los niveles de azúcares en sangre tras su ingestión. Sin embargo, necesita condiciones especiales de procesado, especialmente en lo que se refiere a temperatura y humedad.

### **Polialcoholes**

Los polialcoholes (polioles) se utilizan para sustituir a la sacarosa en los chocolates cuando se pretende conseguir un producto sin azúcar o bajo en calorías. Normalmente se establece que la sacarosa proporciona 4,0 kcal $g^{-1}$  (17 kJ $g^{-1}$ ). Aunque los diferentes polialcoholes tengan probablemente un aporte calórico diferente, en Europa y a efectos legislativos, se ha establecido que aportan 2,4 kcal $g^{-1}$  (10 kJ $g^{-1}$ ). Como la fructosa, son adecuados para diabéticos, pero al contrario que la fructosa también son adecuados para la elaboración de chocolates no cariogénicos, en otras palabras chocolates que no dañen a los dientes. Uno de ellos, el xilitol, que se en-

**Tabla 2.1** Grado relativo de dulzor de los diferentes azúcares y polialcoholes (obtenido de Krüger<sup>3</sup>).

Azúcar	<i>Dulzor relativo</i>
Sacarosa	1,0
Fructosa	1,1
Glucosa	0,6
Xilitol	1,0 <sup>1</sup>
Maltitol	0,65
Sorbitol	0,6
Manitol	0,5
Isomaltol	0,45

cuenta de forma natural en muchas setas y frutas, no puede ser fermentado por la mayoría de las bacterias presentes en la boca y en algunos países se acepta el que se haga referencia a este producto como beneficioso para los dientes.

Entre los polialcoholes más habituales se incluyen el sorbitol, el manitol, el isomaltol y el lactitol. Algunos de ellos requieren que el chocolate sea procesado a temperaturas relativamente bajas, para prevenir la formación de aglomerados arenosos. Todos tienden a tener un efecto laxante. El Comité Científico para Alimentos de la Unión Europea ha reconocido la importancia de este efecto pero también ha establecido que un consumo de 20 g al día es poco probable que presente un efecto perjudicial.

También hay una gran diferencia en el dulzor entre los diferentes polialcoholes. La Tabla 2.1 muestra los valores relativos respecto de la sacarosa. Puede ser necesario el uso de edulcorantes intensivos, como el aspartamo, para compensar el bajo dulzor de algunos polialcoholes como el sorbitol.

**Tabla 2.2** Efecto refrescante relativo de los edulcorantes (obtenido de Krüger<sup>3</sup>).

Azúcar	<i>Efecto refrescante relativo</i>
Sacarosa	1,0
Polidextrosa	-2,0
Lactitol (anhidro)	1,4
Isomaltol	2,1
Maltitol	2,5
Fructosa	2,6
Lactitol (monohidrato)	3,0
Sorbitol	4,4
Xilitol	6,7

Cuando algunas sustancias se disuelven en agua, es necesaria cierta energía para que la disolución tenga lugar. Esto sucede así para el azúcar (véase el Experimento 1 del Capítulo 10) y tiene como resultado un enfriamiento del agua para permitir que las moléculas se separen y se disuelvan. Esto también ocurre en mayor grado para los polialcoholes. La Tabla 2.2 muestra la capacidad relativa de refrescar, que destaca particularmente en el xilitol. A menudo se afirma que esta propiedad no es deseable ya que no se supone que el chocolate pueda tener un efecto refrescante.

### Polidextrosa

La polidextrosa es un polisacárido (es decir, está constituido de varios azúcares), que se encuentra en la mayoría de las barritas de chocolate bajo en calorías. A efectos legales, tiene un aporte calórico en Europa de  $1 \text{ kcal g}^{-1}$ , que es menos de la mitad de la que tienen los polialcoholes y tiene un efecto laxante mucho menor. Se obtiene a partir del azúcar sencillo glucosa y unas pequeñas cantidades del polialcohol sorbitol. Como se encuentra en estado amorfo, reacciona con el agua generando calor (al igual que la sacarosa en estado amorfo, véase el Experimento 1 del Capítulo 10). Esto significa que da una sensación de calentamiento cuando se disuelve en la saliva dentro de la boca. También produce cierta sequedad en la boca, haciendo que a veces el chocolate sea difícil de tragar.

## LECHE Y OTROS PRODUCTOS LÁCTEOS

En la mayoría de los países del mundo se compra y consume mucho más chocolate con leche que chocolate puro y chocolate blanco juntos. Tiende a ser más blando que el chocolate puro y tiene un sabor y una textura más cremosos.

El componente mayoritario de la leche de vaca es agua pero, como se ha mencionado anteriormente, la humedad destroza las propiedades de fluencia del chocolate en estado líquido de modo que sólo pueden emplearse componentes anhidros. Habitualmente estos suponen un 13,5% de la leche líquida y su composición se muestra en la Figura 2.12. El componente principal, justo por debajo del 5% es la lactosa, el disacárido descrito en la sección anterior. Hay casi la misma cantidad de grasa láctea y un 3,5% de proteína. Los minerales suponen un 0,7%. En concreto se estima que el calcio es un componente muy beneficioso para la salud.

### Grasa láctea

Es el segundo componente en cantidad de la leche en polvo y resulta fundamental en darle al chocolate con leche su textura distintiva y su liberación del flavor. También cambia su manera de partirse y puede inhibir la formación de un polvo blanco

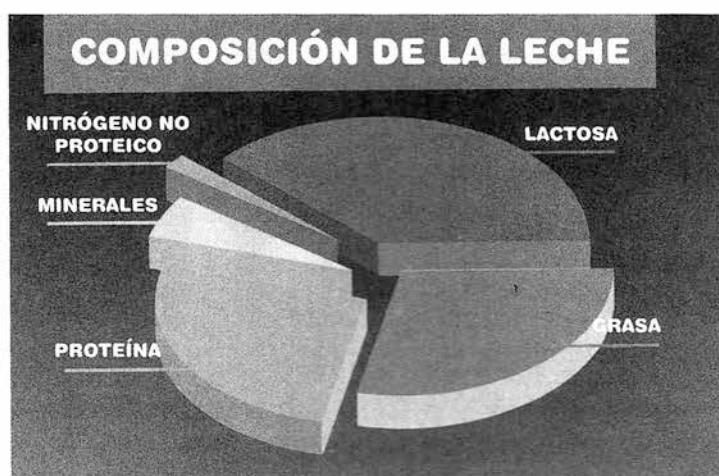


Figura 2.12 La composición relativa de la leche en polvo.

en la superficie del chocolate, que se compone de grandes cristales de grasa y al que se le conoce como «fat bloom» o eflorescencia grasa (véase el Capítulo 6).

Cuanto más grasa presente un chocolate en estado líquido, más fácilmente fluirá, tanto durante la fabricación de los dulces como en la boca. También resulta relativamente cara, de modo que el fabricante necesita hacer un uso óptimo de la grasa presente.

La grasa de la mantequilla se encuentra casi al completo en estado líquido a temperatura ambiente, por lo que existe un límite en la cantidad de grasa que puede añadirse a un chocolate para que este siga manteniéndose duro. Para empeorar aún más el asunto, existe un fenómeno conocido como formación de eutécticos en grasas, que significa que cuando se mezclan dos grasas, la mezcla resultante es, con frecuencia, más blanda de lo que sería esperable. Este fenómeno se describe con más detalle en el Capítulo 6. Sin embargo, esta mayor blandura reduce la textura cérea que se detecta en la boca si se emplean grasas más duras que la manteca de cacao. También se encuentran disponibles grasas lácteas fraccionadas. Éstas se obtienen separando entre sí las fracciones de alto y de bajo punto de fusión. Se afirma de algunas que dan un chocolate más duro que el obtenido con la grasa láctea normal, mientras que otras parecen conferir una mayor prevención frente al fat bloom.

El 98% de la grasa son triacilgliceroles (*triglicéridos*), es decir, tres ácidos grasos unidos con una molécula de glicerol. El componente significativo restante son los fosfoglicéridos (*fosfolípidos*) (principalmente lecitina) así como diacilgliceroles (*diglicéridos*) (dos ácidos grasos unidos a un glicerol) y los esteroles. La Tabla 2.3 recoge la composición típica en ácidos grasos de la grasa de la leche.

**Tabla 2.3** Composición en ácidos grasos de la grasa de la leche (Haylock *et al.*<sup>4</sup>).

Ácido graso	Peso (%)
C4:0* Butírico	4,1
C6:0 Caproico	2,4
C8:0 Caprílico	1,4
C10:0 Cáprico	2,9
C10:1 Decenoico	0,3
C12:0 Láurico	3,5
C14:0 Mirístico	11,4
C16:0 Palmítico	23,2
C18:0 Esteárico	12,4
C18:1 Oleico	25,2
C18:2 Linoleico	2,6
C18:3 Linolénico	0,9
Otros	10,0

\* El primer número es el número de átomos de carbono de la molécula y el segundo es el número de dobles enlaces.

Sin embargo, la grasa láctea tiene una vida útil limitada ya que puede sufrir oxidación o ser atacada por enzimas (lipólisis). Los enzimas aceleran la ruptura de los ácidos grasos dando ácidos grasos libres de cadena corta que confieren al chocolate un olor a rancio y lo convierten en poco apetecible. Sin embargo, cuando esta reacción tiene lugar sobre la manteca de cacao, los ácidos grasos formados carecen prácticamente de sabor, de manera que el chocolate sigue siendo aceptable.

El resultado inicial de la oxidación es la formación de peróxidos (que contienen grupos O<sub>2</sub>). Estos compuestos por sí mismos no tienen sabor pero se descomponen dando olores anómalos desagradables. Se utiliza la determinación de la cantidad de peróxidos presentes para detectar las primeras etapas del deterioro. Con el fin de conservar la grasa de la leche durante períodos de tiempo más prolongados, debe minimizarse el contacto con el oxígeno. Algunas veces se sustituye el aire en el envase por nitrógeno y se emplean envasados que actúan como barrera frente al oxígeno. Es preferible un almacenamiento en frío y debe de evitarse la presencia de cobre y de hierro ya que estos actúan de catalizadores en los procesos de oxidación.

### Proteínas de la leche

Estas, no sólo añaden un valor nutricional al chocolate, también son importantes en la definición de su flavor, su textura y sus propiedades de fluencia en estado líquido. El chocolate con leche es cremoso, lo que depende en gran manera del equi-

**Tabla 2.4** Propiedades de las proteínas de la leche.

<i>Caseínas</i>	<i>Proteínas del suero</i>
Unión al agua	Solubles en un amplio rango de pHs
Estables al calor	Se desnaturalizan por el calor
Estructura de cadena abierta	Son globulares
Unión a la grasa	

librio entre estas proteínas y los componentes del flavor de carácter más ácido provenientes del haba. Si disminuye la proporción de proteínas, el producto se vuelve menos cremoso. También, como ocurre con la lactosa, si se someten a calentamiento en presencia de agua, pueden tomar parte en la reacción de Maillard (pardeamiento), que aporta sabores a tostado al chocolate.

Se incluye a dos tipos de proteínas muy diferentes, las caseínas y las proteínas del suero. Hay una cantidad de caseínas de 4 a 5 veces mayor que de proteínas del suero. Algunas de las propiedades de cada tipo de proteínas se resumen en la Tabla 2.4.

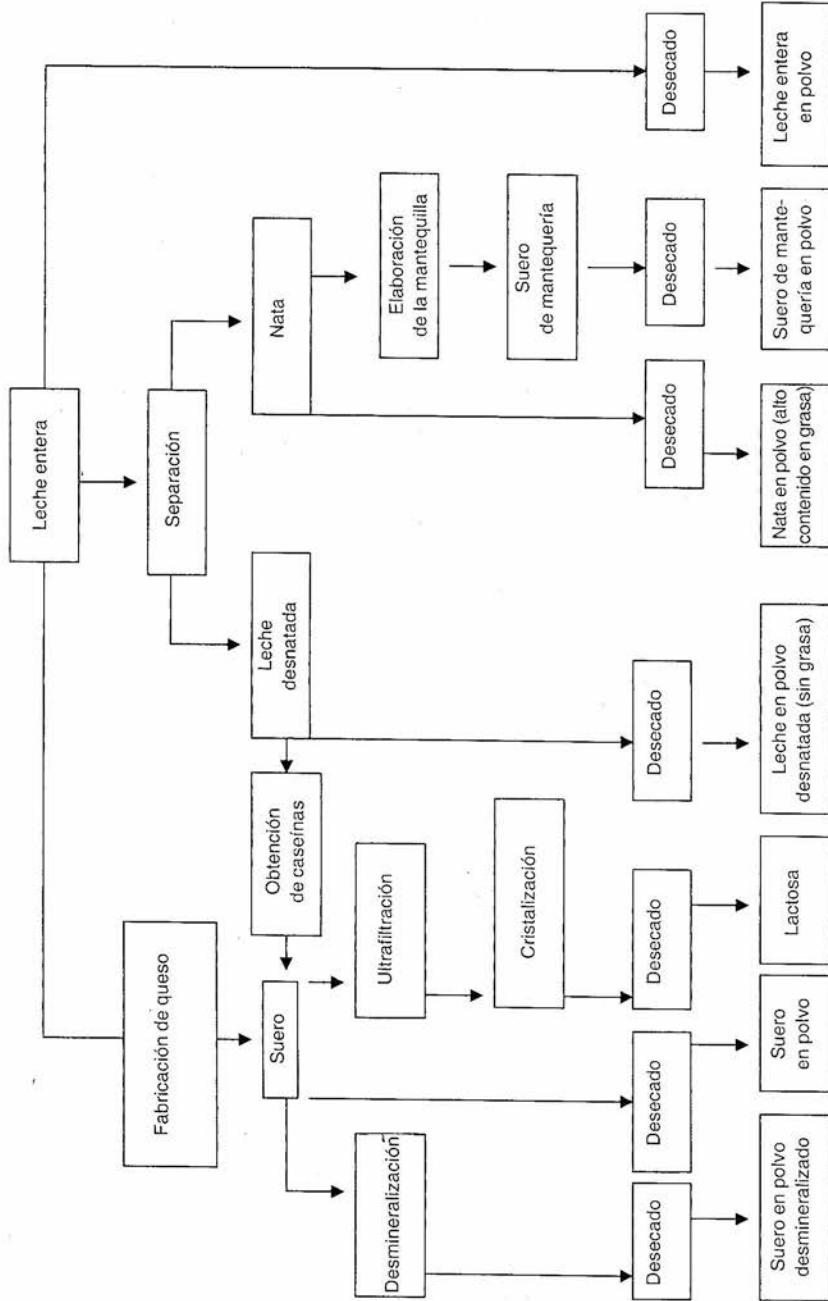
Las caseínas actúan como emulgentes, es decir, como interfase entre dos medios diferentes. En el chocolate es probable que se sitúen entre los componentes sólidos y los grasos (compárese con la lecitina en el Capítulo 5). Su papel real no es bien conocido, pero se ha observado que el caseinato cálcico da un chocolate más ligero, mientras que las proteínas del suero dan un chocolate más denso. Las propiedades de las caseínas de ligar agua también son beneficiosas para la fluencia del chocolate.

Aunque participa en el aroma de algunos chocolates, el flavor a caseína en sí mismo no es particularmente agradable y en otros productos de confitería puede ser no deseable.

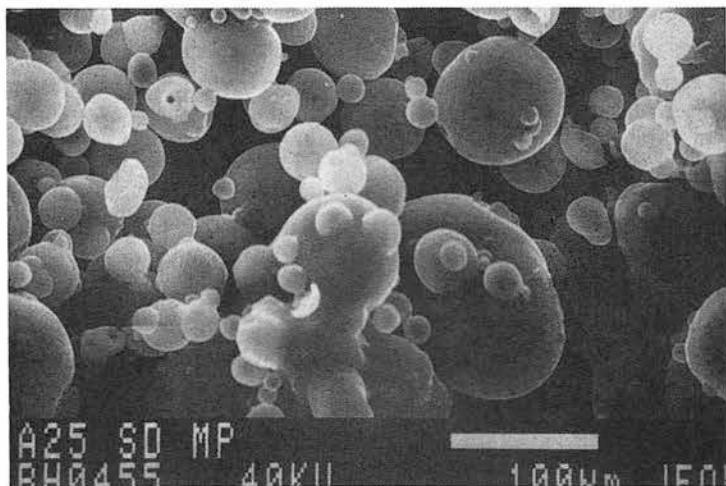
### Leches en polvo

Las leches pueden desecarse para producir una amplia variedad de diferentes productos en polvo. La Figura 2.13 muestra un diagrama de flujo de los procesos lácteos utilizados para la obtención de productos en polvo empleados para la fabricación de chocolate.

Los productos en polvo de uso más común en la fabricación de chocolate son la leche desnatada en polvo y la leche entera en polvo. Con la primera, se añade grasa láctea en la fase de fabricación del chocolate de manera que ambos productos en polvo pueden utilizarse para fabricar chocolates con el mismo contenido en componentes procedentes de la leche. Sin embargo, tendrán diferentes sabores, diferentes texturas y diferentes propiedades de fluencia en estado líquido. En parte esto se debe a los diferentes tratamientos térmicos que han sufrido durante el desecado, pero también al diferente estado de la grasa. Si se emplea la leche en polvo y la grasa

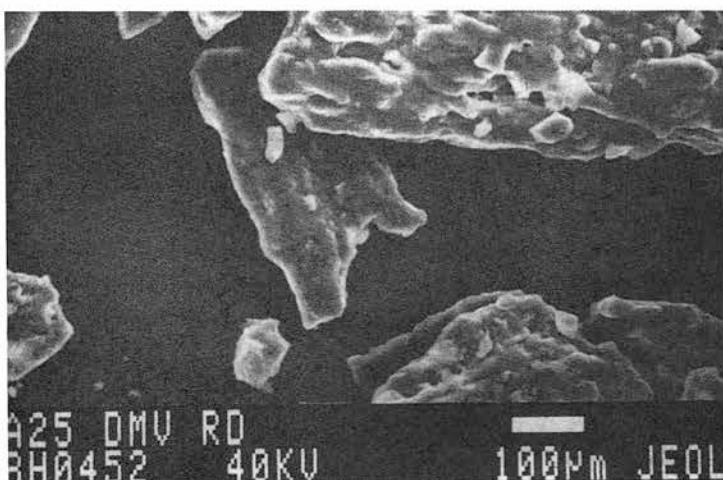


**Figura 2.13** Diagrama de flujo de los proceso utilizados en la industria láctea para obtener productos en polvo que son empleados en la fabricación de chocolate.



**Figura 2.14** Fotografía obtenida al microscopio electrónico de una leche en polvo desecada por atomización.

láctea, toda la grasa es libre de reaccionar con las partículas de manteca de cacao, mientras que muchas de las leches en polvo enteras presentan la grasa unida de modo intenso a partículas individuales. Esto significa que, cuando se utilizan leches en polvo enteras, hay menos grasa que facilite el flujo o que ablande la manteca de cacao.



**Figura 2.15** Fotografía obtenida al microscopio electrónico de una leche en polvo desecada en rodillos.

Durante mucho tiempo, las leches en polvo se secaban en tambores o rodillos giratorios. Estas máquinas eran caras y difíciles de mantener en condiciones higiénicas, de modo que la mayoría de las leches en polvo se obtienen mediante desecación por atomización. Esto implica el que la leche, que ha sido pre-desecada hasta un contenido en humedad del 50%, se convierta en una niebla («atomización») de manera que se genere una mayor superficie. Las gotas son expuestas a una corriente de aire caliente en la cámara de secado. El aire proporciona el calor para evaporar el agua y actúa también como portador del polvo, que es posteriormente recogido utilizando ciclones o sistemas de filtros. A menudo, este polvo consta de pequeñas partículas esféricas huecas parecidas a las mostradas en la Figura 2.14. Estas son muy diferentes de las estructuras más parecidas a un plato que presentaban la leche en polvo desecada en tambores y que se muestran en la Figura 2.15.

Cuando la grasa en un chocolate se encuentra en estado líquido, estas partículas deben pasar unas junto a otras mientras el chocolate fluye, por ejemplo, cuando se desplaza en la boca. Las partículas de diferente forma fluirán de forma diferente al pasar unas junto a otras, lo que dará como resultado un cambio en la viscosidad. Las partículas esféricas, además, contienen grasa en su interior, mientras que las obtenidas en bombos presentan la mayoría de la grasa en la superficie. Esto implica que los chocolates que contienen leche en polvo entera desecada en tambores son más blandos y fluyen más fácilmente que los que contienen leches desecadas por atomización. Pueden realizarse modificaciones en el procedimiento de desecación por atomización para obtener partículas más cristalinas de manera que las permita liberar la grasa con mayor facilidad.

La leche puede sufrir un tratamiento térmico previo a la atomización con el fin de conferirle un mayor flavor a cocido. A veces se añade grasa extra para obtener una leche en polvo con alto contenido en grasa, de manera que el fabricante de chocolate no necesite hacer adiciones posteriores durante la etapa de producción. Otros productos en polvo contienen azúcar y son un tipo de chocolate crumb.

### **Suero y lactosa en polvo**

Ambos son productos en polvo utilizados para la fabricación de ciertos tipos de chocolates y de coberturas aromatizadas. Son subproductos de la fabricación de queso y de la obtención de caseínas y tienen la ventaja de que son menos dulces que el azúcar de modo que pueden sustituirlo en parte cuando se necesita una reducción del sabor dulce.

La acidez (pH) de la fabricación del queso afecta enormemente al contenido en minerales del suero en polvo. Normalmente, cuanto más ácido es el suero, mayor es el contenido en minerales. Esto puede aumentar la aparición de sabores anómalos en el chocolate, por lo que suelen preferirse los sueros desmineralizados en polvo.

Si al suero se le elimina la proteína, queda la lactosa. Posteriormente ésta puede concentrarse y cristalizarse.

## CHOCOLATE CRUMB

Como se señaló en el Capítulo 1, el chocolate crumb explota las propiedades antioxidantes del cacao para producir un ingrediente para el chocolate que contiene leche y con una mayor vida útil. También le da un ligero flavor a cocido al chocolate.

Hay muchas maneras de obtener el crumb, pero todas requieren que el producto final tenga un contenido en humedad entre el 0,8 y el 1,5%. En estas cantidades, la actividad de agua (humedad relativa en el equilibrio dividida por 100) es tan baja que los microorganismos no pueden crecer. Debe tenerse cuidado respecto a dónde se almacena, porque, como ocurría con el azúcar, en ambientes húmedos captará agua.

Algunos fabricantes disuelven azúcar en leche fresca o concentrada, mientras que otros añaden agua a una mezcla de azúcar y leche en polvo. Para desecar esta mezcla hasta un contenido en sólidos del 80-90% pueden emplearse desecadores de placa de múltiples efectos. Luego se mezcla este material con las habas de cacao molidas (pasta de cacao), el cual es posteriormente, desecado a vacío bien por un proceso discontinuo o continuo. En esta etapa se juntan calor, humedad, lactosa y proteínas. Estas son condiciones ideales para que la reacción de Maillard tenga lugar. Esta le proporciona al crumb un color marrón y un flavor a caramelo. Este flavor es bastante diferente del que se obtiene si sólo se calienta únicamente azúcar. En todos los procesos posteriores no hay casi humedad, así que de nuevo no es posible obtener este tipo de flavor.

La mayoría de los chocolates con leche que se comercializan en todo el mundo se elaboran a partir de ingredientes similares, pero presentan sabores muy diferentes. Algunos fabricantes tienen «flavores de casa» específicos, siendo quizás los más conocidos los de Cadbury y Hershey. Con mucha frecuencia esto se debe a cambios concretos en el proceso de fabricación del crumb, en los que cambios en los tiempos de retención, acidez o temperatura pueden dar lugar a sabores muy diferentes en el chocolate final. Por este motivo, las condiciones de fabricación del chocolate crumb a menudo se mantienen como un secreto bien guardado.

## REFERENCIAS

1. M.S. Fowler, ‘Cocoa Beans: From Tree to Factory’, in S.T. Beckett (ed.), ‘Industrial Chocolate Manufacture and Use’, 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.
2. P.S. Dimick and J.C. Hoskin, ‘The Chemistry of Flavour Development in Chocolate’, in S.T. Beckett (ed.), ‘Industrial Chocolate Manufacture and Use’, 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.
3. Ch. Krüger, ‘Sugar and Bulk Sweeteners’, in S.T. Beckett (ed.), ‘Industrial Chocolate Manufacture and Use’, 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.

4. S.J. Haylock and T.M. Dodds, 'Ingredients from Milk', in S.T. Beckett, 'Industrial Chocolate Manufacture and Use', 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.

### **Lecturas adicionales**

G.A.R. Wood and R.A. Lass, "Cocoa", 4th Edition, Longman, 1985.

## ***Capítulo 3***

### **Procesado del haba de cacao**

Tradicionalmente las habas de cacao eran transportadas al país en el que se iba a fabricar el chocolate, que normalmente se situaba en un área de clima templado. Sin embargo, cada vez más los países productores del cacao, empiezan a procesar sus propias habas para producir la pasta de cacao. Esto presenta la ventaja de que la pasta es mucho más fácil de transportar; el problema de cómo la humedad afecta a las habas en las bodegas de los barcos se señaló anteriormente. Además, la cascarrilla, que es básicamente un producto de desecho, no se transporta a lo largo de una distancia de miles de millas para posteriormente ser desechara. La desventaja es que el fabricante tiene un menor control sobre los tiempos y temperaturas de procesado de las habas de cacao, que tienen un efecto sobre el flavor del chocolate acabado. Una solución es la de realizar un procesado parcial de las habas de modo que el tratamiento térmico final se lleve a cabo en la fábrica de chocolate. Sea donde sea que se lleve a cabo, el proceso implica la limpieza de las habas, el descascarillado y algún tipo de tostado.

#### **LIMPIEZA DEL HABA**

Como muchas de las habas son desecadas en el suelo, a menudo contienen arena, piedras, metales, trozos de plantas, etc. Estos materiales deben eliminarse por dos razones. En primer lugar muchas de estas impurezas son muy duras y podrían dañar la maquinaria que se utiliza para moler las habas. En segundo lugar, los contaminantes de naturaleza orgánica sufrirían una combustión durante los procesos de tostado y liberarían gases que podrían alterar el flavor del chocolate. Por consiguiente, el proceso de limpieza es llevado a cabo al principio del proceso de fabricación del chocolate.

Normalmente hay varios procedimientos diferentes, que se combinan para eliminar los diferentes tipos de materiales contaminantes. Los metales son retirados con imanes, mientras que el polvo se puede retirar por succión. Las piedras pueden tener un tamaño similar a las de las habas, pero tienen una densidad diferente. Pueden separarse mediante un sistema que las haga vibrar en una rejilla, que está situada con un cierto ángulo respecto a la horizontal. El aire pasa a través de la rejilla y empuja a las habas a una mayor altura que a las piedras, las piedras se mueven hacia el extremo y caen en un saco de recolección. El aire transporta a las habas hacia la parte más baja de la rejilla, desde donde van a la siguiente etapa del procesado.

## TOSTADO Y DESCASCARILLADO

Los cotiledones (granilla o grano) deben ser tostados, antes de que entren a formar parte del chocolate. La finalidad de este paso es la de modificar los precursores del flavor para dar los productos químicos que realmente le dan el sabor al chocolate. Además, las altas temperaturas junto con la humedad residual de las habas, destruirán cualquier microorganismo contaminante, como *Salmonella*, que pueden estar presentes en las habas procedentes de la etapa de desecado en el suelo.

Muchos fabricantes utilizan un concepto conocido como Análisis de Peligros y Control de Puntos Críticos (HACCP). Esto significa que el proceso completo de fabricación del chocolate es evaluado para determinar cualquier origen posible de un daño para el consumidor. Como las habas se compran a distribuidores y pueden estar contaminadas con bacterias dañinas, etc., es necesario tratar todas las habas como si supusiesen un riesgo potencial, hasta que se haya eliminado el riesgo. El procedimiento de tostado realiza este objetivo, de modo que una vez se ha llevado a cabo, el haba es completamente segura. El análisis de las habas en este punto, definido como un punto crítico de control, lo confirmará.

Luego el principal riesgo es que la contaminación proveniente de las habas sin tratar llegue al resto de la fábrica. Por este motivo, los procesos previos al tostado se llevan a cabo normalmente en un edificio separado. También se obliga a los operarios a cambiar sus ropas antes de entrar al resto de la fábrica.

### El problema de la variación del tamaño de las habas

Las habas de cacao llegan en una variedad de tamaños, dependiendo del país de origen de las condiciones climáticas, la estación del año en la que se recolectó la mazorca y otros numerosos factores. Tradicionalmente se tostaban las habas en lotes pequeños o quizás en tandas de unos pocos cientos de kilogramos y con frecuencia en tostadores esféricos (véase Figura 3.1). El operario podía retirar unas pocas habas del tostador o de la bandeja de enfriado a la que se unía, y a partir del olor que

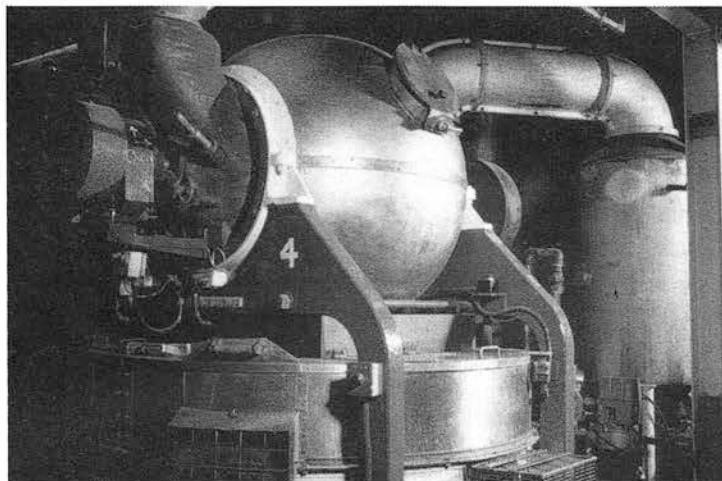


Figura 3.1 Tostador esférico para las habas de cacao.

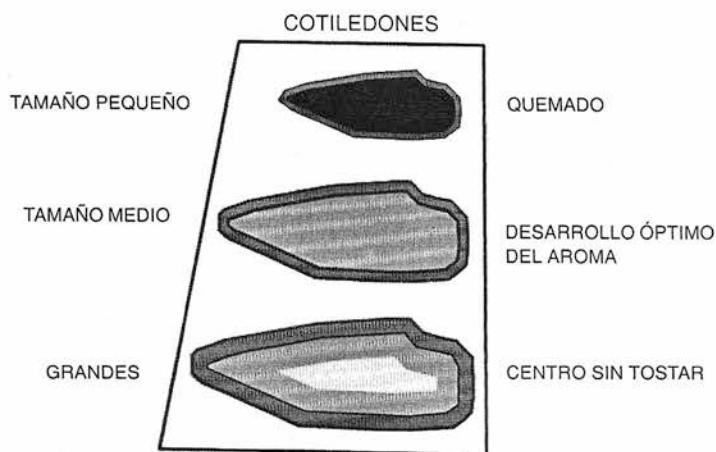
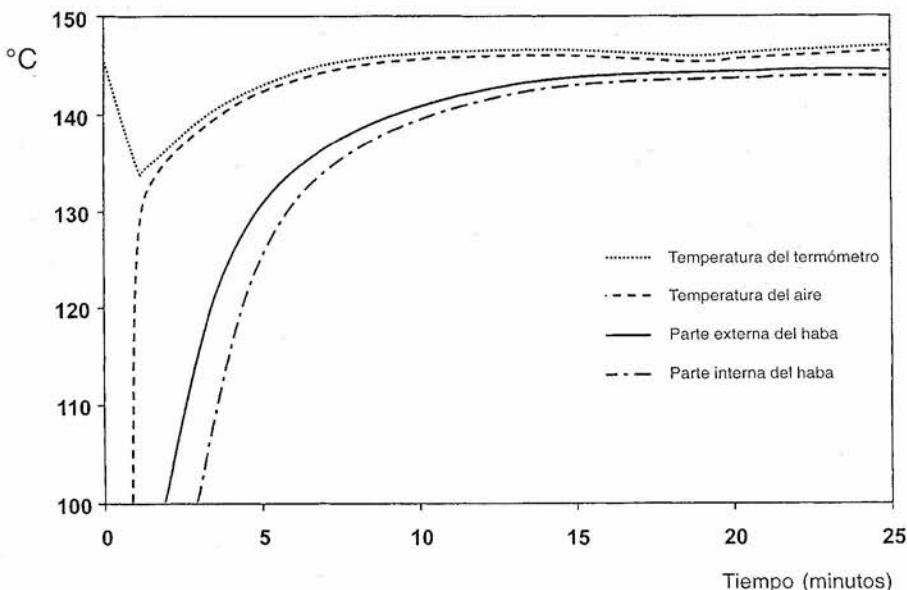


Figura 3.2 Efecto del tamaño del haba en el grado de tostado.

desprendían era capaz de ajustar los tiempos y temperaturas para asegurarse del desarrollo correcto del flavor. Las habas también podían seleccionarse de manera que tuvieran un tamaño similar dentro de cada tanda. Con las modernas instalaciones, que necesitan procesar varias toneladas de habas a la hora, esto ya no es posible.

El problema originado por la existencia de una gran variedad de tamaños de las habas queda ilustrado en la Figura 3.2. Aquí puede observarse que, cuando se ajus-

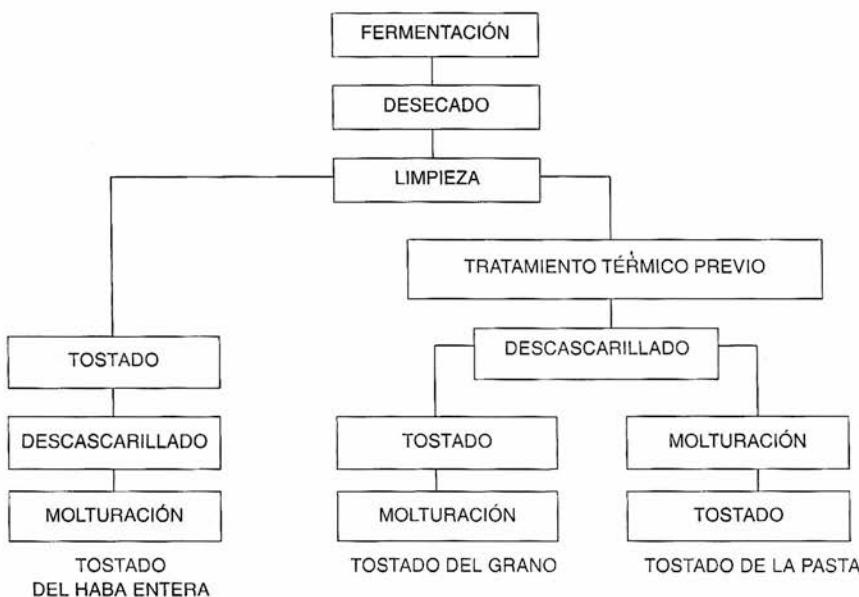


**Figura 3.3** El cambio de la temperatura en el tostador y en el interior del haba durante la primera etapa del tostado.

tan las condiciones de tostado para el tamaño medio, las pequeñas se tuestan demasiado mientras que en las grandes el centro del haba no se tuesta lo suficiente. Esto significa que en este último caso no se habrá logrado la transformación de los precursores del flavor, de modo que el flavor del chocolate será menor. En el caso de las habas pequeñas, se han desarrollado otros compuestos que no confieren necesariamente el flavor requerido.

La Figura 3.3 muestra la dificultad que aparece en las habas grandes. Aquí se recoge la temperatura en el tostador y en varios puntos dentro del haba. Incluso después de un tiempo relativamente largo (15 minutos) la temperatura del centro del haba no alcanza la externa. Las diferencias en la formación de los diferentes compuestos del flavor también puede observarse mediante la realización de análisis en sistemas de cromatografía de líquidos de alta presión (HPLC, véase el Capítulo 8) sobre habas de diferentes tamaños.

Con el fin de solucionar esto, se han desarrollado dos métodos alternativos. En el primero de ellos, sólo se tuesta el centro del haba, de manera que los trozos son mucho más pequeños y el calor puede penetrar con mucha más facilidad en el centro. A este método se le conoce como el tostado de la granilla. En el segundo sistema se realiza una molienda fina del grano de cacao hasta que se convierte en pasta de cacao (también conocido como masa o licor de cacao). En este caso se ha producido una



**Figura 3.4** Diagrama de flujo que ilustra los tres métodos diferentes de tostado del cacao.

liberación de la manteca de cacao del interior de las células del haba, de modo que cuando se calienta pasa a estado líquido. Este líquido puede ser sometido a un calentamiento conocido como el tostado de la pasta de cacao. La Figura 3.4 muestra un diagrama de flujo esquemático de los diferentes métodos de tostado.

Ambos sistemas requieren que previamente a la fase del tostado, se haya eliminado la cascarilla. Este proceso debe realizarse cuidadosamente, ya que a menudo la cascarilla tiene unidas partículas de sílice que con frecuencia proceden del desecado de las habas en el suelo. Estas partículas, junto con la cáscara, la cual también es muy dura, podrían dañar los equipos de molturación empleados durante la fabricación del chocolate. Además, existen requerimientos legales por los cuales aquellos productos vendidos como chocolates sólo pueden contener una pequeña cantidad de cascarilla. También se afirma que la cáscara confiere al chocolate un flavor de peor calidad. La pequeña cantidad de grasa procedente de la cáscara es diferente de la manteca de cacao y, al igual que sucede con la grasa láctea (Capítulos 2 y 6) produce un efecto de ablandamiento del chocolate.

### Descascarillado o aventado

El descascarillado es el proceso por el cual se separa la cáscara y parte del germen del resto del haba. Como la denominación de aventado sugiere, se basa en los principios empleados para separar el grano de la paja empleados en la recolección de cereales.

Es deseable mantener a los cotiledones centrales (grano) en trozos lo más grande posibles de manera que se puedan separar con mayor facilidad de la cáscara. Los trozos pequeños que permanezcan con la cáscara serán descartados con ella, así que económicamente resulta muy importante realizar el descascarillado de modo correcto.

Las habas rotas se separan al principio, para prevenir que se rompan aún más y van directamente al proceso de separación. El resto de las habas se rompen, a menudo lanzándolas una a una a gran velocidad sobre placas de impacto. De allí pasan a tamices vibratorios.

La cáscara se compone principalmente de material fibroso y normalmente tiene la forma de una placa plana. Por otro lado, el grano normalmente es mucho más esférico y como más de la mitad es grasa, es mucho más denso. Cuando ambas son sometidas a vibración a la vez, la cáscara, que es más ligera, va hacia arriba (compárese con la separación entre las habas y las piedras). Si se proyecta aire hacia arriba a la mezcla, la cáscara que es más ligera y con su mayor superficie, subirá, mientras que el grano de cacao que es más pesado caerá para su posterior procesado. Este principio se muestra en el Experimento 2 del Capítulo 10.

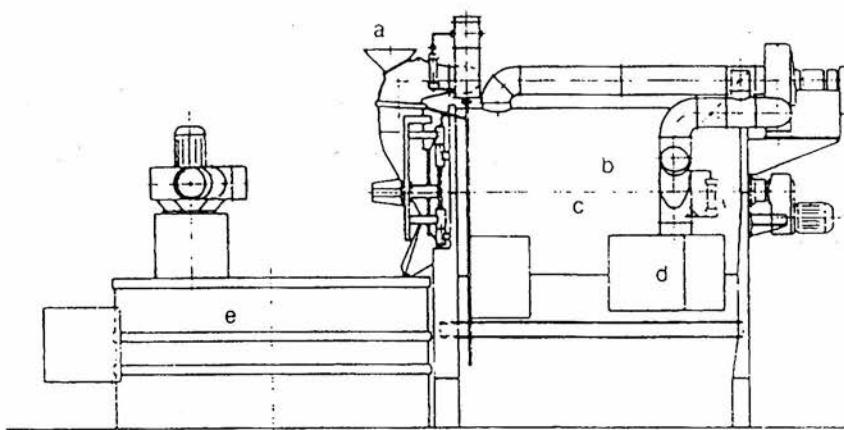
### **Tostado del haba**

Este proceso aún es empleado por muchos fabricantes de chocolates. Tiene la ventaja principal de que el tostado tiende a facilitar la separación de la cáscara del grano. Esto hace que la ruptura y el descascarillado sean relativamente sencillos.

Sin embargo, presenta dos desventajas a añadir al del problema de los diferentes tamaños del haba de cacao. Al aplicarse calor, la manteca de cacao se funde. De modo que parte se encuentra en un estado lo suficientemente libre como para migrar hacia la cáscara en la que se queda y con la que es desechada en el descascarillado. Se estima que un 0,5% de la manteca de cacao se pierde de este modo. Además se necesita una energía extra para calentar el grano a través de la cáscara. Toda la energía empleada en calentar la cáscara se pierde por completo. Se estima que es necesario hasta un 44% de energía extra si se compara con los otros tipos de tostado.

### **Tostado del grano y de la pasta**

Debido a que la cáscara está unida de un modo relativamente firme a los cotiledones antes de que se lleve a cabo el calentamiento del haba, normalmente es necesario algún tipo de tratamiento previo, antes del descascarillado. Habitualmente consiste en una exposición muy rápida de las habas a una fuente de calor intenso como vapor saturado o radiaciones infrarrojas. Estos sistemas calientan la superficie, pero el centro permanece frío y no tienen lugar las reacciones de cambio en el flavor. El agua del interior del haba se evapora y provoca el desprendimiento de la cáscara,



**Figura 3.5** Representación esquemática de una unidad de tostado en discontinuo (Barth Ludwigsburg GmbH & Co., Alemania). (a) embudo; (b) tambor de reacción; (c) tubo perforado para conducir la solución para el alcalinizado; (d) calentamiento por gas o combustibles; (e) artesa de enfriamiento (Heemskerk<sup>1</sup>).

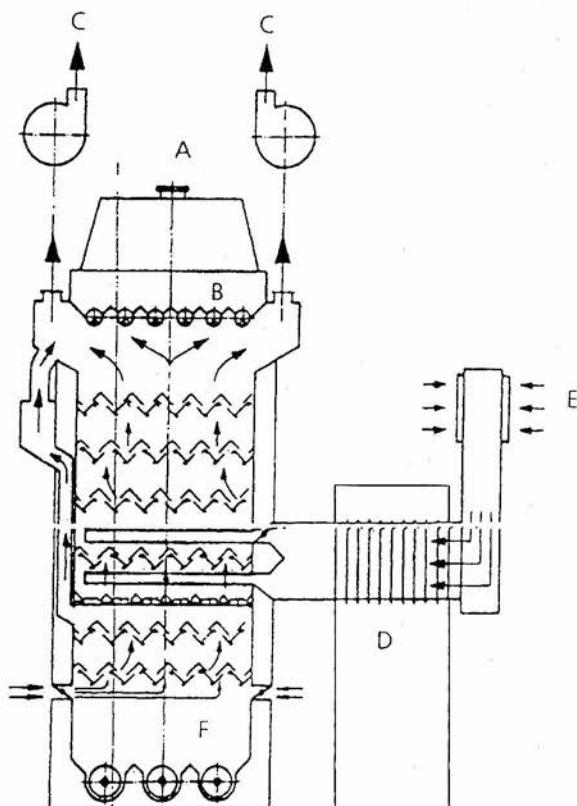
haciendo que se separe más fácilmente cuando el haba se quiebra durante el proceso de ruptura.

En el caso del tostado del grano, las máquinas empleadas son muy similares a las usadas en el tostado del haba. Sin embargo, para el tostado de la pasta, el grano debe sufrir una molturación muy fina para que se convierta en un líquido. Esta requiere un cuidadoso control de la humedad. Si el contenido en humedad es demasiado alto, la pasta de cacao se convertirá en una masa espesa y no en un líquido. Incluso pequeñas cantidades de agua reaccionan fuertemente con este sistema celulosa-proteína-grasa y un contenido en humedad del 10% produciría un material prácticamente sólido que sería muy difícil de molturar. Por otro lado, contenidos en humedad muy bajos producirían un chocolate con muy poco flavor. Durante el tostado, los precursores del flavor pueden reaccionar de modos diversos, dependiendo de la cantidad de agua presente. A humedades muy bajas son incapaces de dar lugar a los compuestos de reacción deseados.

### Tostadores

El proceso puede ser en continuo o en discontinuo. El tostador en forma de bombo (Figura 3.5) es de uso más común que el tostador esférico (Figura 3.1). El tostador en forma de bombo puede procesar hasta unas 3 toneladas de habas en una sola tanda. El calor puede aplicarse externamente a través de las paredes o pasando aire caliente por el tambor.

Con el fin de destruir a los microorganismos contaminantes, son necesarios tanto el agua como el calor. Estos tostadores están diseñados para poder añadir tanto agua como vapor, de manera que aumente la letalidad del proceso. Sin embargo, debe tenerse cuidado de secar las habas antes de llevar a cabo los procesos de tostado adecuados, ya que una presencia excesiva de agua puede arrastrar a los componentes del aroma deseados y no deseados. Como se ha señalado anteriormente, las habas excesivamente desecadas tampoco son deseables. Normalmente se sube la temperatura hasta el grado de tostado entre 110 y 140°C cuando el contenido en humedad se ha reducido a un valor inferior al 3%. Habitualmente el proceso global de tostado dura entre 45 minutos y 1 hora. Normalmente tras el tostado se enfriá el producto en un enfriador aparte.



**Figura 3.6** Diagrama de un sistema continuo de tostado de habas/granos (Lehmann Maschinenfabrik GmbH, Alemania). (A) entrada del producto; (B) rodillos de alimentación; (C) extractor del aire ya utilizado; (D) calentador del aire; (E) filtro del aire; (F) tornillo de extracción (Heemskerk<sup>1</sup>).

Cuando es necesario procesar grandes cantidades de habas o de granos, se suele utilizar un sistema en continuo. La Figura 3.6 muestra un típico sistema de tostado en continuo. Aquí las habas son introducidas en lotes en un sistema de estantes. Los estantes están compuestos por una serie de tablillas a través de las cuales circula el aire. Tras un tiempo predeterminado, las tablillas giran a su vez, empezando por la de más abajo hasta que la de más arriba haya vuelto a su posición original añadiéndose entonces un nuevo lote en la posición de más arriba. De este modo las habas van cayendo de los estantes a lo largo del tostador. Los estantes inferiores se utilizan para proporcionar un rápido enfriamiento. Por estos tostadores circulan grandes cantidades de aire caliente y debe tenerse cuidado de que no se lleve consigo los compuestos del flavor más volátiles, junto con el agua que se evapora durante el proceso de tostado.

El tostado de la pasta se lleva a cabo en instalaciones especialmente diseñadas, que extienden la pasta de cacao caliente sobre la superficie de un gran cilindro caliente con una columna central que gira a gran velocidad. Los rotores y paletas, unidas a la columna, agitan continuamente el líquido y rascan la superficie para evitar que el cacao se caliente demasiado. Este proceso es tan corto como 1 ó 2 minutos.

### **Cambios químicos durante el tostado**

Habitualmente las habas sin tostar tienen un sabor muy astringente y amargo. Las elevadas temperaturas y el secado que tienen lugar durante el tostado eliminan muchos de los ácidos volátiles, especialmente el ácido etanoico y hace que los granos o habas tengan un sabor menos ácido. Los ácidos menos volátiles, como el etanodioico (oxálico) y láctico permanecen básicamente sin cambios durante el proceso de tostado.

### **Reacción de Maillard**

Esta reacción, también denominada *pardeamiento no enzimático*, es importante para la calidad de los alimentos en toda la industria alimentaria y da a los productos su color y flavor cuando se hornean, asan o tuestan. Es una reacción extremadamente complicada en la que participan muchos componentes de bajo peso molecular con cientos de reacciones y productos intermedios diferentes. Estos intermediarios pueden o no tener un flavor en sí mismos. Algunos actúan como catalizadores para otras reacciones, mientras que otros pueden detener el desarrollo de unas series concretas de reacciones.

Es necesario el calor para que la reacción tenga lugar a una velocidad importante. Pueden verse y probarse sus productos cuando se quema un alimento en una sartén, debido a que su contenido no se ha removido lo suficiente. También debe estar presente el agua junto con un azúcar reductor, como la glucosa, y un aminoácido, péptido o proteína. En el caso del cacao, hay entre un 12-15% de proteína presente antes de

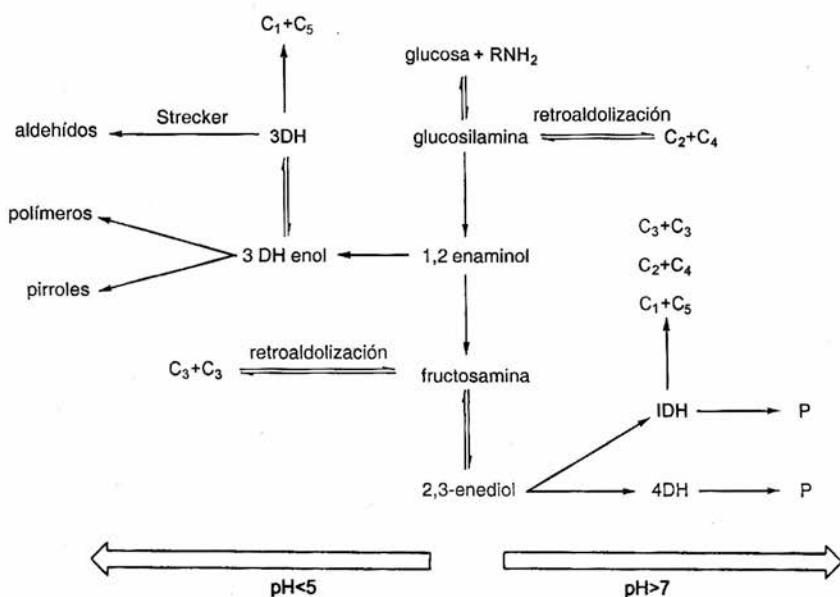


Figura 3.7 Modelo de la reacción de Maillard.

la etapa de fermentación. Pero el calor y las condiciones ácidas que tienen lugar durante este tratamiento, fracciona a muchas de ellas en sus aminoácidos, dando en consecuencia algunos de los precursores que mediante el tostado se convierten en el flavor del chocolate.

Las principales rutas de la reacción de Maillard se muestran en la Figura 3.7. Todas las reacciones tienen lugar si el  $\text{pH} > 3$ , pero el  $\text{pH}$  existente modifica la probabilidad de que tengan lugar unas u otras. Las reacciones de la parte izquierda son principalmente rutas de formación de compuestos del flavor. Los azúcares se rompen dando cadenas de carbono más pequeñas ( $\text{C}_1$ ,  $\text{C}_2$  etc. denotan la longitud de las cadenas). Los intermediarios claves 1DH, 3DH y 4DH son las 1-, 3- y 4-desoxihexulosas respectivamente y son compuestos con dos grupos carbonilo. Frequentemente, las rutas de la parte derecha participan en la producción de color más que de flavor.

La reacción de Strecker implica la formación de aldehídos, algunos de los cuales forman parte del flavor del chocolate, a partir de aminoácidos que son compuestos que básicamente carecen de sabor y olor. Una de estas reacciones implica la reacción de un aminoácido llamado glicina con el glioal (un compuesto 1,2-dioxo). Posteriormente se forman las pirazinas, que son heterociclos con dos átomos de nitrógeno en un anillo compuesto de seis elementos. Las cantidades de las distintas pirazinas formadas dependen muy mucho de la temperatura y tiempo del proceso de tostado.

De hecho su determinación se emplea como método para determinar el grado de tostado de la pasta de cacao (véase el Capítulo 8).

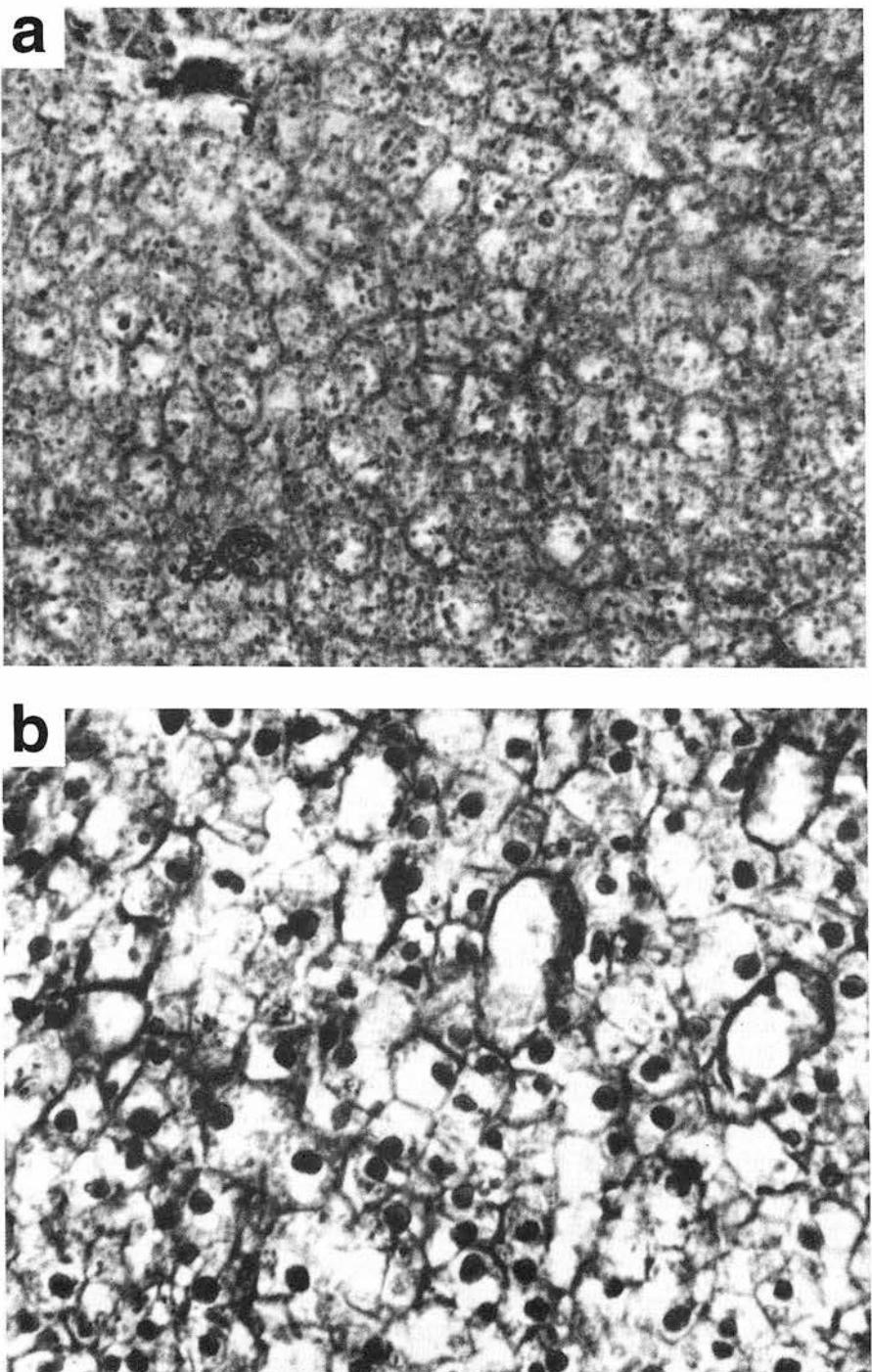
El aroma característico del chocolate puede producirse también por la reacción de aminoácidos como la leucina, la treonina y la glutamina con la glucosa cuando se calientan a alrededor de 100°C. Temperaturas más elevadas producirían un olor más penetrante/pungente.

## MOLTURACIÓN DEL GRANO DE CACAO

En la molturación del grano de cacao hay dos objetivos a cumplir. El primero es hacer que las partículas de cacao sean lo suficientemente pequeñas como para fabricar chocolate. Hay una molturación posterior en el proceso de fabricación del chocolate, de modo que no es necesario realizar una molienda muy fina en esta etapa. La segunda razón, de mayor importancia, es la de extraer la mayor cantidad posible de grasa del interior de las células del cotiledón. La grasa es necesaria para facilitar el flujo del chocolate, tanto en la fabricación de dulces como cuando funde en la boca. La grasa es además el ingrediente principal más caro del chocolate, de manera que desde el punto de vista económico es necesario realizar el mayor uso de toda la grasa presente. La grasa está localizada en unas células de un tamaño medio entre 20 y 30 micras ( $\mu\text{m}$ ) de longitud y de entre 5 a 10 micras de ancho/profundo.

La Figura 3.8 muestra secciones transversales de dos habas vistas a través del microscopio. La grasa ha sido teñida de modo que aparece de color oscuro. Cuando coexisten el agua y la grasa, éstas no se pueden mezclar pero pueden presentarse en dos formas, es decir, una emulsión de agua en aceite, con el aceite/grasa rodeando gotitas de agua o una emulsión de aceite en agua, en la que la grasa/aceite se encuentran en las pequeñas gotitas. Su estabilidad se ve facilitada por algunos fosfoglicéridos, también conocidos como fosfolípidos, que forman una superficie entre el agua y la grasa. A estos compuestos se denominan emulgentes (véase también Capítulo 5). Dentro del grano de cacao hay un emulgente llamado lecitina. Ambos tipos de emulsiones pueden existir dentro de las células del cacao, como se muestra en la Figura 3.8a una emulsión de grasa en aceite y en la Figura 3.8b la fase reversa.

La finalidad de la molturación es la de obtener la grasa del interior de las células, de manera que pueda recubrir las partículas sólidas de naturaleza no grasa en el chocolate. La grasa puede liberarse mediante la ruptura de las células. En el interior de las células hay más grasa de la necesaria para recubrir cualquiera de las superficies nuevas que se crean al romper las células. Esto significa que como la molturación reduce el tamaño de las células la pasta de cacao producida se vuelve más fluida; hay más grasa alrededor. Llega un momento en el que ya no se puede liberar más grasa, por lo que una molienda posterior sólo genera superficies provenientes de las células que deben ser recubiertas con grasa. Esto hace que la pasta de cacao se vuel-



**Figura 3.8** Secciones transversales de las habas de cacao vistas a través del microscopio (la grasa se ha teñido de negro): (a) emulsión de aceite en agua; (b) agua en una emulsión de aceite.

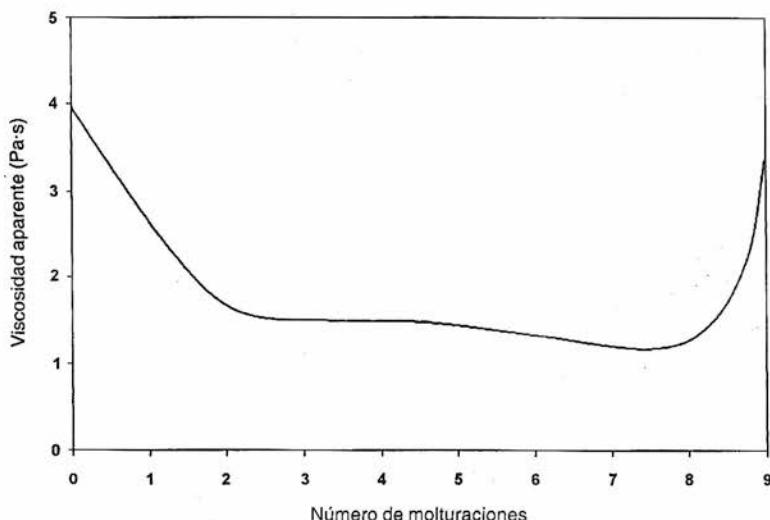


Figura 3.9 Viscosidad de la pasta de cacao molida a diferentes finuras.

va de nuevo más espesa. La Figura 3.9 muestra algunos datos experimentales que ilustran este efecto.

Las paredes celulares se componen principalmente de celulosa. La velocidad a la cual la grasa puede pasar a través de la celulosa depende de la cantidad de agua presente (véase el Experimento 3 del Capítulo 10). Cuando se va extrayendo la grasa del cacao, para la producción del cacao en polvo, esta extracción puede facilitarse por la adición de algo de agua a la pasta. Sin embargo, cuando se moliura, como se señaló en el caso del tostado de la pasta, es mejor tener un menor contenido en agua para permitir que la pasta de cacao fluya más fácilmente.

### Molinos para el cacao

Es necesario moler el grano de un tamaño de partícula máximo de aproximadamente medio centímetro hasta menos de 30 micras. Esto implica que se debe reducir el tamaño de las partículas unas 100 veces. La mayoría de las maquinarias de moliuración pueden trabajar de un modo eficiente si la reducción en el tamaño es de unas 10 veces, de modo que al menos son necesarias dos etapas de moliuración. Además, muchos molinos trabajan mejor con materiales duros, mientras que otros sólo operan bien con líquidos. Esto significa que normalmente se muele el cacao dos veces, inicialmente con una moliuración de impacto, que funde la grasa y con la que se obtiene un líquido que contiene partículas grandes de un diámetro de varios cientos de micras. Habitualmente el segundo molino es un molino de bolas que sólo trabaja con líquidos, o un molino de discos, basado en los molinos originales para el

maíz, que trabaja con materiales líquidos y sólidos. Las partículas de cacao molidas incluyen el almidón del cacao que supone cerca de un 7% del peso de la pasta de cacao. Éste tiene un tamaño de partícula de entre 2 y 12,5 micras, por lo que no se destruye por el proceso de molienda. Cerca de un 10% de la pasta se compone de celulosa y un porcentaje ligeramente superior es proteína.

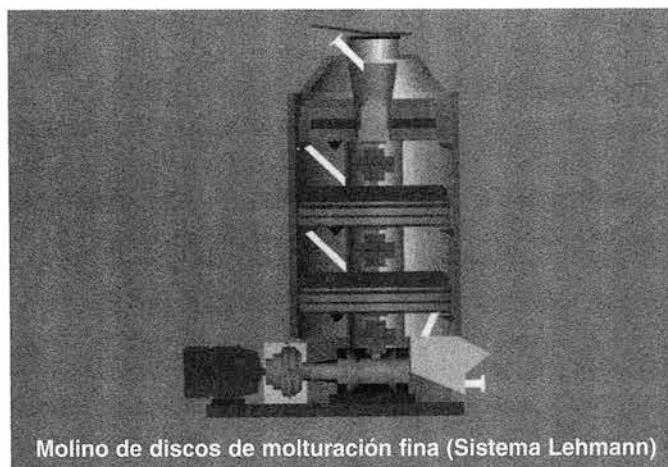
Si la fábrica quiere prensar la pasta de cacao para obtener cacao en polvo, normalmente no se somete a la pasta de cacao a una molienda muy fina como la que recibe cuando la pasta de cacao se destina a la fabricación de chocolate. Esto se debe a que las partículas de cacao molturadas finamente obturarían los filtros de las prensas de cacao y dificultarían mucho la retirada de la manteca de cacao. Sin embargo, en la fabricación del chocolate resulta ventajoso disponer de la mayor cantidad de manteca de cacao posible liberada de las células.

#### *Molinos de impacto*

Los molinos de impacto operan mediante el golpeo de los granos utilizando martillos o mazas. A veces se golpea a las partículas contra tamices o cribas. La manteca de cacao se funde debido al calor producido por el impacto y por el mismo molino y la grasa libre junto con las partículas más pequeñas pasan a través del tamiz. Las partículas de mayor tamaño permanecen en el interior hasta que son quebradas por la siguiente serie de martillos o mazas.

#### *Molinos de discos*

Los molinos de disco habitualmente consisten en tres pares de discos de carborundo (véase Figura 3.10). La pasta de cacao o los granos se introducen en el centro de la

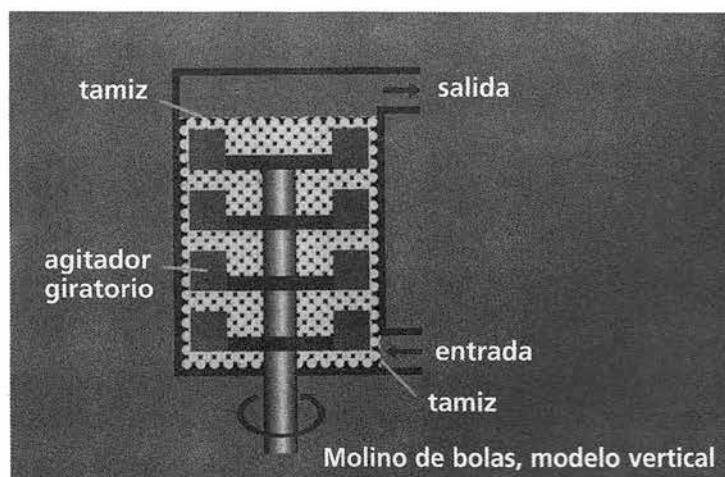


**Figura 3.10** Diagrama esquemático de un molino de discos triples (Lehmann).

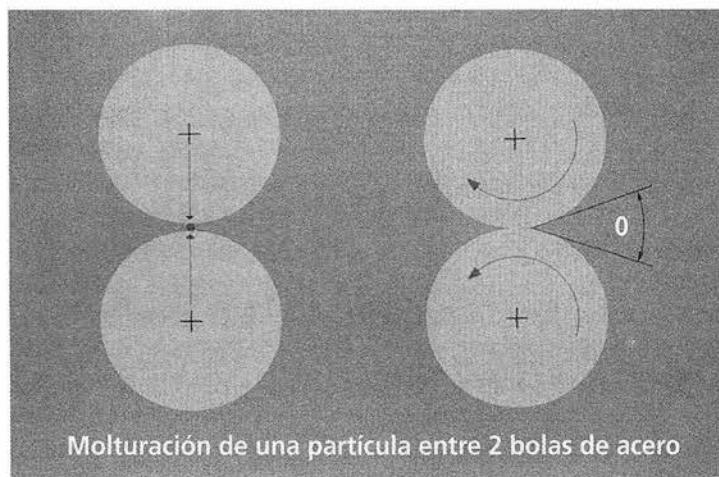
serie superior de discos, donde uno de los discos gira pero el otro permanece sin moverse. Los discos se aproximan uno al otro con lo que se fuerza a la pasta de cacao a que pase a través de ellos, mediante una fuerza centrífuga hacia el exterior. La elevada cizalla destruye una gran cantidad de partículas liberando una gran cantidad de grasa. Posteriormente la pasta de cacao recorre una rampa hacia el centro del segundo juego de discos y luego finalmente al tercero.

### *Molinos de bolas*

La mayoría del cacao mundial se molta utilizando molinos de bolas, que sólo pueden moler líquidos por lo que habitualmente les precede un molino de impacto. Los molinos contienen una gran cantidad de bolas, que están hechas para rebotar unas contra otras, bien volteándolas mediante la rotación de la pared del cuerpo de trituración o bien mediante un eje central giratorio con vástagos situados en ángulo recto a determinados intervalos, como se muestra en la Figura 3.11. Las bolas producen impactos y giran (Figura 3.12) y cualquier partícula que queda entre medio se rompe por aplastamiento o se hace papilla por las fuerzas de cizalla de la acción de giro. Las partículas más pequeñas se mueven más rápidamente en la grasa según ésta va siendo empujada por las bolas en movimiento, pero las más grandes tienen una mayor probabilidad de ser molidas ya que se mueven más lentamente. Con una pasta de cacao de grano grueso que contenga partículas de varios cientos de micras de diámetro, las bolas deben de ser de unos 15 mm. Si se desea obtener una pasta más



**Figura 3.11** Diagrama esquemático de un molino de bolas con agitador.



**Figura 3.12** Ilustración de la acción de molturación entre dos bolas en un molino de bolas.

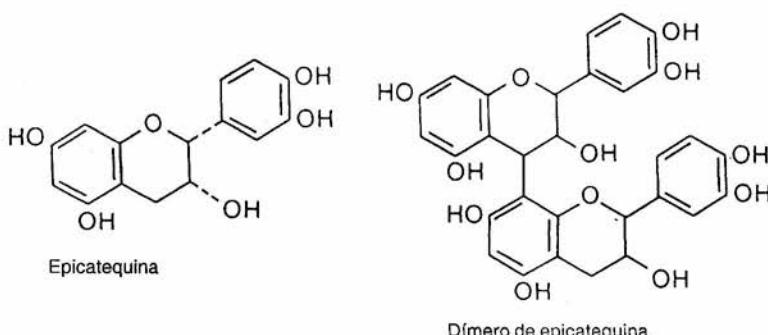
fina, pueden emplearse unos molinos de bolas en serie, en el que cada uno contiene bolas más pequeñas, hasta un tamaño inferior de 2 mm. En el mismo espacio cabrán más bolas de menor tamaño, por lo que la probabilidad de que una partícula se atrapada entre dos bolas aumenta enormemente. La velocidad del agitador también debe incrementarse con las bolas más pequeñas.

A la salida de los molinos se emplean tamices para evitar que las bolas dañen a la maquinaria en las siguientes etapas de la fabricación del chocolate. Las bolas se van desgastando y se van sustituyendo a intervalos regulares. Los imanes en las tuberías de salida capturan cualquier pieza de metal que salga del molino.

## PRODUCCIÓN DE MANTECA DE CACAO Y DE CACAO EN POLVO

### Alcalinizado (o proceso holandés)

La mayoría de la pasta de cacao empleada para obtener cacao en polvo es alcalinizada, mientras que pocas pastas de las empleadas para la fabricación de chocolate sufren este tratamiento. El proceso de alcalinizado fue desarrollado en Holanda en el siglo XIX, por lo que también se le conoce como procesado holandés. La razón de realizar este proceso es la de hacer que el polvo se aglomere menos o evitar que precipite en el fondo, cuando se añadía a la leche o a una bebida con base acuosa. La capacidad del álcali para producir esto no está completamente probada, pero afecta tanto al color como al flavor.



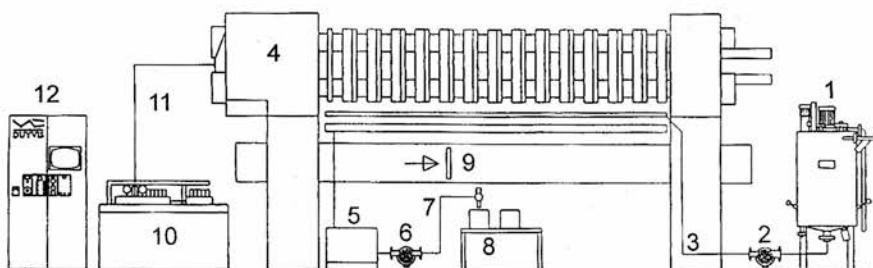
**Figura 3.13** Molécula de epicatequina y su dímero (Meursing y Zijderveld<sup>3</sup>).

Al grano de cacao se le adiciona habitualmente antes del tostado una disolución de un álcali, normalmente carbonato potásico, aunque puede tratarse la misma pasta o incluso el cacao en polvo. Debe tenerse cuidado de no añadir demasiado álcali. Esto es debido a que las moléculas de la manteca de cacao constan de tres ácidos grasos unidos a un glicerol (Capítulo 6). Estos ácidos pueden reaccionar con los álcalis dando lugar a un sabor a jabón. Para evitar esto, se añaden pequeñas cantidades de ácido etanoico o tartárico tras la alcalinización, con el fin de disminuir el pH. Para ciertos tipos de habas de sabor muy ácido, debido a la presencia de ácido etanoico y otros ácidos en el cacao, una alcalinización media que neutralice estos ácidos puede ser muy beneficiosa para el flavor del cacao/chocolate.

La razón del cambio de color se debe a unas reacciones que tienen lugar con un tipo de sustancias químicas presentes en el cacao y denominadas taninos (polifenoles). Éstos se componen de moléculas de epicatequina (Figura 3.13), las cuales durante las diferentes etapas de fermentación, desecado y tostado se van uniendo, oxidando o reaccionando con otras sustancias químicas del cacao. Estas reacciones aumentan el número de moléculas que confieren color y hacen que el cacao sea más oscuro. Mediante un ajuste cuidadoso del pH, la humedad, las temperaturas y tiempos de tostado, es posible producir una amplia variedad de colores.

### Manteca de cacao

La manteca de cacao de mayor calidad se obtiene del prensado de la pasta de cacao en una prensa horizontal del tipo de la mostrada en la Figura 3.14. La sección de arriba (4) consiste en una serie de compartimentos en la que la base de cada uno es un tamiz de acero inoxidable. Entra pasta de cacao caliente al compartimento que a continuación es presionada por un émbolo de acero que trabaja a una presión de entre 40-50 MPa. El grano contiene inicialmente alrededor de un 55% de manteca de



**Figura 3.14** Representación esquemática de los principios de funcionamiento de una prensa horizontal de manteca de cacao. (1) depósito de acondicionamiento de la pasta de cacao; (2) bomba; (3) tubería para la pasta de cacao; (4) prensa hidráulica para la pasta de cacao; (5) balanza para la manteca de cacao; (6) bomba para la manteca de cacao; (7) tubería para la manteca de cacao; (8) contenedor de la manteca de cacao; (9) cinta transportadora de la torta de cacao; (10) unidad hidráulica de bombeo; (11) tubería hidráulica; (12) panel de control (Meursing y Zijderweld<sup>3</sup>).

cacao y esta presión es capaz de hacer pasar más de la mitad a través del tamiz, desde donde fluye por una tubería hasta un control de peso. La presión se aplica lentamente al principio, para prevenir la formación de capas duras que evitan la salida de más grasa. Al operario le es posible aumentar la presión hasta que se haya obtenido la cantidad necesaria de manteca de cacao. Esto deja un material duro en los compartimentos que contiene entre un 8 y un 24% de grasa, dependiendo del tipo de cacao en polvo que se produzca. A los discos redondos duros de este material se le denomina torta prensada de cacao. Cuando se abren estos compartimentos, esta torta sale y cae sobre una cinta transportadora (9).

Se obtiene una manteca de cacao de una peor calidad mediante un proceso «expeller» en continuo en el que se prensan las habas de cacao enteras, incluyendo la cáscara, para obtener la grasa. Con mucha frecuencia estas habas no son del estándar adecuado para fabricar chocolate, ya que pueden no haber fermentado correctamente o pueden tener un sabor demasiado ácido. La cáscara contiene algunas grasas que no son manteca de cacao. Éstas también son prensadas y se mezclan con la manteca de cacao. Esto causa un deterioro de la dureza y las propiedades de solidificación de la manteca de cacao por su efecto eutéctico (véase Capítulo 5). Con mucha frecuencia esta manteca aparece turbia y debe ser filtrada.

Cuando se obtiene una torta prensada a partir de habas enteras o defectuosas, ésta tiene muy poco valor y normalmente se emplea para la alimentación animal. Alternativamente, la grasa que queda puede retirarse mediante solventes o con extracción con fluidos supercríticos.

Cuando se compra manteca de cacao, se dan una serie de especificaciones al productor. Entre éstas se incluye un contenido máximo en ácidos grasos libres (normalmente un 1,75%). Estos son los ácidos grasos que se han liberado de su unión al «esqueleto» de glicerol del triglicérido. Éstos pueden trastocar las propiedades de solidificación del chocolate. También hay un valor máximo para el índice de saponificación (0,5%), para asegurarse de que no se dan sabores a jabón. [El índice de saponificación es la cantidad de mg de hidróxido potásico (KOH) que reaccionan con un gramo de manteca de cacao].

La manteca de cacao prensada pura tiene un flavor, que formará parte de el del chocolate. Para algunos productos, especialmente para el chocolate blanco, este flavor puede ser desagradable. En este caso se utiliza manteca de cacao desodorizada. Con frecuencia se obtiene este producto mediante destilación con vapor y a vacío de la manteca de cacao.

### **Cacao en polvo**

El cacao en polvo se obtiene mediante la molturación de la torta de cacao prensada. Una vez ésta deja la prensa, se rompe en fragmentos de menos de 3 cm de diámetro mediante dos rodillos dentados que giran en sentido contrario. Posteriormente se utiliza un molino de martillos o paletas refrigerado para moler finalmente el polvo. Luego se enfriá intensamente mientras es transportado por una corriente de aire a lo largo de una larga tubería hasta el área de envasado. La mayoría de la grasa continúa en estado líquido tras la molienda, y debe solidificarse antes de su envasado con el fin de prevenir que el polvo se apelmace. Posteriormente se recoge en un ciclón de separación en el que las partículas más finas son eliminadas mediante un sistema de filtros.

La mayoría del cacao en polvo producido tiene un contenido en grasa entre 20-22%. Se dispone de cacaos en polvo con contenidos en grasa inferiores, por ejemplo 15-17% o de un 10-12%. Se fabrica un cacao en polvo sin grasa, pero a éste no se le puede denominar legalmente como cacao en polvo.

El cacao en polvo puede mezclarse con otras grasas para obtener coberturas de chocolate aromatizadas (compuestas) o para elaborar mezclas para pasteles o rellenos, etc. Una cantidad muy importante se emplea para fabricar bebidas a base de chocolate. Éstas se obtienen a partir de azúcar, cacao en polvo y lecitina. La lecitina puede añadirse a la torta prensada ya partida y molerse conjuntamente. Con esto nos aseguramos de que la lecitina se encuentre bien unida al cacao, especialmente a la grasa. La lecitina actúa como un emulgente, y establece una frontera entre la grasa y el resto de partículas del cacao y el agua cuando se elabora la bebida. Esto ayuda a la dispersión de estas partículas a lo largo del medio acuoso en lugar de formar grumos.

**REFERENCIAS**

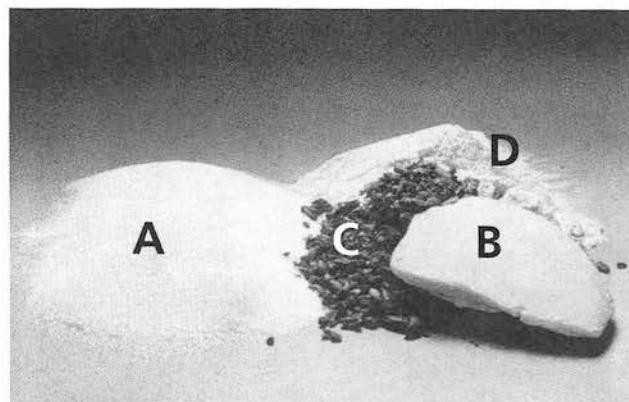
1. R.F.M. Heemskerk, 'Cleaning, Roasting and Winnowing', in S.T. Beckett (ed.), 'Industrial Chocolate Manufacture and Use', 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.
2. B. Wedzicha, 'Modelling to Improve Browning in Food', 46th Technology Conference, BCCCA, London, 1999.
3. E.H. Meursing and J.A. Zijderveld, 'Cocoa Mass, Cocoa Butter and Cocoa Powder', in S.T. Beckett (ed.), 'Industrial Chocolate Manufacture and Use', 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.

## *Capítulo 4*

### **Fabricación del chocolate líquido**

La gente piensa en el chocolate como un sólido, ya que es en este estado en el que lo compran y lo comen. Sin embargo, para el fabricante de chocolate normalmente es un líquido y sólo se solidifica justo antes de que esté preparado para ser envasado y enviado a los almacenes o a las tiendas.

Ya se ha señalado que el chocolate puro se fabrica básicamente a partir de azúcar, grano de cacao y manteca de cacao. La Figura 1.2 muestra los ingredientes básicos para un típico chocolate puro, aproximadamente en las proporciones en que son utilizados. De un modo similar, en la Figura 4.1 se muestra la receta básica para un chocolate con leche obtenido con leche en polvo entera. Como puede observarse,



**Figura 4.1** Fotografía que muestra los ingredientes sin moler empleados para la fabricación de chocolate con leche: A, azúcar; B, manteca de cacao; C, cacao en grano; D, leche entera en polvo.

son partículas relativamente grandes, algunas de varios milímetros de diámetro. Como ocurría con la pasta de cacao, deben molturarse hasta que las partículas de mayor tamaño sean menores de 30 micras.

Posteriormente las partículas ya de pequeño tamaño, deben ser recubiertas por grasa, de manera que puedan fluir unas junto a otras cuando el chocolate se funda en la boca. Este proceso tiene lugar en una máquina llamada concha (véase el Capítulo 1). Esta máquina es la única especialmente diseñada para el proceso de fabricación del chocolate. Las mezcladoras nos las encontramos en toda la industria alimentaria, mientras que los molinos se emplean para triturar muchos alimentos y productos que no lo son (como las tintas para impresión).

Luego el chocolate líquido se emplea para obtener el producto final. Normalmente esto tiene lugar vertiendo el chocolate en un molde o pasándolo por una cortina de chocolate en una máquina conocida como bañadora (Capítulo 7).

El modo en el que fluye el chocolate durante este proceso es muy importante para conseguir la apariencia y peso correcto. La viscosidad del chocolate varía dependiendo en la intensidad con la que se agita o vierte y es lo que se conoce como líquido no newtoniano (Capítulo 5). Su comportamiento se define a menudo por dos parámetros de viscosidad conocidos como umbral de fluencia (relacionado con la energía necesaria para que comience a fluir) y la viscosidad plástica (su espesor cuando se mueve relativamente rápido). Ambos parámetros deben ser los adecuados, ya que de otro modo se producirán pérdidas. Por ejemplo, se pueden formar «pies» en las bases (Figura 4.2) y como consecuencia que se venda el producto a un bajo precio por defectuoso o pueden aparecer orificios que dejen el núcleo sin cubrir (Figura 4.3). Si el núcleo es húmedo se secará muy rápidamente, ya que no está protegido por el chocolate y su vida útil será mucho más corta.

El siguiente capítulo observa los factores que controlan el flujo del chocolate y que son usados por el fabricante para obtener la viscosidad correcta para su posterior procesado.

## MOLTURACIÓN DEL CHOCOLATE

El objetivo de este proceso es el de asegurarse de que el chocolate no presenta partículas que le den una textura arenosa, en otras palabras, que no haya partículas mayores de 30 micras. Otro factor importante es asegurarse de que no hay demasiadas partículas de tamaño muy pequeño. Al contrario que la pasta de cacao (véase el Capítulo 3, Figura 3.9) que se vuelve menos densa cuando se moltura, el chocolate se vuelve más espeso. Esto es debido a la creación de partículas más finas, como se explicará con más detalle en el Capítulo 5.

Hay dos métodos diferentes de moler los ingredientes del chocolate, la obtención de ingredientes finos y la molturación combinada. En el proceso de obtención de



**Figura 4.2** Defecto de forma en un bombón con un «pie».

ingredientes finos, los componentes sólidos de naturaleza no grasa son molidos por separado y posteriormente se añaden a la pasta de cacao, la manteca de cacao y otros ingredientes líquidos en la concha. En la molturación combinada, se mezclan estos ingredientes con la pasta de cacao y parte del resto de grasa antes de que se lleve a cabo la molienda. Los dos procesos probablemente darán sabores diferentes, ya que el azúcar tomará muchos de los aromas presentes en el molino mientras se está molturando y en el segundo caso el azúcar se encuentra muy cerca del cacao.

Cada proceso tiene sus ventajas y desventajas particulares a parte de las relacionadas con el aspecto del sabor. El proceso de obtención de ingredientes finos presenta un mejor control del número de partículas finas, pero éstas se encuentran básicamente sin grasa al final de la molienda. Esto implica que el proceso de recu-



**Figura 4.3** Bombón con parte del centro sin cubrir.

brimiento con grasa en la concha es más largo de lo que lo sería si muchas de las partículas ya estuviesen recubiertas de grasa, como ocurre en el caso de la molturación combinada.

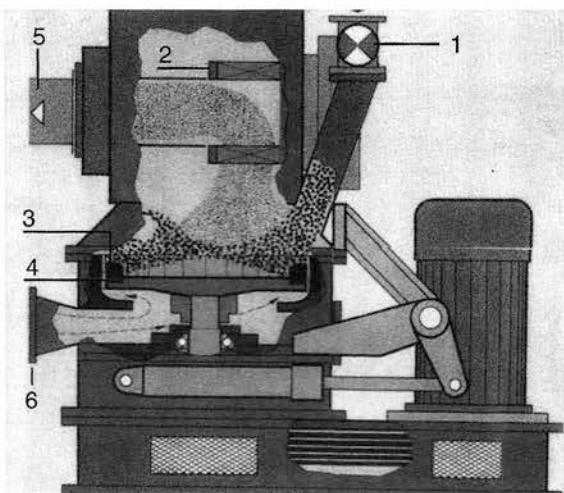
### Molinos separados para la reducción del tamaño de partículas

Los molinos son necesarios para reducir el tamaño del azúcar y de otras partículas sólidas en un factor aproximado de 100 veces, desde unos milímetros a decenas de micras. Es una relación similar a la de romper un ladrillo en trozos del tamaño de unos granos de azúcar. Para la fabricación de la pasta de cacao se señaló que era mejor reducir el tamaño de partículas en una serie de pasos, más que en una sola etapa. Esto también es así para el resto de ingredientes del chocolate. Los martillos de mazas/paletas, de los del tipo utilizados para romper el grano del cacao, son muy eficaces para quebrar el azúcar. Este es un material muy frágil y cuando es golpeado fuertemente por una paleta o una maza de metal que se mueve rápidamente, se rompe en un montón de trozos más pequeños. La leche en polvo es mucho más elástica y difícil de romper por lo que requiere una mayor residencia en el molino.

El método tradicional de fabricación de chocolate consistía en pasar el azúcar por un molino de este tipo, de modo que el tamaño medio de partícula fuese de unas 100 micras. Luego se añadía a los ingredientes lácteos y a la pasta de cacao para una molienda combinada. Esto todavía se sigue llevando a cabo en algunas fábricas, pero el proceso ha sido sustituido en gran parte por un proceso de molturación combinada que utiliza dos juegos de refinadoras de rodillos, como se describe en la siguiente sección.

Con el fin de reducir el tamaño de partícula todavía más hasta lograr el requerido para el chocolate, habitualmente es necesaria otra etapa de molturación. Sin embargo, es posible que el proceso completo se desarrolle en una única máquina, llamada molino clasificador, uno de cuyos modelos se muestra en la Figura 4.4 dentro de esta máquina, pueden tener lugar varias series de etapas de molturación, antes de que las partículas de tamaño fino salgan del molino.

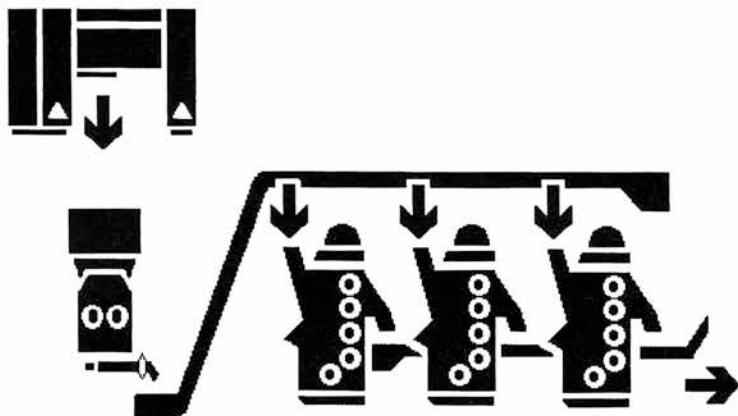
El azúcar y los productos lácteos en polvo se introducen a través de una tolva (1) al disco de molturación (4). Éste gira a una velocidad de varios miles de vueltas por minuto y tiene mazas de metal, cuñas o paletas en los extremos (3), que golpean las partículas, rompiendo algunas y astillando otras. Por el molino se hace pasar una gran cantidad de aire, entrando por (6) y saliendo por (5). Esto hace que las partículas suban y se dirijan al clasificador (2). Éste consta de un cilindro hueco que gira rápidamente con hendiduras en los lados. En el aire que fluye a gran velocidad, las partículas más pequeñas pueden desplazarse prácticamente a la misma velocidad que el aire, pero las más grandes son más lentas por su peso e inercia. Según va pasando el aire por las hendiduras, las partículas más pequeñas son capaces de pasar junto con el aire y salen al exterior del molino, donde son recogidas por ciclones y



**Figura 4.4** Diagrama esquemático de un molino clasificador fabricado por Hosakawa Micron. (1) Válvula de entrada del material; (2) clasificador; (3) mazas de molienda; (4) disco del molino; (5) salida a los ciclones y filtros tubulares; (6) entrada del aire (Ziegler y Hogg<sup>1</sup>).

filtros tubulares. Las partículas más grandes, que son más lentas, son golpeadas por las tiras en movimiento entre las aberturas y vuelven de nuevo a la zona de ruptura. Las partículas más grandes serán recirculadas las veces que sean necesarias hasta que sean lo suficientemente pequeñas como para pasar a través del clasificador. En la práctica esto significa que las pequeñas partículas de azúcar machacadas o astilladas provenientes de grandes cristales, pasarán con una única vuelta al circuito, pero parte del azúcar y la mayoría de la leche será recirculada varias veces. Todas las partículas dentro del molino se desplazan a una gran velocidad, colisionando unas con otras lo que origina una importante ruptura adicional.

Hay dos controles sobre el tamaño de partícula que el fabricante puede emplear para obtener el tamaño de partícula necesario para la fabricación del chocolate. Uno es la velocidad de circulación del aire. Si se aumenta la velocidad del aire, aumenta el número de partículas que pasan por las ranuras y se obtiene un producto más grueso. Sin embargo, si se aumenta la velocidad del cilindro clasificador se obtiene el efecto contrario, las tiras golpean más partículas y el producto es más fino. Como las partículas salen del molino tan pronto se han reducido al tamaño adecuado (al contrario que en la molienda combinada, en la que todas las partículas pasan por el molino hasta que las más grandes se han roto) este tipo de molinos producen una cantidad relativamente menor de partículas excesivamente finas si se compara con la molienda combinada.



**Figura 4.5** Diagrama de una planta para la elaboración de chocolate con pre-refinadora de dos rodillos y refinadoras de 5 rodillos.

Los molinos generan una gran cantidad de calor, lo que hace que parte del azúcar pase del estado cristalino al amorfo (véase el Capítulo 2). También la grasa que se encuentra presente se fundirá, lo que produce que las partículas se vuelvan pegajosas y obturen las tuberías. Cuando hay más de un 12% de grasa es necesario algún sistema de enfriamiento. Con cantidades aún mayores, puede introducirse nitrógeno líquido con el aire para llevar a cabo una molturación criogénica. A menudo, se utiliza este tipo de molienda para obtener cacao en polvo a partir la torta de cacao prensada, así como ingredientes para el chocolate.

### Molturación combinada o refinado

En los procesos empleados por muchas de las modernas fábricas de chocolate, las partículas sólidas son molturadas utilizando refinadoras de rodillos. La Figura 4.5 muestra esquemáticamente el proceso.

Inicialmente la pasta de cacao, el azúcar granulado y los componentes lácteos se colocan en una mezcladora o amasadora con parte de la manteca de cacao. (En los chocolates elaborados con crumb, la mayoría de los componentes sólidos están incluidos en el crumb, que se encuentra en forma de un polvo parcialmente molido). Es importante que esta mezcla se convierta en una pasta uniforme con la consistencia apropiada para que el refinado tenga lugar de una forma adecuada. Luego esta pasta se introduce en un refinador de dos rodillos o pre-refinadora. Éste consta de dos rodillos, situados horizontalmente uno al lado del otro, que giran en sentidos contrapuestos de modo que la pasta pasa por el espacio que queda entre los dos rodillos. Si la pasta no tiene la textura adecuada forma un puente entre los dos rodillos y se detiene el proceso. Si la textura es correcta, la presión y las fuerzas de cizalla en el hueco entre los dos



**Figura 4.6** Fotografía de unas refinadoras de cinco rodillos.

rodillos romperá algunas partículas y también recubrirá con grasa algunas de las superficies de reciente formación, de modo que se forma una pasta más seca, con un tamaño máximo de partícula de entre 100 y 150 micras.

La molturación final tiene lugar en una refinadora de 5 rodillos, similar a la mostrada en la Figura 4.6, que puede tener una anchura entre 75 cm y 2,5 m. Éstas reducen el tamaño de partícula máximo a un valor entre 15 y 35 micras. El tamaño real dependerá del tipo de chocolate que se vaya a fabricar y afecta enormemente a sus propiedades de fluencia como líquido, así como a su sabor y textura en la boca (véase el Capítulo 5).

Las refinadoras de cinco rodillos constan de cinco cilindros con forma ligeramente abarrillada dispuestos horizontalmente, con cuatro de los rodillos dispuestos unos al lado de los otros (Figura 4.7). El primero, o rodillo de alimentación está situado debajo de los otros, pero a un lado, de modo que se forma un reservorio entre éste y el segundo rodillo en el que se encuentra la pasta proveniente de la pre-refinadora. Como tiene cuatro espacios de aplastamiento, las máquinas de cinco rodillos trabajan mucho más lentamente que las de dos rodillos que sólo tienen un único intersticio. Por esto normalmente se emplea una pre-refinadora de dos rodillos acoplada a varias refinadoras de cinco rodillos.

Los rodillos son huecos y pueden enfriarse o calentarse con agua que fluya a por su interior. También son presurizados entre ellos con un sistema hidráulico. Esta presión corrige la forma de barril de manera que se enderezan y se forma una distancia uniforme entre los cilindros. Una cuchilla, o rascador, situada en contra de la parte trasera del quinto cilindro retira el chocolate en forma de copos o polvo.

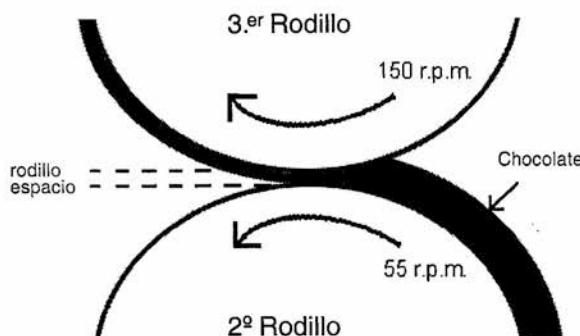


**Figura 4.7** Diagrama esquemático de una refinadora de cinco rodillos.

Las partículas grandes pueden romperse de muchas maneras. Un golpeo fuerte, como en los molinos de mazas, puede romperlas o dos o más piezas de tamaño similar o puede astillar pequeñas piezas de los extremos. El aplastamiento entre dos superficies duras, ya se ha mostrado como uno de los modos de operación de los molinos de bolas cuando se molienda la pasta de cacao (Figura 3.12). Otro de los modos es emplear la cizalla para triturarlas. La cizalla está relacionada con la diferencia de velocidad entre dos superficies en movimiento dividida por la distancia entre ellas. Esto significa que si dos superficies se desplazan a velocidades muy diferentes y se encuentran muy juntas, tiene lugar una acción cizallante muy intensa, que rompe las partículas. De hecho esto es lo que ocurre en una refinadora de cinco rodillos.

Cada uno de los rodillos es más rápido que el anterior (Figura 4.7) y por ello la pasta de chocolate se ve atraída hacia la superficie que se desplaza más rápidamente en lugar de a la más lenta, por lo que sigue subiendo por la refinadora en lugar de quedarse dando vueltas los rodillos de abajo.

Este tipo de máquinas funciona con una capa continua de chocolate desde el depósito de entrada hasta el rascador. El grosor de la capa depende de la distancia entre un rodillo y el de abajo. En la Figura 4.8 se muestra lo que en realidad tiene lugar en el espacio entre el segundo y tercer rodillo. El rodillo inferior supongamos que gira a 55 r.p.m. y que el grosor de la película es de 100 micras. El segundo rodillo gira a 150 r.p.m. pero la capa sigue siendo continua. Esto significa que se ha estrechado debido a la mayor velocidad, de modo que el grosor disminuye en función a la relación entre las velocidades de los dos rodillos, es decir se queda en  $100 \times 55 / 150$ , grosor en micras ( $= 37$  micras). Por consiguiente la fineza final de-



**Figura 4.8** Ilustración al detalle del espacio entre el segundo y el tercer rodillo de una refinadora de 5 rodillos.

pende de la relación entre las velocidades de los diferentes rodillos junto con el grosor inicial de la película. Este último depende de la anchura de la hendidura de la tolva de entrada, es decir, el espacio entre los dos primeros rodillos. Resulta peculiar que se vea poco afectada por la presión, que principalmente actúa dando una película uniforme en todo el rodillo.

La temperatura también juega un papel importante en el funcionamiento de una refinadora de rodillos. Ésta modifica la textura/viscosidad de la capa ya que cambia las propiedades de fluencia de la grasa presente. Debido a que las superficies de los rodillos giran a una velocidad relativamente alta, hay una fuerza centrífuga sobre las partículas individuales que trata de sacarlas al exterior del rodillo. La misma capa las mantiene unidas ya que son parte de la película. Si hay algo que no va bien en relación a la textura de la película, por ejemplo, parte de la grasa se solidifica porque está demasiado fría, las partículas quedan libres y son arrojadas fuera de la máquina. Por consiguiente, el control de la temperatura es muy importante en el refinado del chocolate.

Las fuerzas de cizalla entre los rodillos no sólo rompen las partículas, también recubre de grasa algunas de las superficies de nueva creación. Además de tener lugar la ruptura, las superficies recién formadas, que son muy reactivas químicamente, son capaces de captar compuestos químicos volátiles que participan en el flavor, a partir de las partículas de cacao que se rompen al mismo tiempo en sus proximidades. Esto significa que es probable que el chocolate tenga un flavor diferente del que tendrá uno elaborado con un proceso de molturación de los ingredientes por separado.

## CONCHADO DEL CHOCOLATE

La concha para el chocolate fue inventada por Rudi Lindt en Suiza en 1878 y se le puso el nombre concha porque se asemejaba en forma a las conchas. Él dijo que

ayudaba a que su chocolate fuese más suave y modificaba su sabor. Cuando se inventó la concha, las posibilidades de molturación del chocolate eran escasas, de modo que es posible que las partículas se rompiesen en su concha, lo que lo hacía más suave. Sin embargo, hoy en día, los sistemas de molturación son muy eficientes y prácticamente no se produce una posterior reducción del tamaño de partícula, salvo si las partículas se mantienen juntas por uniones débiles en forma de aglomerados. La concha continúa cambiando el flavor del chocolate y también el modo en el que funde en la boca. También, y de gran importancia para el fabricante de chocolate, determina la viscosidad final del chocolate líquido antes de que se utilice para fabricar el producto final.

De hecho el proceso de conchado son dos procesos distintos que tienen lugar dentro de la misma máquina. El primero es el desarrollo del flavor. Los procesos de fermentación y tostado producen los componentes del flavor necesarios para conferir al chocolate su agradable sabor, pero también dan algunos compuestos no deseables de sabor astringente/ácido que es necesario eliminar. Además algunos chocolates necesitan un desarrollo posterior del flavor, por ejemplo, en algunos casos es deseable el realzamiento de un flavor a cocido.

El segundo es el de convertir el chocolate de un polvo laminado o una pasta espesa y seca en un líquido que fluya libremente y que pueda emplearse para fabricar los productos finales. Esto implica el recubrimiento de las superficies de las partículas sólidas con grasa, de modo que éstas puedan deslizarse unas junto a otras.

### Cambios químicos

Durante la fermentación se forma ácido etanoico (acético) y en menor grado otros ácidos grasos volátiles de cadena corta como el propanoico y el isobutírico (2-metilpropanoico). Sin embargo tienen un punto de ebullición por encima de los 118°C, que es una temperatura considerablemente mayor que la que alcanza el chocolate durante la mayoría de los procesos de conchado. El agua, sin embargo, es eliminada del chocolate, particularmente en las primeras partes del proceso (Figura 4.9) y esto puede ayudar a eliminar los ácidos mediante un tipo de proceso de destilación de vapor.

Otros autores han señalado una gran reducción de la cantidad de fenoles durante las primeras horas del conchado. Sin embargo, no se sabe qué efecto, si es que tienen alguno; presentan estos compuestos en el flavor del chocolate. El análisis del espacio de cabeza del aire sobre la concha ha mostrado que la cantidad de volátiles desciende en un 80% durante las primeras pocas horas del conchado. También es posible realizar un sobre-conchado. El chocolate que se ha estado procesando durante demasiado tiempo puede tener muy poco flavor.

El flavor del chocolate depende de la combinación de tiempo y temperatura empleados, en general una temperatura más alta implica un tiempo de procesado menor. Sin embargo, por encima de 70°C para el chocolate con leche, empiezan a desarro-

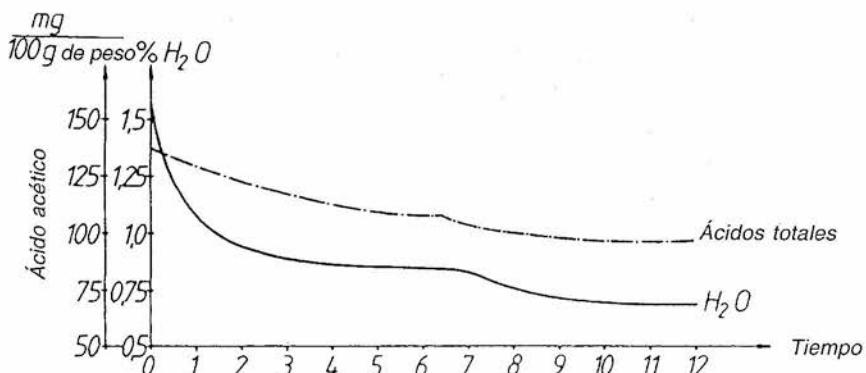


Figura 4.9 Gráfica que muestra los cambios en la humedad y acidez durante un ciclo de conchado (tiempo en horas) (Beckett<sup>2</sup>).

llarse los cambios que originan el sabor a cocido. Algunos fabricantes utilizan temperaturas superiores a los 100°C para tratar de promover algunos sabores tipo Maillard. Como hay muy poca agua presente, estos sabores no son tan fuertes como los desarrollados durante el desecado de la leche a altas temperaturas o en proceso de fabricación del crumb. En algunos chocolates con sabor a leche, deben evitarse los sabores tipo Maillard, de manera que las temperaturas de conchado deben mantenerse por debajo de 50°C. Esto también debe cumplirse para algunos chocolates sin azúcar que contienen polialcoholes. En este caso las altas temperaturas funden los cristales que posteriormente pueden volver a solidificar como conglomerados arenosos.

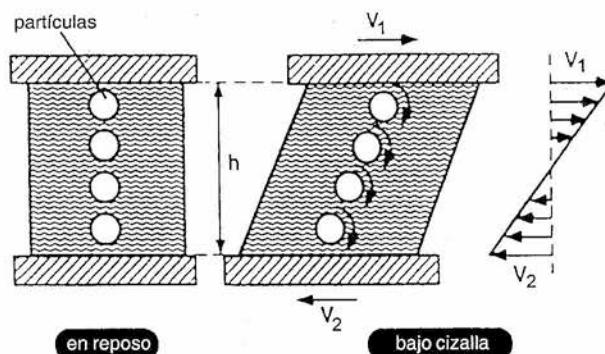
### Reducción de la viscosidad

Esencialmente es un proceso de recubrimiento de las partículas con grasa. Como en la molturación, la cizalla es un factor importante. La Figura 4.10 muestra unas partículas en reposo y luego bajo cizalla.

De nuevo la cizalla en este caso está relacionada con la diferencia en la velocidad de las paredes de alrededor dividida por la distancia entre ellas y podemos definir la velocidad de deformación tangencial, gradiente de deformación (*shear rate*) o velocidad de cizalla como:

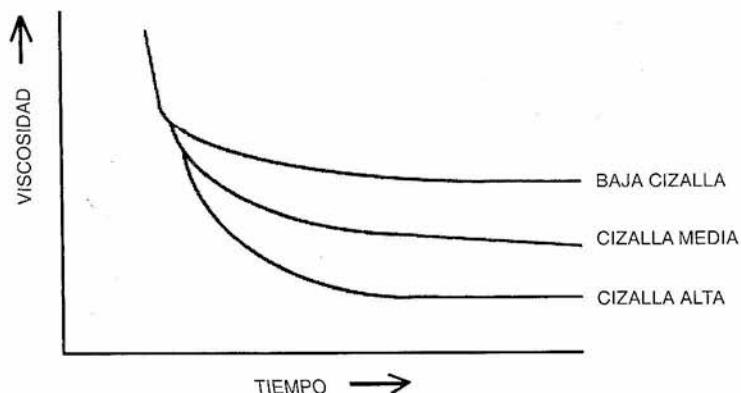
$$\text{Gradiente de deformación tangencial} = (v_1 + v_2)/h \quad (4.1)$$

Una vez más las velocidades elevadas o las distancias pequeñas son las de mayor efecto sobre las partículas. Lo que estamos tratando de hacer es poner grasa alrededor de la superficie, que es un poco como tratar de poner mantequilla en el pan, donde la grasa situada entre el cuchillo y el pan es sometida a una elevada cizalla y de esa manera se ve forzada a situarse en una fina capa sobre la superficie.



**Figura 4.10** Representación de la cizalla entre dos superficies planas paralelas (Beckett<sup>2</sup>).

Esto es de particular importancia en la fabricación de chocolate debido a que es deseable hacer que el chocolate fluya en la medida de lo posible (que tenga la menor viscosidad posible) con cualquier contenido en grasa. La Figura 4.11 muestra al mismo chocolate (idéntico contenido en grasa) procesado con diferentes gradientes de deformación tangencial. Como puede observarse todos, alcanzan el equilibrio a diferentes valores de viscosidad y los retienen sea cual sea el tiempo que son sometidos a esta gradiente de deformación tangencial. Esto significa que dentro de los gradientes de deformación normales empleados en el conchado, cuanto mayores sean éstos, más fluido será el chocolate obtenido. Sin embargo, esto requiere motores muy grandes y una gran cantidad de energía y existe un límite práctico de los gradientes de deformación tangencial que se pueden desarrollar.



**Figura 4.11** Ilustración del cambio de la viscosidad a lo largo del tiempo en conchas con diferentes efectos cizallantes (Beckett<sup>2</sup>).

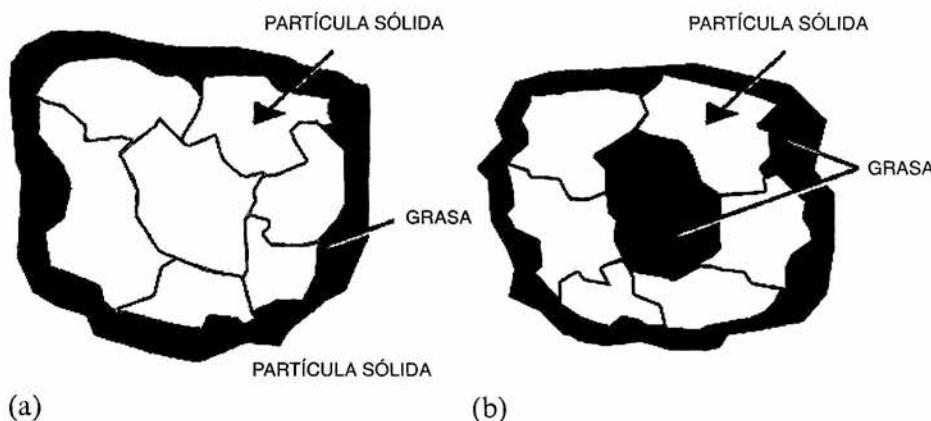
Hay dos planteamientos para reducir la viscosidad del chocolate. Uno es el de disponer de un tanque muy grande agitado, en el que sólo se esté agitando una pequeña cantidad del chocolate en cada momento. Como hay mucho chocolate en el tanque es posible que el chocolate permanezca en el interior del tanque durante varias horas, teniendo una producción en el rango de unas toneladas por hora. El otro es el de aplicar una cizalla intensa a unos pocos kilogramos a la vez en un procesador en continuo. Debido a que la cantidad en el interior de la máquina es pequeña sólo puede tener un tiempo de residencia de una fracción de minuto por lo que se obtiene el mismo rendimiento que en una concha grande.

Otra de las cosas que hace este proceso es la de romper grupos de partículas que se mantienen juntas por uniones lábiles. Estos aglomerados pueden tomar dos formas. En una de ellas (Figura 4.12a) no hay grasa en su interior, de manera que su ruptura sólo produce nuevas superficies que deben ser recubiertas con grasa, de manera que aumenta la viscosidad. En el otro (Figura 4.12b) hay grasa en el centro que está rodeada por partículas sólidas de modo que ésta no da una mejor fluencia al chocolate. Sin embargo, una vez se ha roto, se libera más grasa de la que es necesaria para recubrir las nuevas superficies, por lo que la viscosidad global se reduce.

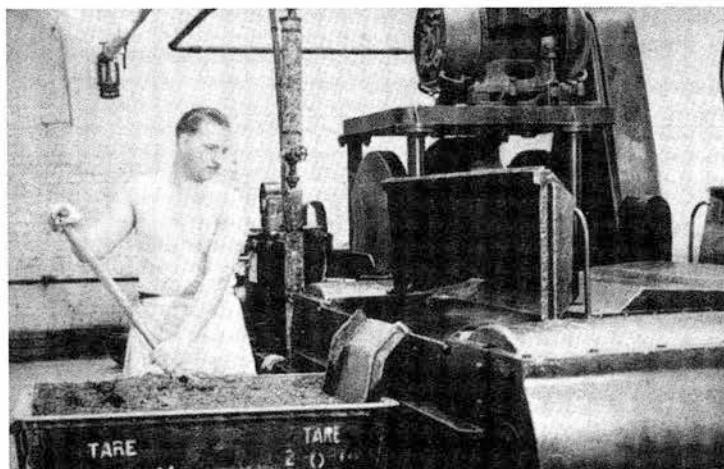
### Máquinas para el conchado o conchas

#### *La concha longitudinal*

Este es el tipo de máquina que fue desarrollada por Rudi Lindt y consistía en una artesa de granito en la que se alojaba un rodillo de granito (ver Figura 1.3 y 4.13). El rodillo empujaba el chocolate hacia delante y hacia atrás durante un largo período de



**Figura 4.12** (a) Aglomerado compuesto de partículas sólidas; (b) aglomerado que contiene grasa.



**Figura 4.13** Fotografía del llenado de una concha longitudinal.

tiempo, que a menudo llegaba a varios días. Como iba cambiando la superficie, los compuestos volátiles del flavor eran capaces de escapar hacia el aire. Con frecuencia estas conchas se cargaban utilizando unos grandes carros con ruedas y con la ayuda de una pala. Era un trabajo duro y asfixiante y en la primera parte del siglo XX la esperanza de vida de la gente que trabajaba en esa sección de la fábrica era relativamente corta. Habitualmente se unían cuatro artesas y se las hacía trabajar conjuntamente con un único motor, o con una polea, que era dirigida por cintas de cuero desde un eje central que realizaba el trayecto de la longitud de la sala en las que estaban las conchas. La mayoría de las primeras máquinas eran accionadas por correas y algunas fábricas tenían departamentos de marroquinería para el mantenimiento del cuero.

La densidad del polvo que se introduce en la concha es menos de la mitad de la que tiene el chocolate terminado, de modo que los depósitos parecen relativamente vacíos al final del proceso, incluso aunque hayan estado prácticamente a rebosar al principio del mismo.

Estas conchas tienen un mal control de la temperatura, un elevado consumo de energía junto con una capacidad relativamente pequeña de modo que han sido sustituidas prácticamente al completo por diseños más modernos.

#### *Conchas giratorias o rotatorias*

Este tipo de conchas se denomina así porque los elementos mezcladores giran en el interior del cuerpo del depósito, que constituye el exterior de la concha. Muchos de los primeros diseños (Figura 4.14) eran redondos con un eje central vertical que

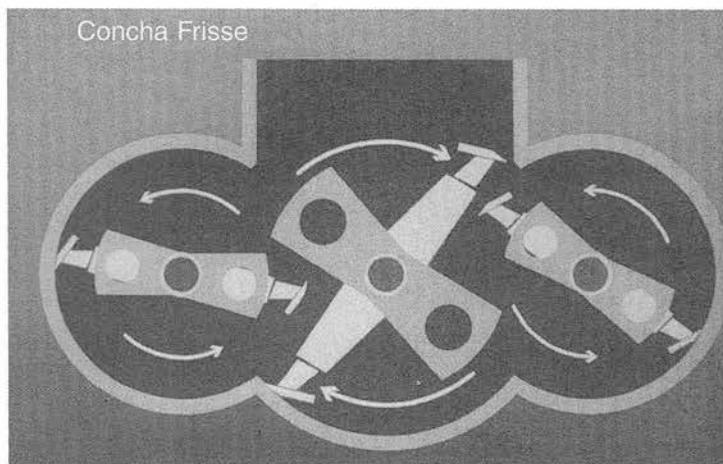


Figura 4.14 Fotografía de conchas giratorias.

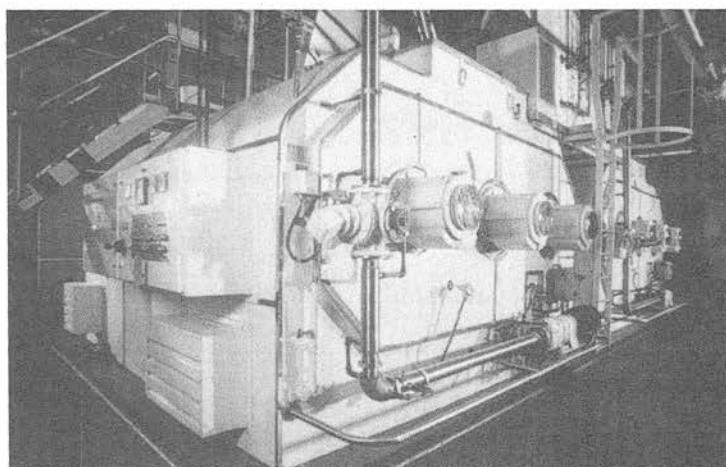
accionaba los brazos de mezclado o de rascado. Otros tenían elementos de mezclado adicionales que desarrollaban un movimiento orbital alrededor de los brazos accionados desde el centro. La mayoría tenían la parte superior abierta para permitir la salida de la humedad y de los volátiles. Como ocurría con la concha longitudinal tendían a tener un mal control de la temperatura y a tener una capacidad limitada de alrededor de 1 tonelada, aunque se fabricaron máquinas de 3 y 5 toneladas de capacidad. En consecuencia han sido totalmente superadas por las conchas con elementos de agitación horizontales.

La Figura 4.15 muestra una típica concha moderna. Aquí el tanque tiene tres depósitos conectados y tres brazos de agitación. Al girar empujan el chocolate contra un lado de una pared con una temperatura controlada, la acción de untar la «manteca en el pan». Luego lo arroja hacia el aire, lo que permite una salida más fácil para la humedad y los volátiles. Normalmente, los diseños anteriores de las conchas no permitían esto ya que tendían a compactar el chocolate en el fondo de la concha.

Los extremos de los brazos de la concha tienen forma de cuñas. Esto significa que cuando el chocolate es una pasta espesa, lo pueden trabajar primero con la punta. Esto le permitirá cortar la pasta y que el lado de la cuña pueda extender la pasta contra la pared. Por otro lado, cuando el chocolate se vuelve más fluido tan sólo fluirá alrededor de la cuña y no tendrá lugar el mezclado y el recubrimiento de las partículas. Sin embargo, mediante un cambio en la dirección de los brazos en esta



(a)

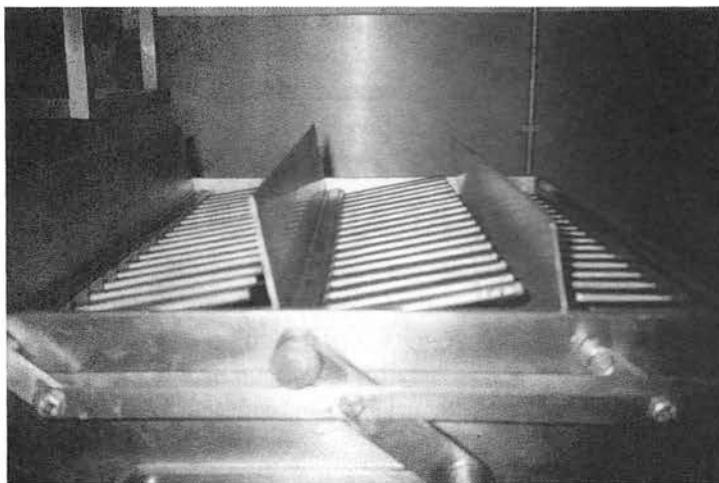


(b)

**Figura 4.15** Diagrama esquemático y fotografía de una concha fabricada por Frisse, Alemania.

etapa, el extremo plano de la cuña consigue que se desarrolle un mayor movimiento y mezclado.

La mayoría de estas conchas tienen bocas de ventilación en la parte superior (Figura 4.16), a las que se pueden acoplar extractores para facilitar la retirada de los compuestos volátiles, si es necesario. Esto las hace más seguras y más higiénicas. A menudo las conchas procesan entre 5 y 10 toneladas de chocolate en un período inferior a las 12 horas. Las conchas se llenan automáticamente a partir de cintas



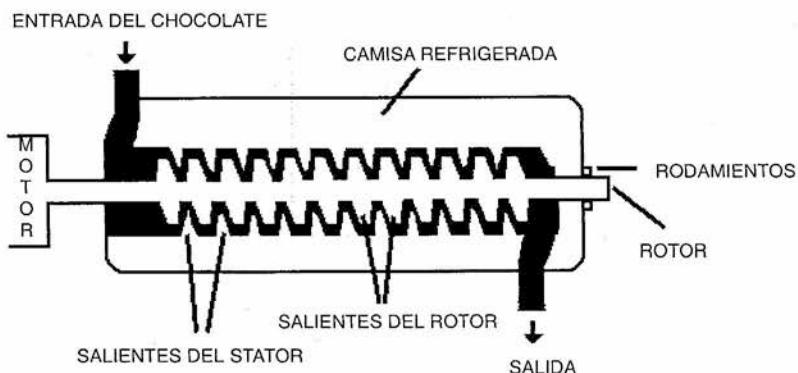
**Figura 4.16** Fotografía las bocas de ventilación en la parte superior de una concha Frisse.

transportadoras que provienen de la fase de refinado. También se vacían automáticamente a través de tuberías situadas en la base. Este es sólo un ejemplo más de cómo en unos veinte años, la industria del chocolate ha cambiado de ser una industria de un trabajo intensivo laborioso, (casi una industria artesana) a ser una industria moderna, con elevadas producciones y de grandes maquinarias.

#### *Máquinas en continuo de pequeños volúmenes*

Este tipo de máquinas se suele utilizar para producir un chocolate de una menor viscosidad una vez han tenido lugar los cambios en el flavor (aunque se han utilizado extrusoras de tornillos sinfín que giran en la misma dirección para llevar a cabo ambos procesos). La Figura 4.17 muestra una típica máquina de licuefacción. Consiste de un eje central que lleva unidos salientes que no se mueven (stators). Los espacios entre los salientes son pequeños y la velocidad alrededor de este espacio es muy elevada, es decir, hay un enorme gradiente de deformación tangencial. Según se va bombeando el chocolate a lo largo de la tubería, se va sometiendo a esta violenta acción, lo que produce que la grasa recubra la mayoría de las superficies sólidas. Sin embargo, el aporte de energía es muy elevado, lo que hace que el chocolate se caliente. Esto podría alterar el flavor del chocolate, si no fuera por las paredes de la tubería, que están enfriadas por agua fría.

Este tipo de máquinas se puede utilizar para el conchado o en paralelo a él, es decir, bombeando chocolate, licuándolo y haciéndolo volver a la concha. En ambos casos el objetivo es producir un chocolate más fluido en un tiempo más corto.



**Figura 4.17** Diagrama de un licuefactor del chocolate en línea.

### Las tres etapas del conchado

Para obtener un chocolate bien procesado normalmente es deseable que pase por tres etapas:

- (1) fase de conchado en seco
- (2) fase de pasta
- (3) fase de conchado líquido

En la fase seca, el chocolate aún está en forma de polvo y, en el caso concreto del chocolate con leche, contiene un exceso de humedad. Esto es perjudicial para las propiedades de fluencia del chocolate (véase el Capítulo 5). Además, con su eliminación es posible que se lleve consigo parte de los indeseables sabores ácidos (Figura 4.9). Cuando gran parte de las superficies aún no han sido recubiertas con grasa resulta mucho más fácil que salga la humedad. Esto significa que si se mezcla y calienta el chocolate en estado de polvo, el proceso entero puede tener lugar más rápidamente y se obtiene un chocolate más fluido y con menor humedad.

Según aumenta la temperatura, se funde más manteca de cacao y las partículas se empiezan a adherir unas a otras. A veces forman bolas de varios centímetros de diámetro, que giran en el interior de la concha antes de unirse para formar una pasta espesa. Dentro de la pasta aún hay una gran cantidad de partículas de azúcar y/o de leche que no están recubiertas con grasa. Cuando la pasta es espesa hay relativamente una alta probabilidad de que la acción de cizalla/extender las recubrirá con la grasa que se encuentre alrededor. Sin embargo, una vez se vuelve fluida, estas partículas sin recubrir tan sólo fluyen. Con el fin de hacer un chocolate que fluya bien en la boca (cuando se funde la grasa, debido al calor del cuerpo) es necesario recubrir con grasa la mayor cantidad posible de estas superficies. Esto significa que la pasta

debe mantenerse espesa lo máximo posible para que el motor de la concha lo mezcle durante el mayor tiempo posible.

La función final de la concha es asegurar que el chocolate tiene las propiedades de fluencia correctas para las siguientes etapas de procesado. Éstas a su vez, dependerán del tipo de maquinaria de recubrimiento o moldeado que se vaya a utilizar. Por consiguiente, la etapa final es en la que se realizan las adiciones finales de grasa y emulgentes (véase el Capítulo 5) al chocolate. Esto hace que el chocolate sea muy fluido y que ya no tenga lugar un posterior mezclado.

Entonces se puede bombear el chocolate a los tanques de almacenamiento ya listo para su uso. A veces es transportado en estado líquido en cisternas a otras fábricas. Alternativamente se puede solidificar el chocolate y almacenarlo o transportarlo como bloques o en pequeños pedazos.

## REFERENCIAS

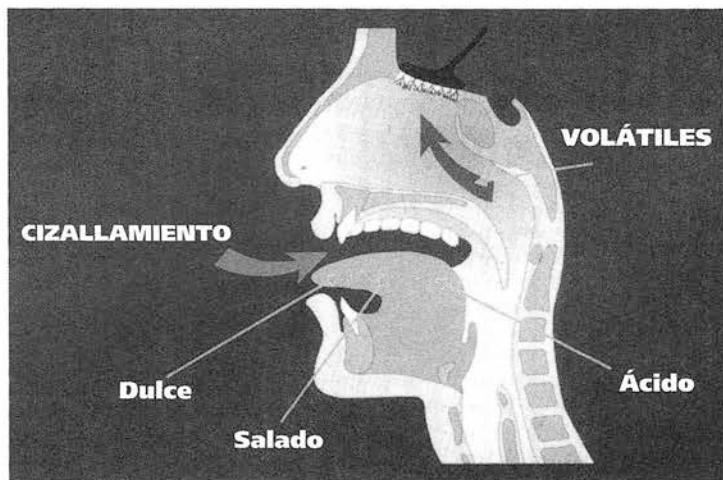
1. G. Ziegler and R. Hogg, 'Partile Size Reduction', in S.T. Beckett (ed.), 'Industrial Chocolate Manufacture and Use', 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.
2. S.T. Beckett, 'Conching', in S.T. Beckett (ed.), 'Industrial Chocolate Manufacture and Use'. 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.

## ***Capítulo 5***

### **Control de las propiedades de fluencia del chocolate líquido**

Las propiedades de fluencia del chocolate líquido son importantes para el consumidor y para el fabricante de productos de confitería.

Aunque hay muchísimos instrumentos muy sofisticados para medir la viscosidad y la textura, la boca del ser humano es en realidad mucho más sensible que la mayoría de estos instrumentos. Cuando uno come chocolate, los dientes muerden el chocolate sólido. Esto significa que la dureza del chocolate sólido es muy importante. La temperatura de la boca, a unos 37°C, es superior a la del punto de fusión de la grasa del chocolate, de modo que el chocolate funde rápidamente especialmente si es sometido a un mezclado intenso y a un cizallamiento por parte de los dientes y la lengua. Una vez se ha fundido hay otros dos factores importantes. Uno es el tamaño de partícula máximo. Como se señaló anteriormente, si hay un número relativamente significativo de partículas mayores de 30 micras (0,03 mm) el chocolate producirá una sensación arenosa en la lengua. Además, una diferencia de 2-3 micras en el tamaño máximo de partículas, para valores inferiores a 30 micras, puede detectarse como diferentes niveles de suavidad. Los chocolates con un tamaño máximo de partícula de 20 micras se han comercializado como que poseen la característica de tener una textura sedosa. El segundo factor es la viscosidad. No sólo afecta al modo en el que el chocolate recorre la boca, es decir a la textura, sino que también modifica el sabor. Esto es debido a que la boca contiene tres tipos distintos de receptores del flavor situados en diferentes localizaciones (véase Figura 5.1). Los tiempos que emplean las partículas sólidas del chocolate en alcanzar los diferentes receptores dependen de la viscosidad. Esto significa que dos chocolates fabricados con idénticos ingredientes, pero que han sido procesados para obtener diferentes viscosidades, tendrán sabores diferentes (véase el Experimento 15, Capítulo 10). El tamaño de las partículas afecta a la viscosidad así como a la textura y un chocolate con leche que



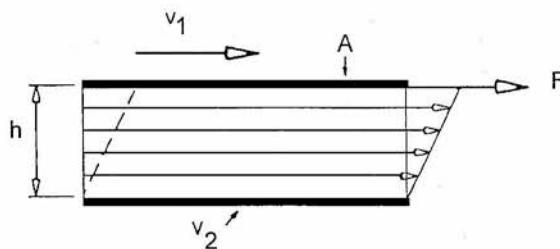
**Figura 5.1** Diagrama que muestra la localización de los receptores del sabor en la boca del hombre.

ha sido refinado hasta un tamaño máximo de partícula de 20 micras tendrá una textura y un sabor más cremoso que uno de 30 micras.

Para el fabricante, el control del peso de su producto es muy importante. El chocolate es un alimento relativamente caro, tanto en términos de ingredientes como de procesado. Por consiguiente es importante económicamente no poner demasiado chocolate en un núcleo de confitería. Como se verá en el Capítulo 6, los métodos de recubrimiento se basan en que el chocolate tenga la viscosidad correcta. Además, si no se recubre de un modo correcto, se presentarán formas defectuosas (véase Figuras 4.2 y 4.3) o el núcleo quedará expuesto, sin recubrir, lo que disminuye la vida útil del producto.

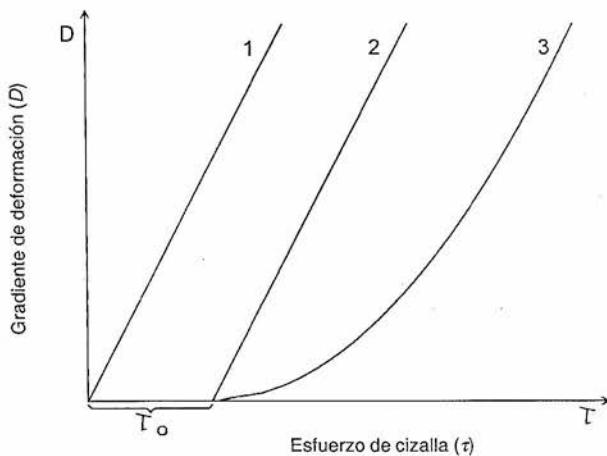
## VISCOSIDAD

La viscosidad se ha descrito como «la resistencia al movimiento cuando se agita o se vierte». Sin embargo, no es necesariamente un sencillo número. Las pinturas que no gotean o el ketchup son ejemplos diarios de materiales con complejas propiedades de fluencia. La lata de pintura o el bote de ketchup pueden ponerse boca abajo con cuidado sin la tapa y sus contenidos permanecerán inicialmente en su sitio. Por otro lado, si se remueven o agitan intensamente justo antes de ponerlos boca abajo, se verterán como líquidos bastante fluidos. De modo que ¿cómo definimos la viscosidad?



**Figura 5.2** Diagrama que muestra la cizalla.  $v_1$  = velocidad (cm/s);  $v_2$  = velocidad del plano inferior;  $A$  = área de la superficie del fluido ( $\text{cm}^2$ );  $F$  = fuerza;  $h$  = distancia entre los planos (cm) (Nelson *et al.*<sup>1</sup>).

Podemos considerar la viscosidad o la consistencia como una fricción interna al movimiento, cuando el movimiento es sencillo (es decir, materiales completamente fluidos) hay muy poca fricción, pero para los materiales espesos la fricción es alta. Para ello es útil reconsiderar la idea de cizalla (véase la Figura 5.2). Si consideramos que el líquido tiene dos superficies planas cada una de un área  $A$  y separadas una distancia  $h$  moviéndose a velocidades  $v_1$  y  $v_2$ , entonces de la definición previa de gradiente de deformación tangencial, tenemos un gradiente de deformación tangencial ( $D$ ) de  $(v_1 + v_2)/h$  (Ecuación 4.1). Como la velocidad tiene unidades de longitud divididas por unidades de tiempo y estamos dividiéndola por una longitud,  $h$ , la velocidad de deformación tangencial debe tener unidades de 1/tiempo y normalmente se expresa como  $\text{s}^{-1}$  (segundos a la inversa).



**Figura 5.3** Diferentes tipos de curvas de flujo: (1) Newtoniana; (2) de Bingham; (3) Pseudoplástico (por ejemplo, el chocolate) (Chevalley<sup>2</sup>).

La fuerza necesaria para mover el plano superior en relación al inferior se la denomina esfuerzo de cizalla o *shear stress* ( $\tau$ ). Si representamos el gradiente de deformación tangencial frente al esfuerzo de cizalla, en otras palabras la velocidad del movimiento del líquido según es sometido a diferentes fuerzas, se obtienen diferentes curvas, dependiendo del tipo de material que se está midiendo (Figura 5.3).

La viscosidad ( $\eta$ ) se define como la relación entre el esfuerzo de cizalla (*shear stress*) y el gradiente de deformación (*shear rate*), es decir

$$\eta = \tau/D \quad (5.1)$$

Las unidades en las que se expresa la viscosidad son los Pascales por segundo (Pa · s), aunque todavía se utilizan las unidades antiguas de los Poises (0,1 Pa · s). Esto se muestra en la Figura 5.3 en el que la viscosidad es el gradiente de la línea, el cual para un líquido el valor es de 1 para todos los gradientes de velocidad. De modo que si doblamos la fuerza ejercida sobre el líquido se moverá el doble de rápido. A este líquido se le conoce como líquido newtoniano, ya que fue descrito matemáticamente por primera vez por Sir Isaac Newton.

Sustancias como el jarabe dorado o *golden syrup*\* son newtonianos, pero la amplia mayoría de los alimentos son no newtonianos y siguen una amplia variedad de otros tipos de curvas de flujo. La curva número 2 muestra una sustancia que no se mueve cuando se le aplican fuerzas pequeñas, como era el caso de cuando se inclinaba la pintura o el ketchup. Sin embargo, una vez comienza a moverse se comporta como un líquido newtoniano. A estas sustancias se las conoce como líquidos de Bingham.

Sin embargo, el chocolate tiene un comportamiento de fluencia más complejo. Como en el caso del líquido de Bingham, requiere una fuerza considerable para empezar a fluir, pero una vez comienza a moverse, cuanto mayor sea la fuerza, más fluido se vuelve. Este es uno de los problemas más importantes para el fabricante de chocolate, ya que la viscosidad no está definida por un único valor, sino por un valor que depende de la velocidad a la que fluya. De hecho se representa mejor por una curva de flujo.

Si estás en una fábrica no es posible el utilizar una curva como especificación de la viscosidad del chocolate, de modo que hay que simplificar estos datos. El modo en el que normalmente se hace esto es mediante la descripción de la curva por una expresión matemática. Existen muchas, pero la utilizada más ampliamente es la ecuación de Casson, que se desarrolló en principio para describir el flujo de la tinta de impresión. El viscosímetro (véase el Capítulo 8) mide unos pocos puntos de la curva

\* (N. del T.: el *golden syrup* o jarabe dorado es un edulcorante líquido bastante utilizado en el Reino Unido. Tiene un color dorado y se obtiene a partir de un jarabe de azúcar de caña evaporado).

y luego se emplea la ecuación para determinar dos parámetros de flujo: el umbral de fluencia y la viscosidad plástica.

El umbral de fluencia está relacionado con la energía necesaria para que empiece a fluir el chocolate. Si este valor es alto, el chocolate tenderá a no moverse, lo que puede ser necesario para decorar dulces o para la fabricación de trocitos de chocolate para su uso en galletas. Es necesario un bajo valor del umbral de fluencia para obtener fluida cubierta de chocolate sobre un bizcocho.

La viscosidad plástica está relacionada con la energía necesaria para mantener el chocolate en movimiento una vez ya ha empezado a fluir. También es importante en la determinación del grosor de una cobertura de chocolate en un bombón y también para determinar el tamaño de las bombas necesarias para bombear el chocolate líquido.

El resto del capítulo describe como el procesado y los ingredientes del chocolate pueden utilizarse para ajustar la viscosidad del chocolate.

## TAMAÑO DE PARTÍCULAS

### Datos de distribución del tamaño de partículas

En la primera parte de este capítulo se muestra que la viscosidad del chocolate no puede ser descrita por un único valor, sino que eran necesarios un mínimo de dos números y para ser realmente precisos era necesario obtener la curva de flujo entera. Para el tamaño de partículas es lo mismo. Aunque, hasta ahora, nos hemos referido al tamaño máximo de partícula como un factor que determina la textura del chocolate, muy pocas partículas tienen este tamaño. Una vez más la situación real es la de una curva, conocida como distribución por tamaño de las partículas y el fabricante de chocolate tiene que obtener un extracto de esta información para facilitar el procesado y el control de calidad.

La distribución del tamaño de las partículas puede tomar varias formas; la Figura 5.4 muestra dos de las más habituales. De hecho, esta figura muestra la distribución por tamaños del mismo chocolate pero presentada de dos modos. Si se observasen al microscopio las partículas sólidas del chocolate y se determinase el diámetro de cada una, sería posible determinar las proporciones de partículas que se encuentran en cada rango. Esto se muestra en la representación del número frente a la distribución de tamaños. Por otro lado, si se pesasen las partículas y se calculase la proporción con respecto al peso total que representa cada una de las fracciones de determinado tamaño, entonces se obtendría una distribución como la que se muestra en la Figura 5.4. Ésta es una distribución de la masa en función del tamaño. Normalmente esto se mide mediante la determinación de una estimación del volumen de las partículas sólidas y asumiendo una densidad constante. (Véase el Capítulo 8 para los detalles del tipo de instrumentación capaz de hacer estas determinaciones).

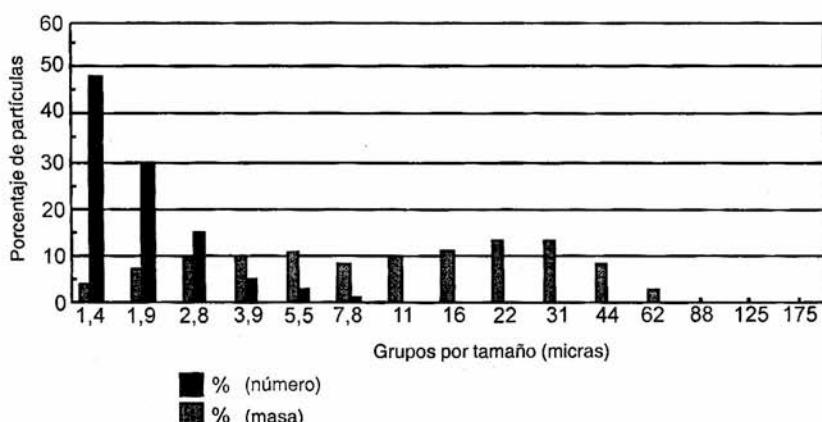


Figura 5.4 Comparación de las distribuciones de masa y número de partículas de un chocolate.

Como puede observarse, las dos curvas tienen un aspecto muy diferente. El tamaño de partícula medio en la distribución por número de partículas es de alrededor de 2 micras, mientras que es de casi 10 micras para la distribución por masas. El tamaño máximo de la distribución por número de partículas es de alrededor de 9 micras, aunque se sabe a partir de la distribución por masas que se encuentran partículas de hasta 70 micras. ¿Por qué es esto así?

La diferencia se debe al hecho de que la distribución por número de partículas es proporcional al diámetro de las partículas o al radio ( $r$ ) mientras que la distribución por masas está relacionada con su volumen que es proporcional al radio al cubo (volumen =  $4/3\pi r^3$ ). Por consiguiente, una partícula de 10 micras es equivalente en masa a  $10 \times 10 \times 10 = 1.000$  las de una micra en la escala de masas, pero las dos son equivalentes en la escala de distribución por número. Aunque las partículas más grandes están presentes en la muestra, en la gráfica de representación por número de partículas su proporción es demasiado baja como para ser significativa y ser representada.

En el chocolate, un pequeño número de partículas grandes, darán una textura arenosa, de manera que la distribución por número de partículas no proporcionará la información necesaria. La distribución por masas es mejor, pero aún no está claro qué medida se puede tomar que sea representativa de las partículas grandes, es decir, el grado de arenasidad del chocolate. Una vez más nos encontramos con una distribución. Las partículas mayores de 50 micras pueden estar presentes en una muestra, pero sería impráctico muestrear casi todo el chocolate. De hecho, el tamaño máximo de partícula variará mucho con la muestra dentro de una misma tableta de chocolate. La solución que se adopta con frecuencia es la de registrar el percentil 90. Esto es, el tamaño al cual el 90% de la masa de las partículas le proporcionan con partículas con un tamaño inferior a ese tamaño. Este parámetro parece correlacionarse bastante

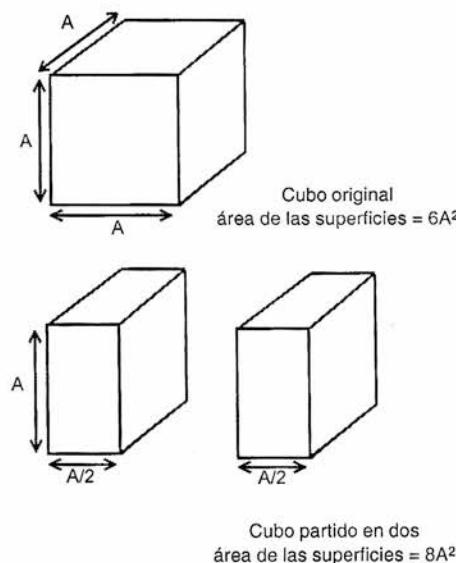
bien con el sabor que le encuentra la gente y con las medidas de las partículas más grandes mediante el uso de un micrómetro (Experimento 6 del Capítulo 10).

### Efecto del tamaño de las partículas sobre la viscosidad

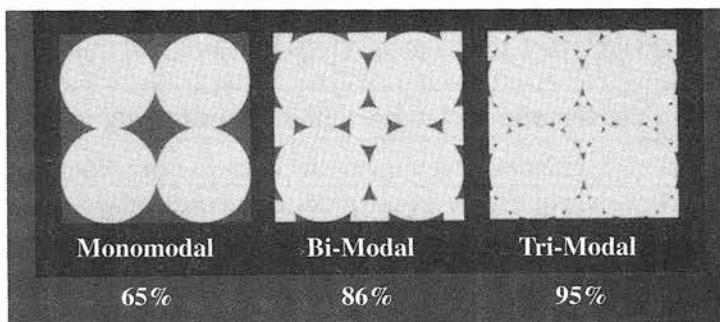
Las partículas más grandes tienen importancia en la sensación que produce el chocolate en la boca en lo que respecta a su grado de arenasidad, pero las más pequeñas son importantes en lo que se refiere a las propiedades de fluencia del chocolate, en concreto al umbral de fluencia.

La razón de esto se debe a la gran cantidad de grasa que es necesaria para recubrirlas de manera que se puedan desplazar unas junto a otras en el chocolate líquido. La Figura 5.5 representa un cubo de azúcar. Tiene 6 caras (4 caras laterales, la cara superior y la inferior) que necesitan ser recubiertas con grasa. Si se rompe por la mitad, obtenemos 8 caras que deben ser recubiertas (las dos nuevas superficies son del mismo tamaño que las originales). Esto significa que necesitamos un 30% más de grasa, aunque se encuentra presente la misma cantidad de azúcar. Como se señaló en el capítulo anterior, es necesario reducir el tamaño de partícula en un factor de unas 100 veces, por lo que se forman una gran cantidad de superficies nuevas, que estarán utilizando la grasa que es necesaria para el flujo del chocolate.

Se sabe que debemos moler el azúcar por debajo de 30 micras, de otro modo será áspero. ¿Qué pasaría si fuese posible crear partículas esféricas todas de un diámetro de 29 micras? Con esto tendríamos un área mínima de las superficies para recubrir



**Figura 5.5** Cubo de azúcar antes y después de ser partido por la mitad.

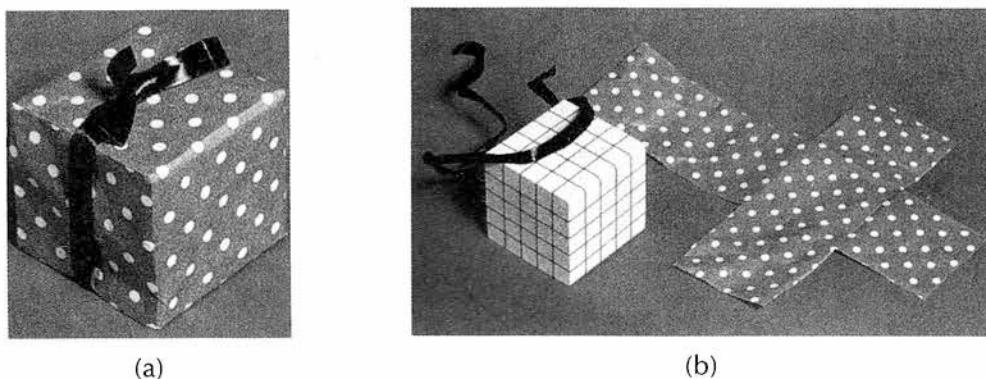


**Figura 5.6** Ilustración del empaquetamiento de las esferas que son: (1) todas del mismo tamaño; (2) de dos tamaños diferentes; (3) de tres tamaños diferentes.

con grasa y todas las partículas serían lo suficientemente pequeñas como para fabricar chocolate. Sin embargo, así obtendríamos un chocolate muy espeso. La causa de esto es que las partículas no se empaquetarían juntas. Como se muestra en la Figura 5.6 si todas las partículas son esféricas sólo pueden llenar un 66% del volumen. Si añadimos otro tamaño de esferas más pequeñas para llenar los agujeros llegamos al 86% y con un tercer tamaño más pequeño obtenemos el 95%. De modo que en una situación ideal, el fabricante de chocolate molería sus partículas de modo que se empaquetasen bien entre ellas pero que dejases un área mínima a recubrir con grasa. Por el momento sólo es posible realizar pequeños cambios en el tamaño de partícula, mediante el ajuste de las velocidades de trabajo y las condiciones de manejo de los molinos.

De modo que ¿qué parámetros deben medirse para determinar si la distribución de partículas es correcta para la fabricación de chocolate? La forma de las curvas de distribución del tamaño de las partículas dan alguna indicación pero, como con las medidas de viscosidad, las curvas son difíciles de utilizar en el control del proceso de fabricación. Sin embargo, hay un parámetro que actúa como una guía útil de cómo la distribución del tamaño de las partículas afectará al flujo.

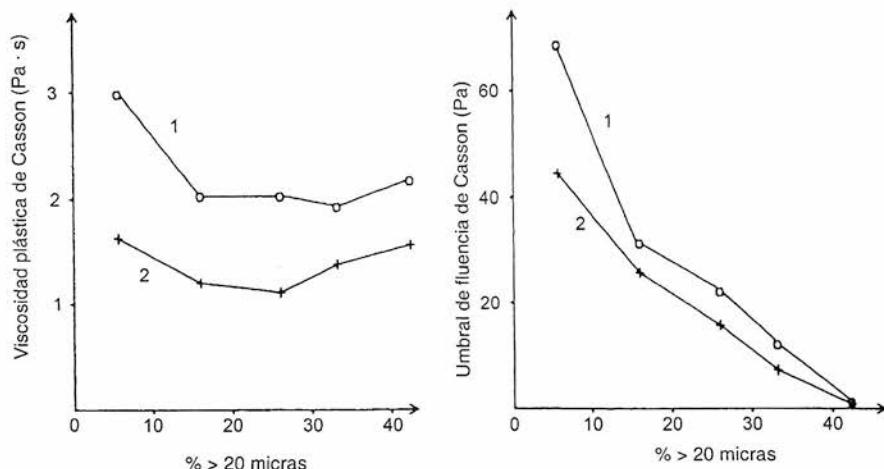
La Figura 5.7a representa un conglomerado de azúcar envuelto como regalo. Si se desenvuelve y se utiliza la cantidad mínima de papel, tenemos una medida del área de la superficie de azúcar (ver Figura 5.7b). Si unimos todos los «trozos de papel» de cada una de las partículas en un volumen definido, obtenemos el área por unidad de volumen, también conocida como área de superficie específica. Se dispone de aparatos que realizan estas medidas, que se expresan normalmente en  $\text{m}^2/\text{cm}^3$ . Esta medida está relacionada con el cuadrado del radio (el área de la superficie de una esfera es  $4\pi r^2$ ). De modo que en realidad, esta medida no se obtiene directamen-



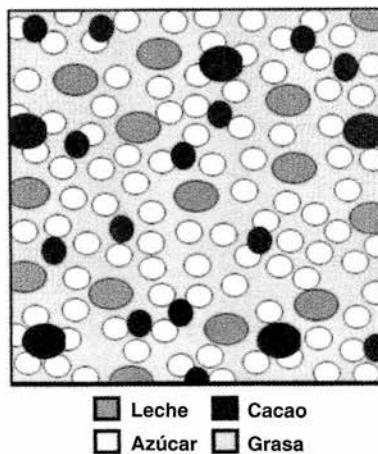
**Figura 5.7** (a) Cubo envuelto; (b) cubo sin envolver en el que se muestra el área mínima de papel necesaria para cubrirlo.

te ni a partir de la distribución por número de partículas ni por la de masas. Las distribuciones del área de la superficie reside en las dos.

Se ha mostrado que las partículas finas hacen el chocolate más espeso porque reducen la cantidad de grasa presente en el chocolate que puede permitir que las partículas pasen unas junto a las otras. Sin embargo, no afectan a los parámetros de flujo del mismo modo. La Figura 5.8 muestra las gráficas del umbral de fluencia y la viscosidad plástica del mismo chocolate que ha sido molido hasta diferentes tamaños de partícula. El umbral de fluencia aumenta espectacularmente según el choco-



**Figura 5.8** La influencia de la fineza de las partículas en los parámetros de viscosidad de dos chocolates con leche: (1) 30% de grasa; (2) 32% de grasa (Chevalley<sup>2</sup>).



**Figura 5.9** Representación esquemática de las partículas sólidas y la grasa en un chocolate con leche.

late tiene un tamaño de partículas menor, pero la viscosidad plástica permanece casi sin cambios, de hecho desciende un poco en tan sólo una fase. Esto es debido a que más de la mitad del volumen del chocolate lo ocupan partículas sólidas, como se muestra en la Figura 5.9

Cuando las partículas son grandes, hay un limitado número de puntos de contacto. Al aumentar el número de partículas hay muchos puntos en los que las partículas están unas cerca de las otras, de manera que se establece una estructura laxa. Esta estructura debe romperse antes de que el chocolate comience a fluir, es decir, la estructura aumenta el umbral de fluencia. Una vez empieza a fluir el chocolate, se rompe la estructura y las partículas pequeñas pueden moverse unas junto a otras. En consecuencia hay poca diferencia entre esto y el movimiento de las partículas grandes, de modo que la viscosidad plástica permanece casi sin cambios. El ligero descenso se debe probablemente a que se está liberando más grasa al sistema por un mayor molturado de la pasta de cacao o de la leche en polvo. Como se mostró en el Capítulo 3 la pasta de cacao se vuelve más fluida según aumenta su fineza, al contrario que el chocolate.

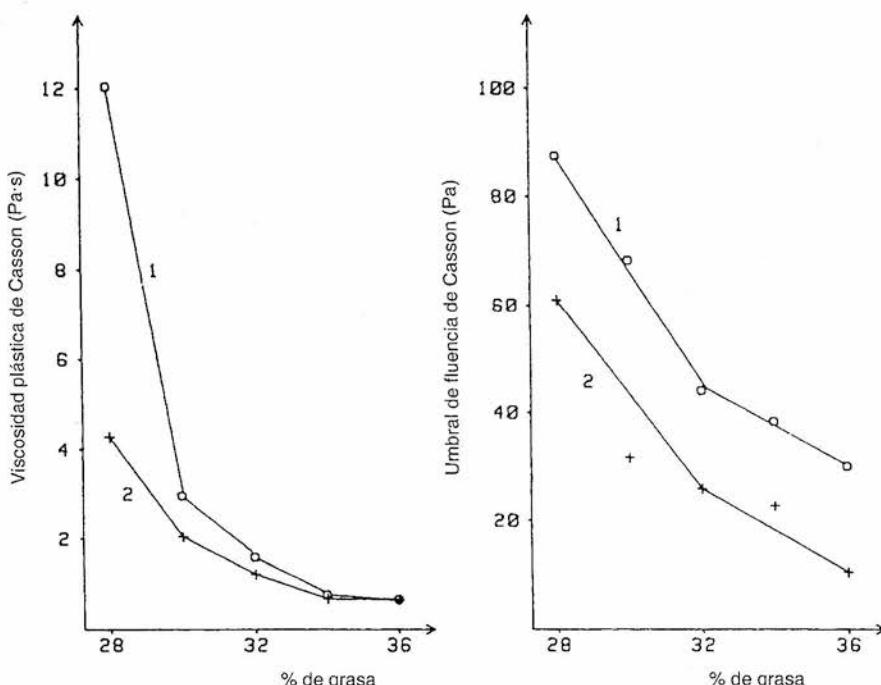
## EFFECTO DE LAS ADICIONES DE GRASA SOBRE LA VISCOSIDAD

Como sería esperable la adición de más grasa líquida ayuda a que el chocolate fluya con más facilidad (véase el Experimento 5 del Capítulo 10). La grasa láctea tiene el mismo efecto que la manteca de cacao sobre la viscosidad, si se añade al chocolate a 40°C, pero ralentiza la velocidad de solidificación y hace que el choco-

late final sea más blando (véase el Capítulo 6). Además, como la grasa de la leche funde a una temperatura más baja cambia el modo en el que el producto que funde en la boca. Por consiguiente, las dos grasas deben estar presentes en la relación correcta para conferir la textura correcta al chocolate en el producto en el que se vaya a emplear. A menudo se utiliza la grasa láctea en el chocolate puro para retrasar la formación de una película blanca en la superficie denominada fat bloom o eflorescencia grasa (Capítulo 6).

La grasa debe encontrarse en forma libre para facilitar el flujo. La pasta de cacao y la leche en polvo pueden molidurarse finamente para liberar la grasa de las células o de sus envueltas esféricas, respectivamente. Además, el conchado debe haber sido lo suficientemente vigoroso como para romper cualquier aglomerado que contenga grasa.

La mayoría de los chocolates contienen entre un 25 y un 35% de grasa, aunque la coberturas para helados tienen un contenido mucho más alto y algunos productos especiales como el chocolate a la taza o los fideos de chocolate tienen un contenido de grasa más bajo. La cantidad real presente dependerá del proceso que se vaya a utilizar, es necesaria una cierta cantidad para que la película de chocolate



**Figura 5.10** Influencia del contenido en grasa sobre los parámetros de viscosidad en dos chocolates con leche: (1) chocolate fino; (2) chocolate más baste (Chevalley<sup>2</sup>).

permanezca en el rodillo de la refinadora y también para que no se sobrecargue el motor de la concha. Además, afectará a la textura del chocolate terminado, de modo que una tableta de chocolate de alta calidad es probable que tenga un contenido en grasa mayor y un tamaño de partículas menor que el empleado para recubrir un bizcocho.

El efecto de un 1% de grasa extra sobre la viscosidad depende de la cantidad que ya haya y también de qué parámetros de la viscosidad estemos considerando (Figura 5.10). Con un contenido de grasa por encima del 32% hay muy pocos cambios en la viscosidad con las adiciones de más grasa. El aumento en un 1% en un contenido en grasa del 28% tiene un efecto realmente espectacular, especialmente en la viscosidad plástica, que se reduce casi hasta la mitad. El cambio se hace más espectacular en los chocolates con contenidos en grasa menores, ya que los chocolates con un contenido en grasa por debajo del 23% son normalmente una pasta en lugar de un líquido, pero podemos encontrar en el mercado chocolates con un contenido en grasa del 25%.

El efecto de la grasa es proporcionalmente mucho mayor respecto a la viscosidad plástica que respecto al umbral de fluencia (más de 12 veces comparado con menos de 3 veces, en el caso de los ejemplos que se han presentado). Esto no resulta demasiado sorprendente ya que la grasa extra se añadirá a la grasa que se mueve libremente y que facilita el paso de las partículas sólidas unas junto a otras. La mayoría de la grasa es «grasa de mojado», que es la que se une parcialmente a las superficies de las partículas. Esta grasa libre tiene un efecto importante en la lubricación del flujo, cuando este tiene lugar, de modo que la viscosidad plástica desciende enormemente. El umbral de fluencia está más relacionado con las fuerzas entre las partículas sólidas, que a su vez está relacionado con la distancia absoluta entre ellas. Esta se ve menos afectada por la adición de grasa.

## HUMEDAD Y FLUJO DEL CHOCOLATE

Podría esperarse que, como el agua es un líquido, si la añadiésemos al chocolate líquido, la mezcla resultante tuviese una viscosidad en algún lugar entre la del agua y la del chocolate. Esto está muy lejos de este caso y la adición de un 3 o 4% del peso en agua convertiría al chocolate en una pasta muy espesa (Experimento 8 del Capítulo 10). De un modo muy aproximado, por cada 0,3% de humedad extra que queda en el chocolate al final del proceso de conchado, el fabricante debe añadir un 1% de grasa extra. Como la grasa es, con mucho, el más caro de los ingredientes principales del chocolate, es importante el eliminar la mayor parte de agua «libre» posible.

El agua se parece a la grasa en el hecho de que puede estar libre o ligada, pero al contrario que la grasa debe estar en la medida de lo posible, unida. Si medimos la

cantidad total de agua, por ejemplo con una valoración Karl-Fischer (véase Capítulo 8), parte de ésta agua corresponderá a la de cristalización de la lactosa, ya que a menudo esta se presenta en forma de monohidrato (Capítulo 2). Otra parte del agua puede estar en el interior de las células de cacao que no hayan sido destruidas por la molturación. Esta agua no afectará a las propiedades de flujo del chocolate.

Si se deja un recipiente de azúcar glass a humedad ambiente, pronto se formarán aglomerados debido al agua que une las partículas unas con otras. Casi la mitad del chocolate lo constituyen partículas muy pequeñas de azúcar y cualquier resto de humedad las disolverá o formará puntos adherentes en su superficie. Esto provoca que se peguen unas a otras y aumente en gran medida la viscosidad del chocolate. Si se encuentran presentes grandes cantidades de agua, por ejemplo por encima del 20%, hay suficiente agua como para formar corrientes continuas por entre el chocolate y ayudar a que fluya.

Al chocolate puede añadirse nata para formar una mezcla suave, conocida como ganache, que no produce un chasquido al romperse ni se contrae demasiado al enfriarse. Se elabora con una agitación bastante intensa de la nata cuando se le está añadiendo el chocolate. En este caso, el agua presente en la nata se encuentra en forma de emulsión. Esto significa que las gotitas de agua están rodeadas por grasa, con una sustancia conocida como emulgente que forma una capa entre las dos fases. Estos emulgentes se encuentran de forma natural en la nata, pero también se añaden al chocolate. Cuando los emulgentes están presentes, la viscosidad del chocolate se ve menos afectada por la humedad.

La mayoría del agua es eliminada en la concha durante la etapa inicial de conchado en seco (véase el Capítulo 4). Sin embargo, esto debe hacerse con cuidado ya que si el vapor de agua sale de los ingredientes del chocolate más rápido de lo que lo hace de la concha, puede condensar y formar gotitas. Estas gotitas pueden volver al chocolate y disolver algunas de las partículas de azúcar. Estas se adherirán unas a otras para formar duros aglomerados arenosos, una vez se haya eliminado eventualmente el agua. Esto significa que incluso si un chocolate ha sido refinado correctamente el producto final todavía tendría un sabor bastante arenoso.

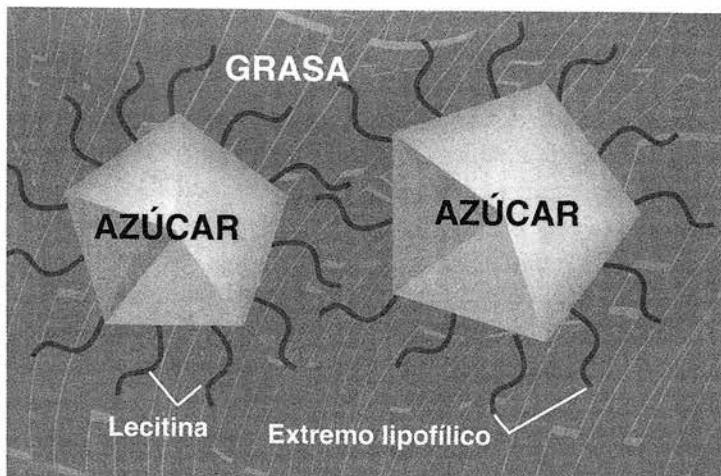
## LOS EMULGENTES Y LA VISCOSIDAD DEL CHOCOLATE

El papel de un emulgente es el de formar una barrera entre dos sustancias inmiscibles. Juegan un importante papel en la separación de los glóbulos de agua en la grasa, por ejemplo en la margarina, que contiene gotitas de agua dispersas en grasa (una emulsión de agua en aceite) o en la nata, que presenta gotas de grasa en el agua (una emulsión de aceite en agua). Como se mostró en el Capítulo 2, la grasa en el interior de las habas de cacao puede presentarse en ambos tipos de emulsiones. En el chocolate no hay casi agua, de modo que el emulgente actúa de algún modo dife-

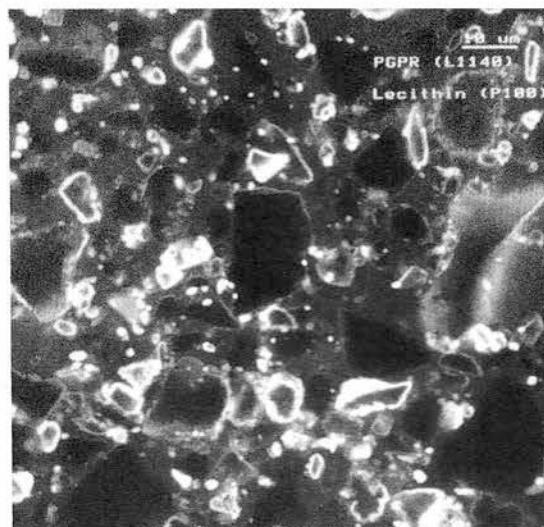
rente. Aquí tenemos partículas de azúcar, que son hidrófilas pero lipófobas, en otras palabras, que atraen el agua pero tienden a repeler la grasa.

El chocolate líquido fluye porque el azúcar y las otras partículas sólidas son capaces de desplazarse unas junto a las otras, de modo que, como ya se describió para el proceso del conchado, las superficies de estas partículas deben estar recubiertas por grasa. Esto es algo que no tiene lugar de un modo muy natural, así que como en el caso de las emulsiones de agua, la presencia de una sustancia que formase una capa entre las dos fases facilitaría enormemente el proceso. En este caso, el emulgente recubre la superficie de los sólidos y forma una película que limita entre las dos capas por lo que en realidad es un agente con actividad de superficie en lugar de un emulgente.

El mecanismo por el que actúa un agente con actividad de superficie se muestra en la Figura 5.11. Las moléculas tienen una cola lipófila (afín a las grasas) que se introduce en la grasa, el lugar donde quiere estar. El otro extremo es lipófobo y no es afín a las grasas. En consecuencia se mantiene lo más lejos posible de la grasa, uniéndose a la superficie del azúcar (que también es lipófobo). Esto se puede comparar a un alga sobre una roca. Hay una «cabeza» que se une a la roca y una larga «cola», que está inmersa en el agua del mar. La «cola» ondula alrededor y modifica el flujo alrededor de la roca. Del mismo modo que hay muchos tipos de algas, hay muchos tipos de agentes con actividad de superficie. Algunos tienen «cabezas» muy grandes que se unen fuertemente al azúcar, mientras que otros se unen con menos fuerza e incluso puede soltarse con la adición de otro agente con actividad de super-



**Figura 5.11** Diagrama esquemático de las moléculas de lecitina alrededor de una partícula de azúcar.



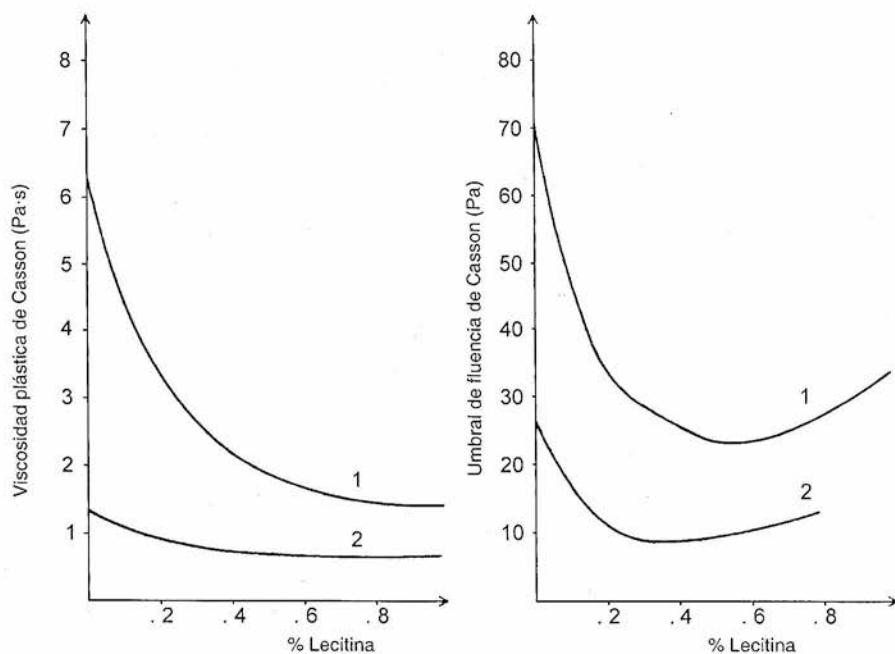
**Figura 5.12** Fotografía al microscopio de barrido con láser cofocal de la lecitina (fluorescente) rodeando a las partículas sólidas en el chocolate.

ficie. De modo similar, hay «colas» de diferentes longitudes, que afectan a las propiedades de fluencia de modo diferente. Esto significa que un agente con actividad de superficie que es especialmente beneficioso en lo que respecta al umbral de fluencia puede resultar pobre en lo relativo a la viscosidad plástica y viceversa.

### Lecitina

El agente con actividad de superficie más común es la lecitina, que se ha utilizado en el chocolate desde los años 30. Es una sustancia presente en la naturaleza y que se obtiene con frecuencia de la soja y a la que muchos la han definido como una sustancia beneficiosa para la salud. Como se ha descrito anteriormente, es capaz de unirse al azúcar dejando el otro extremo de la molécula libre en la fase grasa para facilitar el flujo. Harris mostró que la lecitina era capaz de unirse de un modo particularmente fuerte al azúcar, y es este fenómeno el que la convierte en tan efectiva en la fabricación de chocolate. Esto fue confirmado más tarde por Vernier<sup>3</sup> (Figura 5.12) que utilizó la microscopía de barrido con láser cofocal lo que mostró las moléculas fluorescentes de lecitina rodeando las partículas de azúcar.

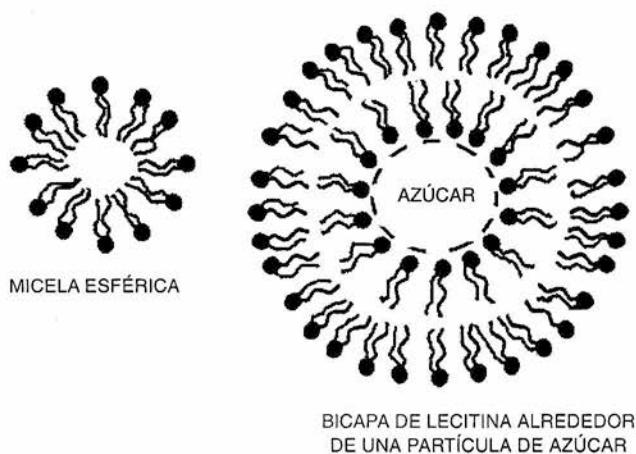
Se afirma que las adiciones de entre un 0,1 y 0,3% de lecitina de soja, reducen la viscosidad más de 10 veces su mismo peso de manteca de cacao. También los chocolates que contienen agentes con actividad de superficie, como la lecitina, puede tolerar cantidades mayores de humedad que los que no tienen emulgentes.



**Figura 5.13** Influencia de la lecitina de soja en los parámetros de viscosidad de dos chocolates puros: (1) 33,5% de grasa; (2) 39,5% de grasa (Chevalley<sup>2</sup>).

Esto es importante debido a que el agua es muy perjudicial para la viscosidad del chocolate.

Sin embargo, demasiada lecitina puede ser perjudicial para las propiedades de fluencia ya que a altas cantidades, por ejemplo por encima de 0,5% (Figura 5.13) el umbral de fluencia aumenta al aumentar las adiciones de lecitina, aunque normalmente la viscosidad plástica sigue disminuyendo. Bartusch<sup>4</sup> mostró que con un 0,5% de lecitina cerca del 85% del azúcar ya estaba recubierto. Por encima de este valor la lecitina podía quedar libre para unirse a sí misma y formar micelas, o formar una bicapa alrededor del azúcar (de modo que las «colas» de una capa de lecitina están separadas por las «colas» de una segunda capa que se encuentre encarada hacia el otro lado, como se muestra en la Figura 5.14) cualquiera de las cuales pondrá trabas al flujo. La cantidad real de lecitina que puede emplearse antes de que ocurra este espesamiento, depende en cierto grado de la distribución del tamaño de las partículas. Un chocolate finamente refinado, que tiene un área específica de superficie grande, tendrá un umbral de fluencia relativamente elevado, como se explicó previamente. Sin embargo, esto puede compensarse en parte por el hecho de que como hay una mayor área para recubrir, puede utilizarse más lecitina antes de que tenga lugar este incremento del umbral de fluencia.



**Figura 5.14** Diagrama esquemático de una micela esférica y una bicapa de lecitina sobre una partícula de azúcar.

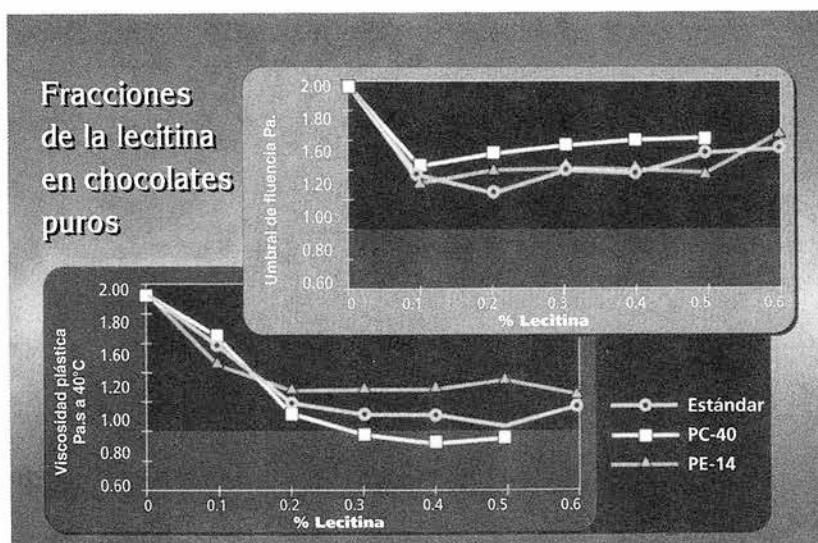
Para que un producto pueda denominarse chocolate en la etiqueta donde vaya a ser vendido, la cantidad de lecitina a emplear está restringida a un 0,5 o un 1% dependiendo del tipo de chocolate que se vaya a fabricar o vender. También hay una pequeña cantidad de lecitina que está presente de forma natural en el cacao y en los componentes de la leche, especialmente en el suero de mantequería.

La lecitina de soja es una mezcla de fosfoglicéridos naturales (fosfolípidos) con otras sustancias como aceite de soja (véase la Tabla 5.1). Es ampliamente utilizado en toda la industria alimentaria. Sin embargo, su composición puede variar y algunos fabricantes de lecitina intentan optimizar aquellos componentes que son beneficiosos para la fluencia del chocolate; por ello se encuentran disponibles comercialmente unas lecitanas fraccionadas. La fracción de la lecitina compuesta por la fosfatidilcolina se ha mostrado particularmente efectiva en la reducción de la viscosidad plástica de algunos chocolates negros (Figura 5.15), mientras que otras fracciones han demostrado tener un efecto negativo concretamente sobre el umbral de

**Tabla 5.1** Composición de la lecitina de soja: fosfoglicéridos (fosfolípidos).

Fosfatidilcolina (PC)	13-16%
Fosfatidiletanolamina (PE)	14-17%
Fosfatidilinositol (PI)	11-14%
Ácido fosfatídico (PA)	3-8%
Otros fosfoglicéridos	5-10%

El resto, aproximadamente un 44% son principalmente triacilgliceroles



**Figura 5.15** Efecto de la lecitina fraccionada sobre los parámetros de viscosidad de un chocolate puro.

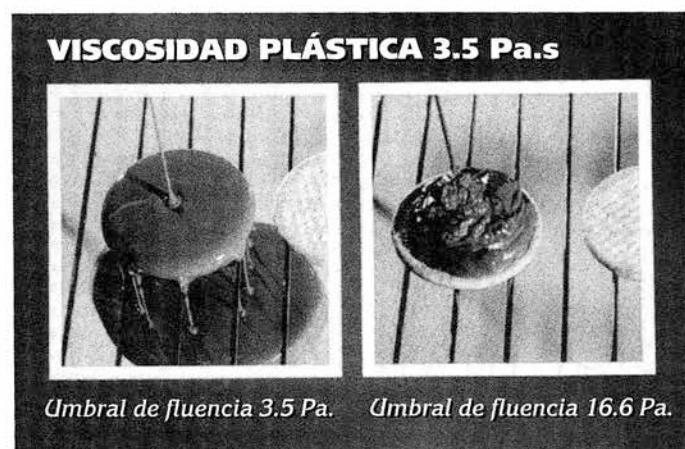
fluencia. Como la relación entre los distintos componentes varía dentro de las lecitinas estándar, su efectividad para reducir la viscosidad del chocolate puede variar de un lote a otro. Por esta razón algunos suministradores proporcionan un producto estandarizado.

Con el fin de tratar de evitar el aumento en el umbral de fluencia con cantidades elevadas de lecitina, Cadbury desarrolló un agente con actividad de superficie alternativo a partir de aceite de colza endurecido. Es un fosfato amónico conocido como YN.

Habitualmente la lecitina comercial se fabrica básicamente a partir de la soja, y aunque generalmente se afirma que es beneficiosa para la salud, algunos países han expresado su preocupación de que parte de la soja pueda provenir de una fuente modificada genéticamente. Esto ha conducido a que se venda lecitina de otros orígenes o procedentes de determinadas áreas de cultivo como Brasil. Además se están comercializando alternativas a la lecitina para su uso en confitería, por ejemplo los ésteres del ácido cítrico. Es probable que su efectividad real dependa del tipo de chocolate y del método de fabricación utilizado para producirlo.

### Polirricinoleato de poliglicero

El polirricinoleato de poliglicero (PGPR) también conocido como Admul-WOL es un emulgente/agente con actividad de superficie muy diferente. Originariamente

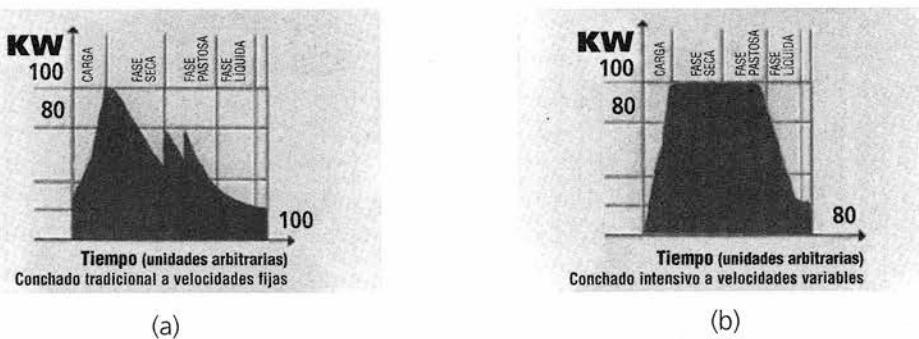


**Figura 5.16** Fotografías que muestran el efecto del umbral de fluencia cuando se baña una galleta con chocolate. (Reproducido con permiso de Palsgaard, Dinamarca).

fue desarrollado para su uso en la industria panadera y puede fabricarse por una policondensación del aceite de ricino y de glicerol, mezclando los productos obtenidos y esterificándolos. Aunque tienen un efecto relativamente pequeño en la viscosidad plástica, presentan un efecto espectacular sobre el umbral de fluencia. Con tan sólo un 0,2% en el chocolate, éste puede tener la mitad del umbral de fluencia que tendría con la lecitina y se ha observado que un 0,8% lo elimina por completo, convirtiendo al chocolate en un líquido newtoniano. El como lo hace ha sido el resultado de una gran cantidad de estudios pero todavía no se comprende por completo. Su efecto es muy importante y puede ser útil o no deseable. La Figura 5.16 muestra dos chocolates bañando una galleta, con la misma viscosidad plástica, pero con valores muy diferentes de umbral de fluencia debido a la presencia en uno de ellos de PGPR. Con mucha frecuencia, las propiedades de fluencia requeridas se encuentran en algún punto entre los dos extremos, y normalmente muchos fabricantes de chocolate utilizan mezclas de PGPR y lecitina, y de hecho los distribuidores de emulgentes comercializan tales mezclas.

### Otros emulgentes

Otros emulgentes como los ésteres de sorbitano, *Spans*, *Tweens*, etc., a menudo se encuentran en chocolates y coberturas con flavor a chocolate. Normalmente son menos efectivos en la reducción del umbral de fluencia o la viscosidad plástica que la lecitina o el PGPR. Sin embargo, a menudo alteran la velocidad de solidificación, el brillo del producto y especialmente su vida útil en lo que se refiere a la formación de fat bloom. Esto se describirá con más detalle en el Capítulo 6.



**Figura 5.17** Gráfica que muestra el gasto energético habitual de una concha durante las tres etapas del conchado: (a) dos velocidades con trabajo en sentido inverso; (b) velocidad ajustada continuamente.

### GRADO DE MEZCLADO

El grado de cizalla/mezclado es crítico con el fin de obtener el chocolate más fluido posible para un contenido determinado de grasa. Esto, en un grado importante está gobernado por el diseño de la concha y sus elementos mezcladores. Hay otros factores que son importantes, dos de los cuales son el orden de adición de los ingredientes en la concha y el accionamiento de estos elementos mezcladores.

La concha está tratando de recubrir las partículas sólidas con grasa y la acción de embadurnamiento lleva a cabo esta acción de un modo muy bueno, ya que las partículas son incapaces de salir de su camino. Si hay una gran cantidad de grasa presente, las partículas pueden moverse más fácilmente de modo que el proceso se vuelve menos eficaz. Esto significa que sólo es necesario añadir la cantidad de grasa suficiente como para convertir al chocolate en una pasta. El resto de la grasa debe añadirse hacia el final de la fase líquida del conchado. Se dice que la grasa añadida en esta etapa es dos veces más efectiva en la reducción de la viscosidad del chocolate final que la misma cantidad añadida al principio del conchado.

Es más importante incluso, el añadir la mayoría de la lecitina en las últimas etapas. Un extremo de la molécula de lecitina es muy higroscópico y se unirá al agua, haciéndola más difícil de eliminar. Esto significa que debe añadirse al final de la fase de conchado en seco, cuando se ha eliminado la mayoría del agua. Y preferiblemente, como la grasa, debe añadirse en la fase de conchado líquido. Además algunas personas creen que si la lecitina se encuentra presente en la fase de refinado con rodillos, la presión la forzará a introducirse entre las partículas de cacao, haciendo poco efectiva la acción de la lecitina. Otras fuentes afirman que las altas temperaturas reducirán la efectividad de la lecitina, pero esto tampoco ha sido nunca sustentado por completo.

El modo de control de los elementos de mezclado también afectará a la viscosidad del chocolate líquido final. Tradicionalmente los brazos de amasado han tenido una o dos velocidades, y podía invertirse el giro una vez el chocolate se había vuelto fluido, de modo que el extremo en cuña lo fuese cortando (como se describió en el Capítulo 4). Si se representa la energía consumida por la concha frente al tiempo, obtenemos una gráfica dentada similar a la mostrada en la Figura 5.17a. Por consiguiente, durante períodos prolongados la concha está utilizando muy poca energía y en consecuencia tiene un bajo efecto mezclador. Ahora es posible controlar electrónicamente el proceso de modo que cuando cae el consumo de energía, se aumenta la velocidad para volverlo a aumentar de nuevo. Esto implica que se obtiene una curva como la mostrada en la Figura 5.17b. Este tipo de control permite la producción de un chocolate más fluido en un tiempo más corto que el obtenido cuando se empleaba el método tradicional.

Una vez se ha producido el chocolate en estado líquido es necesario tener el chocolate en una forma que todavía esté en estado líquido pero que solidifique en la forma cristalina correcta para obtener la ruptura y el brillo correctos. Esto depende del tipo de grasa (Capítulo 6) y del modo en el que se enfriá y se precrystaliza (Capítulo 7).

## REFERENCIAS

1. R.B. Nelson and S.T. Beckett, 'Bulk Chocolate Handling', in S.T. Beckett (ed.), 'Industrial Chocolate Manufacture and Use', 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.
2. J. Chevalley, 'Chocolate Flow Properties', in S.T. Beckett (ed.), 'Industrial Chocolate Manufacture and Use', 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.
3. F. Vernier, 'Influence of Emulsifiers on the Rheology of Chocolate and Suspensions of Cocoa or Sugar Particles in Oil', PhD Thesis, Reading University, 1997.
4. W. Bartusch, 'First International Congress on Cacao and Chocolate Research', Munich, 1974, pp. 153-162.
5. S.T. Beckett, 'Conching', in S.T. Beckett (ed.), 'Industrial Chocolate Manufacture and Use', 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.

## **Capítulo 6**

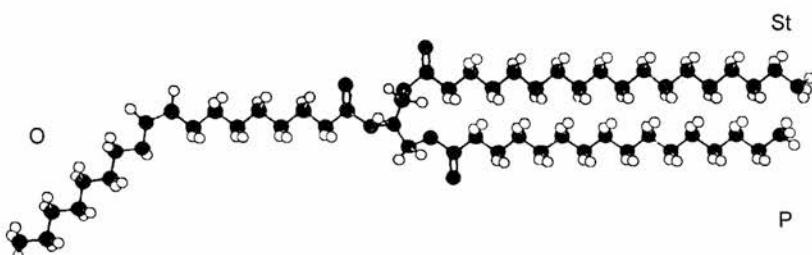
### **Cristalización de la grasa en el chocolate**

Con el fin de comercializar un producto con el nombre de chocolate, la mayoría de la grasa que contenga debe de ser manteca de cacao. Ésta está compuesta de varios triacilgliceroles (*triglicéridos*) cada uno de los cuales solidifica a diferente temperatura y a distinta velocidad. Para hacerlo aún más complicado hay seis modos diferentes en los que los cristales individuales se pueden empaquetar. Lo que lo hace difícil para el fabricante de chocolate es que sólo una de esas seis formas conferirá al producto un buen brillo y el chasquido en la ruptura que lo hace tan atractivo para el consumidor.

El chocolate con leche también debe contener grasa láctea. Esta modificará el modo de solidificación y también la textura del producto final. En algunos países el chocolate puede contener otras grasas vegetales distintas de la manteca de cacao. Cuando se mezclan dos o tres grasas, las propiedades de solidificación y de textura no son una media simple de sus componentes, ya que tiene lugar un fenómeno conocido como eutéticos de las grasas. Esto implica que hay un límite en la cantidad de tipos de grasas vegetales que pueden emplearse en el chocolate.

Si se encuentra presente un tipo de grasa equivocada, o si el chocolate es viejo o no ha cristalizado de forma adecuada, aparece en la superficie un polvo blanquecino, conocido como eflorescencia grasa o fat bloom. De hecho está compuesto por cristales de grasa y no por mohos. Se han desarrollado grasas especiales y emulgentes para retrasar su formación y hacer un chocolate con mayor capacidad de soportar las altas temperaturas. Los chocolates que se dejan al sol desarrollan el bloom muy rápidamente.

Algunos productos de confitería contienen una cobertura con aroma a chocolate o una cobertura compuesta. Hay dos tipos, uno de ellos que contiene algo de pasta o manteca de cacao y el otro que sólo contiene cacao en polvo.



**Figura 6.1** Estructura de los triglicéridos. Nominalmente es la molécula de POSt en forma  $\beta$  con todos los zig-zags de carbono orientados de forma parecida y situados aproximadamente en el plano de la molécula. (Reproducido con el permiso de Lodders Croklaan).

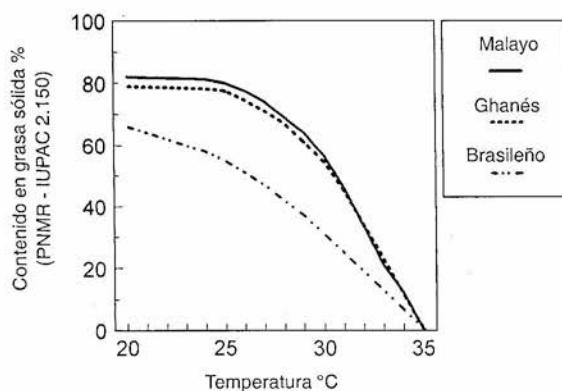
## ESTRUCTURA DE LA MANTECA DE CACAO

Todas las grasas son mezclas de triglicéridos: es decir, tienen tres ácidos grasos unidos a un esqueleto de glicerol. En la manteca de cacao hay tres ácidos grasos principales que suponen cerca de un 95% de los ácidos grasos presentes. Casi el 35% es ácido oleico (C18:1), sobre un 34% es ácido esteárico (C18:0) y aproximadamente un 26% es ácido palmítico (C16:0). Es, de hecho, debido a que es una grasa relativamente simple ya que tiene muy pocos componentes, por lo que funde rápidamente en un pequeño rango de temperatura, es decir, entre la temperatura ambiente y la de la boca.

Estos ácidos están unidos al glicerol del modo que se representa esquemáticamente en la Figura 6.1. Ésta muestra al ácido palmítico (P) en posición 1, al oleico (O) en posición 2 y al esteárico (St) en posición 3. A esta se la conoce como una molécula de POSt. Si se cambiase las posiciones entre el ácido esteárico y el oleico, la molécula se convertiría en la PStO, que es una molécula muy diferente pese a que los constituyentes son los mismos.

Los ácidos palmítico y esteárico son ácidos saturados, esto es que la cadena hidrocarbonada que constituye la grasa no contiene ningún doble enlace. En las grasas insaturadas, esta cadena contiene uno o más dobles enlaces, como es el caso del oleico. Por consiguiente, la molécula de la Figura 6.1 puede describirse como una monoinsaturada simétrica y a menudo se la denomina como un triglicérido SOS, en el que S hace referencia a cualquier ácido graso saturado. Cerca de un 80% de la manteca de cacao se encuentra en esta forma, es decir, tiene al ácido oleico en la posición intermedia.

Entre un 1 y un 2% de la manteca de cacao se encuentra en forma todo saturada (SSS, triglicéridos de cadenas saturadas largas, en los que la grasa saturada es principalmente el palmítico o el esteárico) y funden a temperaturas mucho más altas de



**Figura 6.2** Contenido en grasa sólida de de mantecas de cacao provenientes de Brasil, África occidental y Malasia obtenidas por medidas RMN.

a las que lo hacen los más habituales SOS. Por otro lado, de un 5 a casi un 20% contienen dos moléculas de ácido oleico y son SOO, que es principalmente líquido a temperatura ambiente. Cuando éstas se combinan, como lo están en la manteca de cacao, la grasa se encontrará en parte en estado líquido a temperatura ambiente. Si hay grasa láctea, esta proporción aumentará y el chocolate será más blando al morderlo. Al aumentar la temperatura, la grasa se fundirá en función de las proporciones de los distintos tipos de grasas presentes.

Es posible medir la proporción de grasas sólida presente a cada temperatura utilizando técnicas como la resonancia magnética nuclear (RMN, véase el Capítulo 8) y la curva obtenida se denomina como curva de contenido en grasa sólida. La Figura 6.2 muestra ejemplos de estas curvas para mantecas de cacao procedentes de tres países diferentes: Brasil, Ghana y Malasia. En el Capítulo 2 se dijo que normalmente cuanto más cerca del ecuador se cultivaba el cacao, más dura es la grasa. Esto se demuestra claramente en esta gráfica ya que a 20°C, el 81% de la manteca de cacao de Malasia se encuentra en estado sólido en comparación con el 66% del procedente de Brasil, estando en medio el de Ghana. A 32,5°C la diferencia es proporcionalmente mayor con sólo un 7% de la muestra de Brasil en estado sólido, comparado con el 20% del malayo. Es posible llegar a la causa de esto observando el contenido en triglicéridos de las diferentes mantecas de cacao en términos de grasas saturadas e insaturadas, como se muestra en la Tabla 6.1. La dureza relativa se ve particularmente afectada por la relación SOS/SOO. Esta relación es de 3,6 para el brasileño pero de 16,5 para el malayo.

Cuando se funde la manteca de cacao y luego se enfriá, los tres tipos de triglicéridos de nuevo se comportan de forma diferente. Esto se refleja en la Figura 6.3. Los

**Tabla 6.1** Composición de triglicéridos (%) de mantecas de cacao de diferentes áreas de cultivo. (Reproducido con el permiso de Lodders Croklaan).

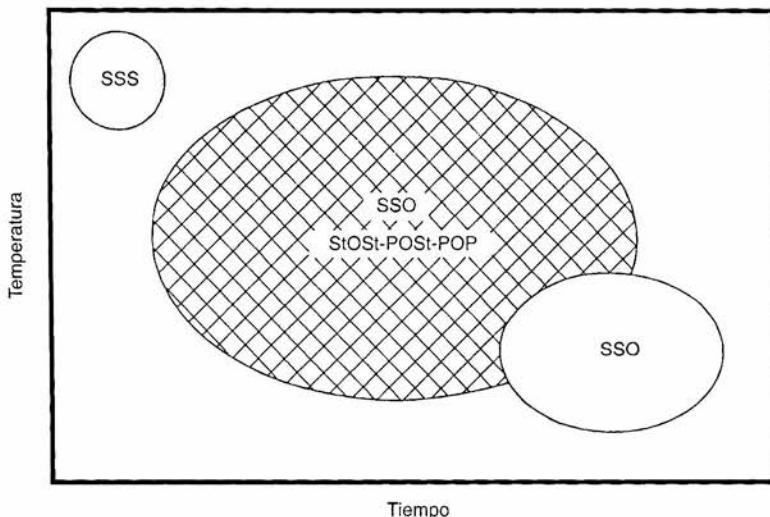
Triglicérido	Brasil	Ghana	Malasia
SSS	1,0	1,4	2,3
SOS	63,7	76,8	84,0
SSO	0,5	0,4	0,5
SLS	8,9	6,9	6,8
SOO	17,9	8,4	5,1
OOO	8,0	6,1	1,3

S = ácidos grasos saturados (principalmente palmítico y esteárico); O = ácido oleico; L = ácido linoleico.

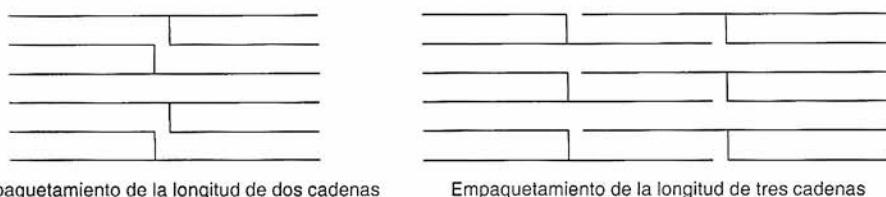
tipos SSS cristalizan primero. Esto hace que el chocolate se espese ya que hay menos grasa líquida presente, pero son los cristales de SOS que se forman más tarde los que determinan la textura del chocolate y su resistencia al fat bloom.

### DIFERENTES FORMAS CRISTALINAS

Se sabe que el carbono puede existir en diferentes formas, que van desde el blando grafito, pasando por materiales de dureza intermedia hasta una estructura real-



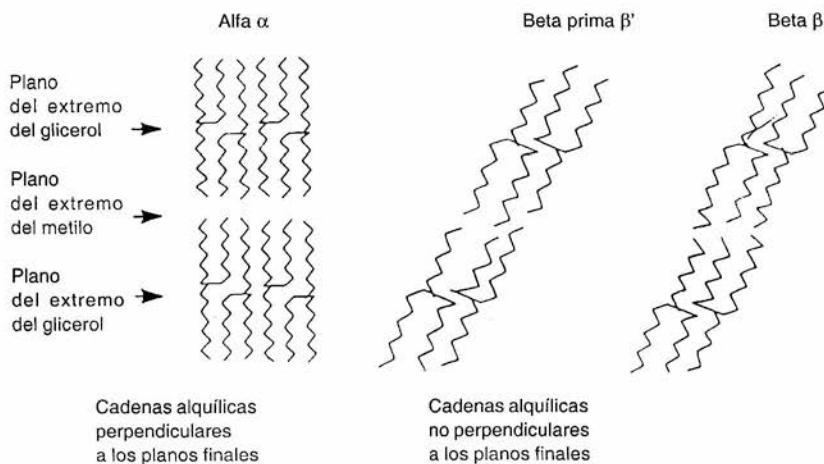
**Figura 6.3** Temperaturas y velocidades de cristalización para los diferentes grupos de triglicéridos (Talbot<sup>1</sup>).



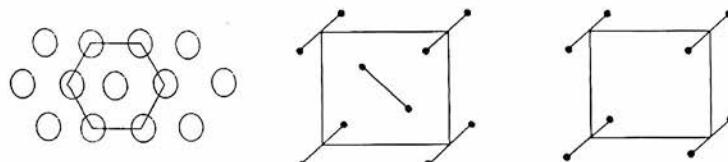
**Figura 6.4** Configuración de los empaquetamientos de dos y de tres cadenas de longitud. (Reproducido con el permiso de Loders Croklaan).

mente muy dura como son los diamantes. Las grasas también pueden cristalizar en varios modos diferentes, una propiedad que se conoce como polimorfismo. Según la estructura se va volviendo más densa y con menor energía, se vuelve más estable y más difícil de fundir.

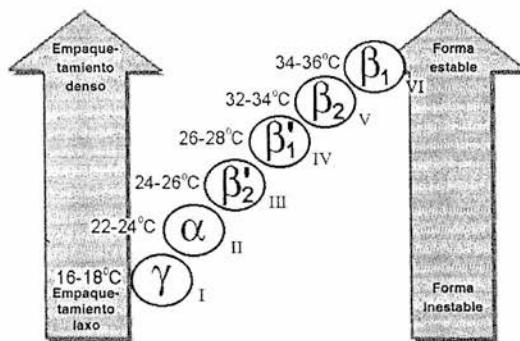
1 Proyección que muestra la disposición de las cadenas alquílicas de los polimorfismos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\beta'$



2 Proyección paralela a la dirección de las cadenas alquílicas  
(es decir, disposición que mira hacia los extremos de las cadenas)



**Figura 6.5** Empaquetamiento de los cristales de triglicéridos. (1) Proyección que muestra la disposición de las cadenas alquílicas de los polimorfismos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\beta'$ ; (2) Proyección que muestra los extremos de las cadenas. (Reproducido con el permiso de Loders Croklaan).



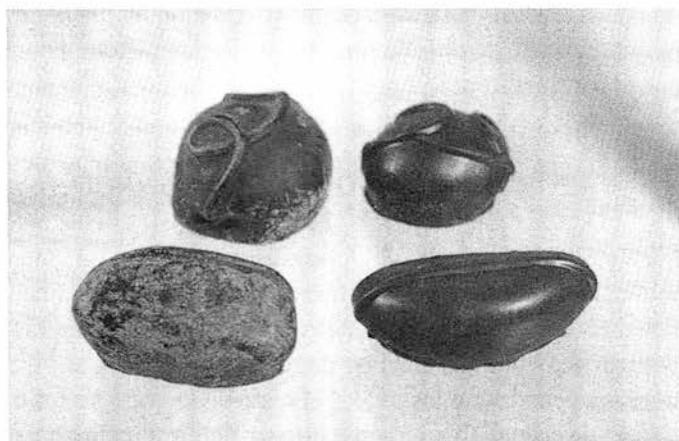
**Figura 6.6** Rangos de temperaturas para la formación estable de las seis formas cristalinas diferentes de la manteca de cacao.

La razón de esto es que las diferentes moléculas de grasa, como la mostrada en la Figura 6.1, pueden encajar entre sí de varios modos diferentes. Debido a su forma es de un modo parecido a si apilásemos sillas. Hay dos maneras de hacer esto, como se muestra en la Figura 6.4, que es un empaquetamiento de la longitud de dos cadenas o bien de tres cadenas de longitud. Estas pequeñas pilas deben encajarse con otras pilas. El ángulo en el que encajan determina su estabilidad. Si las sillas se apilan verticalmente hacia arriba tienden a caerse. Esto ocurre del mismo modo para las grasas en las que el empaquetamiento vertical hacia arriba, conocido como  $\alpha$ , se forma a bajas temperaturas y se transforma rápidamente en una de las otras formas (véase Figura 6.5).

Ahora ya se rompe la analogía con las sillas. El ángulo de inclinación en el que los cristales se acoplan determina su estabilidad, mientras que si se apilan las sillas con una inclinación, se caerán. Algunas grasas sólo tienen una forma estable mientras que otras tienen tres, las  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\beta'$ . Sin embargo, la manteca de cacao tiene seis. Se emplean dos nomenclaturas para describir estos polimorfismos. La industria del chocolate las suele numerar del I al VI, tal y como fueron descritas por Wille y Lutton en 1966. La industria de las grasas y aceites prefiere, en general, las letras griegas que definió Larsson el mismo año. La Figura 6.6 muestra los rangos de temperaturas a los que las diferentes formas cristalizan. Las formas V y VI son las más estables y son empaquetamientos de longitud de tres cadenas, mientras que el resto de formas son de empaquetamiento de longitud de dos cadenas.

La forma I es muy inestable y funde a alrededor de 17°C por lo que sólo está presente en las coberturas para helados. Cambia rápidamente hacia la forma II, que a su vez se transforma, aunque a velocidades más lentas en las formas III y IV.

Si un chocolate líquido a unos 30°C se utiliza para hacer un producto de confitería, que posteriormente va a ser enfriado en una corriente de aire a unos 13°C duran-



**Figura 6.7** Fotografía de unos bombones de chocolate puro con y sin fat bloom.

te alrededor de un cuarto de hora, la forma IV será el principal tipo de cristal que se halle presente, a no ser que se haya realizado algún tipo de presiembra. La forma IV es relativamente blanda de modo que el chocolate no producirá ningún chasquido cuando se rompa. Además se transformaría a lo largo de un período de días en la forma V. El tiempo real depende de las condiciones de almacenamiento, teniendo lugar la transformación más rápidamente a temperaturas más altas. Sin embargo, las formas más estables son más densas, de modo que el chocolate se contraerá. Aun así, parte de la manteca de cacao se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente y además, cuando la grasa pasa a un estado energético más bajo, se libera algo de energía. Esta combinación de efectos empuja a parte de la grasa situada entre las partículas sólidas hacia la superficie. Allí forma grandes cristales que le dan la apariencia blanca al fat bloom del chocolate, como se muestra en la Figura 6.7.

Por esta razón es necesario que el fabricante de chocolate se asegure que la manteca de cacao se encuentra en forma V cuando se utiliza para la elaboración de productos de confitería. Esta es una forma dura que produce un buen chasquido y que da una aspecto brillante con una resistencia relativamente buena al bloom. También se contrae bien si se vierte chocolate líquido en un molde (véase el Capítulo 7).

De hecho, la forma VI es más estable, pero en condiciones normales sólo se forma mediante una transformación de estado sólido a estado sólido y no directamente a partir de la manteca de cacao en estado líquido. Esto significa que la grasa del chocolate en la forma V tras un período de meses, o a veces años, empezará a dar un fenómeno de fat bloom. Esto se debe a que de nuevo están ocurriendo los mismos efectos descritos para la transición de IV a V, pero a una velocidad más baja. Por

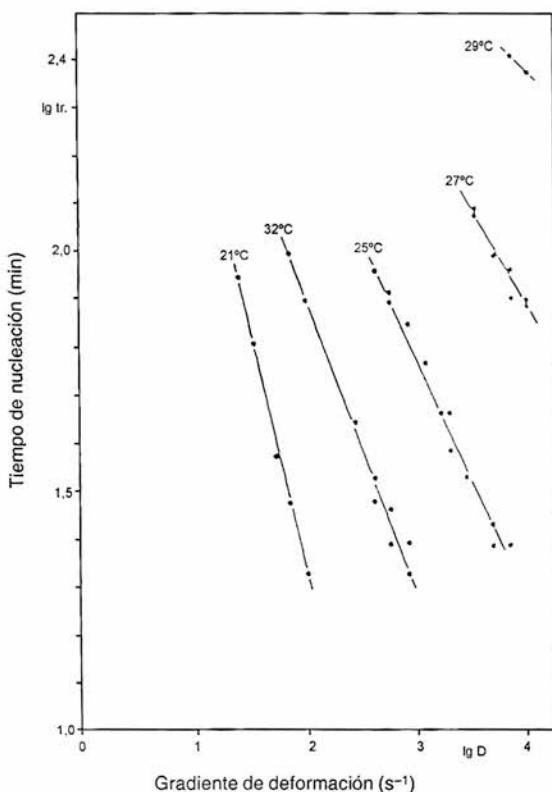
consiguiente, la habilidad del fabricante de chocolate es la de hacer que el chocolate alcance lo más rápidamente posible la forma V, pero debe tomar precauciones para prevenir una posterior transformación.

## PRECRISTALIZACIÓN O ATEMPERADO

Si el chocolate se enfriá hasta 34°C y posteriormente se agita lentamente, con el tiempo aparecerán cristales en forma V y tras un período largo de tiempo, probablemente de días, habrá la cantidad de cristales suficientes para sembrar el resto del chocolate. Esto significa que si se enfriase de repente habría los suficientes cristales para formar núcleos alrededor de los cuales el resto de la grasa se solidificaría adoptando el mismo tipo de cristal. Obviamente esto resulta impracticable en la industria del chocolate, en las que a menudo se utilizan varias toneladas a la hora.

Es necesario algún otro tipo de precrystalización conocido como atemperado. Para pequeños lotes es posible añadir pequeñas cantidades de un chocolate previamente solidificado. En este caso se añade un pequeño porcentaje de chocolate sólido rallado a un chocolate líquido que se ha enfriado hasta aproximadamente 30°C. A menudo se describe este proceso en las recetas de cocina para el hogar, cuando se utilizan chocolates que contienen manteca de cacao (véase el Experimento 9 en el Capítulo 10). (Muchos chocolates para la cocina son de hecho compuestos que contienen otras grasas. Estas grasas sólo solidifican en una forma cristalina de modo que no es necesaria una siembra o el atemperado.) Recientemente se ha desarrollado un método para producir pequeños cristales de manteca de cacao mediante enfriamiento por pulverización. Una vez se han transformado en la forma VI se utilizan para sembrar el chocolate.

La velocidad con la que la grasa del chocolate comienza a cristalizar no sólo depende de la temperatura sino también de la velocidad a la que se mezcla y se cizalla. Esto se debe al hecho de que la grasa solidificará bajo la forma de cualquier tipo de cristal sembrado que se encuentre presente. Por ello los cristales sembrados necesitan ser del tipo adecuado y estar bien distribuidos por toda la masa del chocolate. Los cristales grandes tienen un efecto mucho menor que la misma cantidad de grasa sólida en pequeños cristales que pueden mezclarse uniformemente en la masa del chocolate. Las cizallas elevadas tienen por efecto el romper los cristales de grasa sólida y los distribuyen de forma uniforme. Además aporta calor y energía con lo que aumenta la velocidad en que los cristales inestables pueden cambiar a la forma V. Ziegleder mostró que el efecto era extremadamente intenso y la Figura 6.8 muestra parte de sus resultados. Esta figura muestra que utilizando gradientes de deformación extremadamente elevados la manteca de cacao puede precrystalizar en 30 s en lugar de en varias horas o días.



**Figura 6.8** Relación entre la cristalización y la velocidad de agitación (mezclado) a diferentes temperaturas (Ziegleder<sup>2</sup>).

Sin embargo hay un problema importante con los gradientes de deformación elevados ya que pueden generar demasiado calor, que ayudará a la transformación a la forma V. Por otro lado, si hay demasiado calor, se fundirán todos los cristales a la vez.

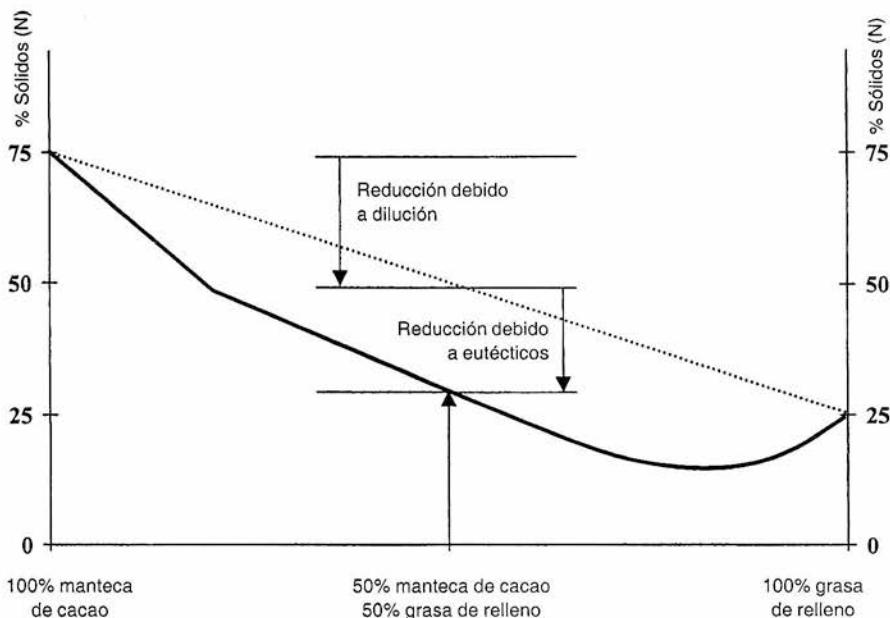
El proceso real utilizado por los fabricantes de chocolate es un compromiso que emplea un gradiente de deformación intermedio. Con el fin de aumentar la velocidad de cristalización, se enfriá el chocolate a temperaturas en las que se crean formas II y III. Se agita intensamente para formar una gran cantidad de cristales pequeños, antes de volver a calentar, todavía bajo agitación, para convertir las formas inestables en la forma adecuada. Las máquinas que llevan a cabo este proceso se denominan atemperadores y en el siguiente capítulo se darán más detalles sobre ellas. Las temperaturas usadas dependen enormemente de las grasas que están presentes en el chocolate. Principalmente son la manteca de cacao y la grasa láctea, pero en algunos chocolates hay grasas vegetales distintas a la manteca de cacao.

## MEZCLAS DE GRASAS DIFERENTES (EUTÉCTICOS DE GRASAS)

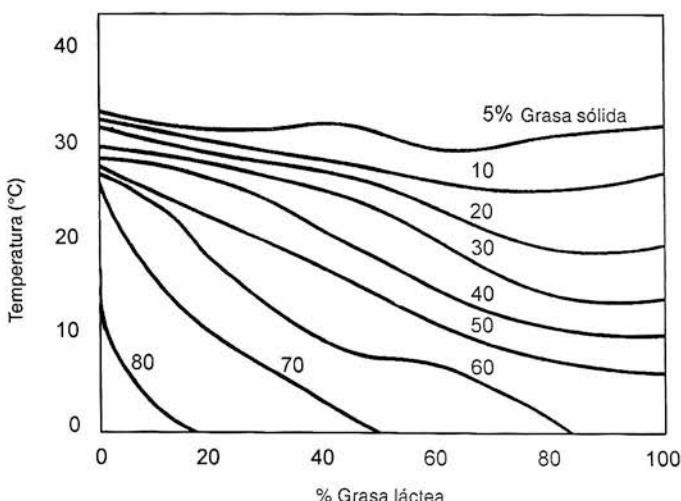
Cuando se mezclan dos o más grasas es importante que el chocolate final solidifique a una velocidad adecuada y, aún es más importante, que presente la textura y las propiedades en boca correctas. Un modo de determinar esto es medir el contenido en grasa sólida, como se demostró para diferentes mantecas de cacao en la Figura 6.2. Si en lugar de medir la proporción de grasa sólida a diferentes temperaturas, se determina la proporción de las diferentes mezclas a la misma temperatura, se obtiene una gráfica como la mostrada en la Figura 6.9.

Podría esperarse que el contenido en grasa sólida se pudiese calcular a partir de las mediciones del contenido en grasa sólida para las grasas por separado y de acuerdo con la proporción en la que están presentes en la mezcla, esto es, la línea recta de la gráfica. Como puede verse éste no es el caso.

La razón de esto es que aunque las otras grasas, como la grasa de la leche, son triglicéridos, su estructura es muy diferente a la de la manteca de cacao. Volviendo a la analogía del apilamiento de sillas, es como si se colocan sillas de otro tamaño en la pila. Esto hace que la estructura global sea menos estable. Con ello el producto fundirá más fácilmente, ya que contendrá más grasa en estado líquido, y esto es lo que sucede de hecho para la mayoría de las mezclas de grasas, como se muestra en la Figura 6.9.



**Figura 6.9** Gráfica que muestra el contenido en grasa sólida esperado y el real a 20°C de mezclas de manteca de cacao y una grasa blanda de relleno.

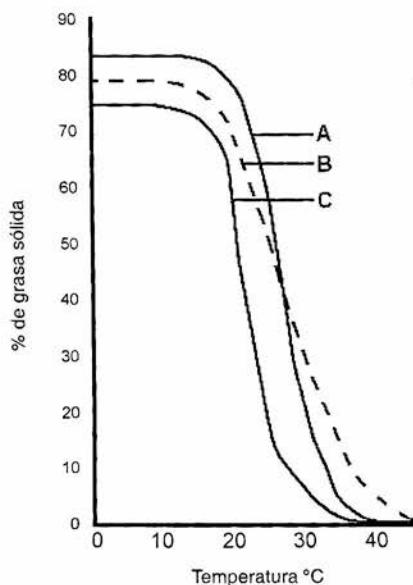


**Figura 6.10** Perfiles de fusión de mezclas de manteca de cacao y grasa láctea. (Reproducido con el permiso de Lodders Crooklaan).

Si sólo hay presente una pequeña cantidad de otra grasa, la disruptión que causa es menor, de modo que la dureza real estará próxima a la esperada. Cuando las dos grasas se encuentran en proporciones similares es cuando el efecto de ablandamiento es mayor. El grado de esta diferencia y también la cantidad que puede añadirse sin que se origine una importante diferencia en la textura dependerá en como de diferente cristalizan las grasas. Como se verá más adelante esto es muy importante cuando se añaden grasas vegetales, y de hecho son muy pocas la que pueden usarse.

La grasa de la leche se encuentra presente en todos los chocolates con leche e incluso en muchos chocolates puros. En este segundo caso la razón es la de reducir la posibilidad de un fat bloom. Si se añade grasa láctea en cantidades próximas al 5% del peso del chocolate, que contiene un 30% de grasa, ésta supone alrededor de un 17% de la fase grasa. Ésta hace al chocolate más blando y aumenta el tiempo necesario para que la manteca de cacao pase de forma V a forma VI y que se produzca la capa blanquecina en la superficie.

En el chocolate con leche, a veces se utilizan cantidades mayores de grasa láctea, pero existe un límite, que está determinado por el efecto de ablandamiento (eutéctico). Los consumidores de chocolate esperan que el chocolate con leche sea más blando que el puro, pero tampoco quieren que sea demasiado blando. Una vez más esto puede determinarse a partir del contenido en grasa sólida. La Figura 6.10 muestra datos para mezclas de grasa láctea/manteca de cacao. Las líneas se trazan a través de los puntos de idéntica dureza/contenido en grasa líquida. La mayoría de los consumidores comen el chocolate a una temperatura alrededor de los 20°C, y para que



**Figura 6.11** Una ilustración de los índices de grasa sólida de tres mezclas diferentes de grasas.

resulte aceptable debe tener aproximadamente un 70% de grasa sólida. Esto significa que el límite superior es de un 15% de grasa láctea. Por supuesto esto es para la grasa que se encuentra libremente mezclada con la manteca de cacao. Si miramos a los distintos tipos de leches en polvo mostrados en el Capítulo 2, se señaló que parte de la grasa láctea podía quedar retenida en la estructura del polvo. Se dijo que esto era perjudicial para las propiedades de flujo del chocolate, que en realidad lo es. Por otro lado cualquier grasa unida no contribuye a los efectos de ablandamiento. Se fabrican chocolates que contienen parte de la grasa unida en los que la grasa láctea suponía un 27% de la fase grasa.

El contenido en grasa sólida no sólo nos da información sobre la dureza del chocolate, sino que también nos da información de lo que ocurre cuando se funde en la boca. La Figura 6.11 nos muestra unas curvas para tres tipos de mezclas de grasas diferentes. El porcentaje de sólidos a temperatura ambiente nos da una indicación de la dureza del chocolate; en este caso A es el más duro y C el más blando. La temperatura a la que tiene lugar la brusca reducción del contenido en grasa sólida es su resistencia al calor. La manteca de cacao de Malasia normalmente tendría una temperatura más alta que la de una manteca de Brasil (Figura 6.2). Esto la hace mejor para su uso en climas cálidos, pero peor para los helados. En este caso A funde a una temperatura más alta.

La pendiente de la curva está relacionada con lo rápido que funde la grasa. El cambio de un estado sólido a líquido requiere una gran cantidad de energía. A esta se

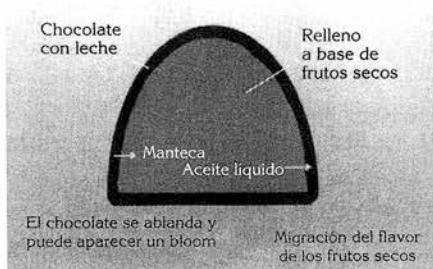
la denomina calor latente y para la manteca de cacao es de alrededor de  $157 \text{ J g}^{-1}$ . Este valor puede compararse con el calor específico de  $2,0 \text{ J g}^{-1}$ , que es la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura de la grasa en un  $1^\circ\text{C}$ . Por consiguiente, cuando el chocolate se funde en la boca, es necesaria una gran cantidad de energía, que sólo puede provenir de la misma boca (la temperatura sube aproximadamente unos  $20^\circ\text{C}$  y además, también se funde; la suma de los calores específicos y latentes da:  $20 \times 2 + 157 = 197 \text{ J g}^{-1}$ ). Si la pendiente es pronunciada, esto tiene lugar muy rápidamente produciendo una sensación refrescante en la boca. Se han desarrollado grasas con puntos de fusión extremadamente bruscos, que explotan esta propiedad. La velocidad de fusión también modifica la viscosidad del chocolate antes de que se trague, lo que a su vez cambia la velocidad con la que las partículas pueden alcanzar los receptores del flavor. De modo que también cambia el flavor. En la Figura, A y C tiene efectos refrescantes similares, siendo los de ambos mayores que los de B.

Algunas grasas, como B, tienen, incluso a  $40^\circ\text{C}$ , una cantidad importante de cristales de grasa en estado sólido. Ésta no se fundirá por completo en la boca y dejará una sensación cérea en la boca. Algunas de las grasas utilizadas en la fabricación de coberturas con aroma de chocolate sufren este problema. Pueden añadirse otras grasas que reducen la cantidad de estas grasas de alto punto de fusión mediante un efecto eutéctico. Sin embargo, debe tenerse cuidado ya que esto puede conducir a la formación de un chocolate con fat bloom.

## FAT BLOOM O EFLORESCENCIA GRASA EN EL CHOCOLATE

Hay 4 modos principales en los que se forma un fat bloom en el chocolate. Dos de ellos ya se han descrito, es decir, mediante la transformación de la forma IV a la forma V que sigue a una precrystalización (atemperado) incorrecto o el cambio de la forma V a la forma VI relacionada con el envejecimiento o la temperatura, que puede retrasarse con la adición de grasa láctea.

Otra es cuando el chocolate se funde y recristaliza si un atemperado, por ejemplo, se ha colocado al sol. Esto puede solucionarse añadiendo al chocolate cristales de grasa de la misma forma que a la manteca de cacao, pero con un punto de fusión mucho más alto. A menos de que se fundan estos cristales, lo que puede necesitar temperaturas superiores a los  $50^\circ\text{C}$ , permanecerán en el chocolate y actuarán a modo de núcleo cuando se vuelva a solidificar, previniendo la aparición del fat bloom. Una de estas grasas que actúa como núcleo de alto punto de fusión está constituida con ácido behénico sustituyendo a los ácidos grasos saturados en la cadena de glicerol. El ácido behénico (C22:0) se encuentra presente, de hecho, en la manteca de cacao, pero en una cantidad muy inferior al 1%. El BOB (1,3 behenoil-2 oleoilglicerol) es fabricado por Fuji Oil Company en Japón, pero no puede utilizarse legalmente en otros muchos países del mundo.



**Figura 6.12** Ilustración de la migración de las grasas en un bombón con un relleno a base de frutos secos.

El cuarto mecanismo es debido a la migración de las grasas blandas hacia el chocolate. En una caja de bombones que contiene una gran cantidad de centros, es habitual que los de un núcleo compuesto por frutos secos se emblanquezcan primero. Los frutos secos como las avellanas contienen una grasa que es prácticamente líquida a temperatura ambiente. Los pralinés se elaboran de un modo similar a los chocolates pero con avellanas. Si ambos se mezclan para elaborar un bombón, la fase grasa trata de alcanzar un equilibrio (véase la Figura 6.12). La grasa líquida se desplaza desde el centro hacia el chocolate y debido al efecto eutéctico lo hace mucho más blando, pudiendo incluso causar que parte de la manteca de cacao pase a estado líquido de nuevo, si el ablandamiento es lo suficientemente intenso. Parte de la manteca de cacao migra en sentido opuesto haciendo el centro más duro. Por ello se pierde la diferencia de texturas y el bombón resulta menos apetecible. Cuando la grasa blanda migra hacia la superficie arrastra consigo parte de manteca de cacao. Ésta cristaliza formando el fat bloom. También es posible que este tipo de grasa origine un incremento rápido en la velocidad de transición de la forma V a la VI en la manteca de cacao, lo que también causaría un bloom.

Hay varios modos de reducir este tipo de bloom. Algunos se basan en tratar de evitar que la grasa blanda llegue al chocolate. Esto se hace utilizando otra grasa más dura que o bien forma una capa en la cubierta de chocolate, o forma un sistema similar a una esponja en el centro. Alternativamente se añade una grasa antibloom al chocolate o al centro, desde donde migra junto con el aceite del fruto seco. Estas grasas tienen la propiedad de que pueden retrasar la transición de la forma V a la forma VI, que originaría el fat bloom.

Éstas son sólo algunas de las grasas vegetales que pueden utilizarse en confitería. Pueden añadirse otras para aumentar la resistencia al calor o para eliminar la necesidad del atemperado.

## ALGUNOS TIPOS DE GRASAS VEGETALES DISTINTAS DE LA MANTECA DE CACAO

Las grasas vegetales se han usado durante mucho tiempo en el chocolate y en las coberturas de chocolate. En la Primera Guerra Mundial, empresas como Rowntree utilizaron grasas vegetales en su chocolate porque eran incapaces de adquirir manteca de cacao. En los años 50 las investigaciones mostraron que, al contrario que las grasas animales, algunas grasas vegetales contenían los mismos triglicéridos que la manteca de cacao. Esto dio lugar en 1956 a una patente de Unilever, por la que se mostraba un método para producir grasa que era casi idéntica a la manteca de cacao, pero que se obtenía a partir de otras fuentes de origen vegetal. Se elaboraban comercialmente y se añadían al chocolate en cantidades diferentes. En 1977 se aprobó una ley en el Reino Unido por la que restringía su uso a un 5% si el producto se iba a vender con el nombre de chocolate. Si se utilizaban cantidades mayores, tenía que venderse con otra denominación, como cobertura con aroma a chocolate. Otros países también adoptaron esta legislación, pero algunos como Francia y Alemania, exigen un etiquetado diferente si se utiliza cualquier tipo de grasa vegetal, incluso para los productos que contienen una grasa vegetal que es indistinguible en términos de procesado, sabor y textura. Unos pocos países permiten incluso la sustitución de toda la manteca de cacao por otras grasas.

La grasa original fabricada por Unilever y por otras empresas que se comercializan hoy, se conocen como equivalentes de la manteca de cacao (CBEs, Cocoa Butter Equivalents), ya que son como la manteca de cacao y pueden añadirse en cualquier proporción sin causar un efecto significativo de ablandamiento o endurecimiento. Otras grasas sólo pueden emplearse si sustituyen a casi toda la manteca de cacao, y a éstas se les conoce como sustitutos de la manteca de cacao (CBRs; Cocoa Butter Replacer).

### Equivalentes de la manteca de cacao (CBEs)

Para poder ser añadido a la manteca de cacao sin originar un efecto eutéctico, la grasa vegetal debe cristalizar del mismo modo en el que lo hace la manteca de cacao (es decir, en una silla de la misma forma y del mismo tamaño). La manteca de cacao contiene los ácidos grasos palmitíco (P), esteárico (S) y oleico (O) unidos a una molécula de glicerol, siendo la mayor parte de las moléculas POP, POST y StOSt. Por consiguiente, el fabricante de grasa tiene que obtener estas fracciones diferentes a partir de fuentes diferentes y luego mezclarlas.

El POP es el más fácil de encontrar ya que es uno de los componentes principales del aceite de palma, que se obtiene a partir de la palma (*Elaeis guineensis*) ampliamente cultivada en Malasia. Se encuentran presentes muchos tipos de grasas, pero que pueden ser eliminados por fraccionamiento. Se retira la fracción fácilmente fundible (oleína) y la del alto punto de fusión (estearina), dejando la fracción media que

es principalmente POP y una pequeña cantidad de POSt. Se utilizan dos tipos de fraccionamiento: en seco y con solventes. En el fraccionamiento en seco, se calienta la grasa a una temperatura determinada previamente y luego se separa la parte líquida de la sólida mediante prensado o filtración. En el fraccionamiento con solventes se disuelve la grasa normalmente en acetona o hexano. Luego se permite que los triglicéridos de alto punto de fusión cristalicen y se eliminen por filtración. Este proceso da unas fracciones más claramente definidas que en el procesado en seco.

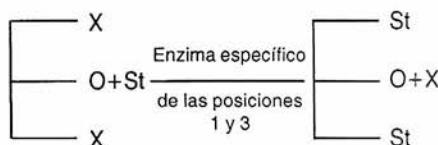
Las fracciones ricas en StOSt y en POSt son mucho más difíciles de obtener. Un fruto que proporciona este tipo de grasa es el Illipe (*Shorea stenoptra*). Se cultiva en Borneo, pero sólo se dispone de ellas en períodos intermitentes. El Karité o Shea (*Butyrospermum parkii*), que crece en África Occidental y el Sal (*Shorea robusta*) procedente de la India contienen una alta proporción de StOSt, pero no siempre se dispone de cosechas y pueden ser de una baja calidad. Sin embargo, mezclando la fracción media del aceite de palma con la grasa del Illipe y con la fracción más dura (estearina) de la grasa del Karité, es posible obtener una grasa que sea totalmente compatible con la manteca de cacao.

En verano en el sur de Europa o en los climas tropicales, el chocolate funde fácilmente en las condiciones ambientales. Mediante cambios en las proporciones de StOSt es posible obtener un chocolate que no se funda a no ser que la temperatura esté varios grados por encima de la temperatura normal de fusión de la manteca de cacao, pero sin dejar una sensación cérea en la boca. Si se midiese el contenido en grasa sólida como en la Figura 6.11, la curva de fusión cercana prácticamente vertical se desplazaría hacia la derecha con lo que no habría una cantidad importante de grasa sólida alrededor de los 36°C. A este tipo de grasa se la conoce como mejorante de la manteca de cacao (CBI; *Cocoa Butter Improver*), porque mejora el chocolate. Los componentes de la grasa más duros son difíciles de obtener, de modo que los CBIs son más caros que los equivalentes de la manteca de cacao.

### Interesterificación enzimática

Como las grasas duras de buena calidad son difíciles de obtener, los fabricantes de grasas han desarrollado un proceso que les permite utilizar otras materias primas como el aceite de girasol. Este proceso se emplea para obtener una grasa que pueda ser mezclada con el aceite de palma para obtener el equivalente de manteca de cacao correspondiente.

Los enzimas se hallan presentes de forma natural tanto dentro como fuera del cuerpo humano y algunos de ellos tienen la capacidad de acelerar la separación de los ácidos grasos de la molécula de glicerol dando glicéridos parciales (mono y diglicéridos) así como glicerol. Uno de ellos, denominado lipasa, se halla en la harina y puede causar graves problemas al confitero, ya que con ciertas grasas, libera ácidos grasos libres que tienen un desagradable flavor a queso. Algunos de estos



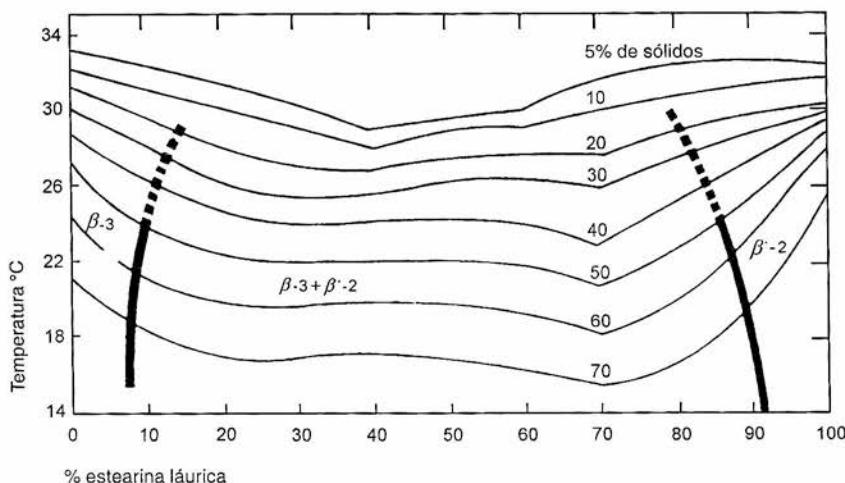
**Figura 6.13** Representación esquemática de la interesterificación enzimática.

enzimas son específicos de posición y solo acelerarán la reacción por la que se libera los ácidos grasos procedentes de una posición específica del glicerol. También son capaces de intercambiar los ácidos grasos de ciertas posiciones, así como liberarlos. Los fabricantes de grasas utilizan esta propiedad para cambiar las propiedades de fusión de sus grasas.

En los años 70, los trabajadores del laboratorio de investigación de Unilever en Colworth House en Inglaterra, mostraron que cierto tipo de enzima, proveniente de *Mucor miehei*, sólo atacaba a las posiciones 1 y 3 del triglicérido. El proceso que ellos desarrollaron podía utilizar cualquier grasa que tuviese principalmente al ácido oleico en posición 2 (véase Figura 6.13). Luego se mezcla con ácido esteárico y el enzima apropiado. Entonces este ácido esteárico libre es esterificado sobre las posiciones 1 y 3, en las que el enzima había retirado los ácidos grasos de la grasa original. El ácido oleico en posición central permanecía intacto, de modo que la grasa se enriquecía en StOSt. Luego, los ácidos grasos libres liberados por los enzimas son tratados mediante desacidificación y posteriormente por fraccionamiento y refinado para eliminar impurezas. Esta grasa es idéntica a la obtenida directamente a partir de otras frutas tropicales en términos de su procesado para obtener productos de confitería y su comportamiento en la boca cuando se ingiere. También puede añadirse al chocolate en la cantidad que sea necesaria ya que es completamente compatible con la manteca de cacao. Sin embargo algunas otras grasas son bastante diferentes.

### Grasas láuricas sustitutas de la manteca de cacao (CBR láuricas)

Hay otras grasas que funden en el mismo rango de temperaturas que la manteca de cacao, por lo que tienen una textura y un comportamiento en boca similares, pero que cristalizan de un modo muy diferente. El aceite de nuez de palma y el aceite de coco son ampliamente accesibles y contienen cerca de un 50% de ácido láurico (C12:0, ácido dodecanoico), existiendo una gran parte del mismo en forma de trilaurina. Al contrario que la manteca de cacao, solidifica en una única forma cristalina, por lo que no es necesaria una precrystalización. Esta forma también difiere ya que no es un cristal tipo  $\beta$  (como la forma V de la manteca de cacao) sino  $\beta'$  (equivalente a la forma IV).



**Figura 6.14** Diagrama del contenido en grasa sólida de una mezcla de manteca de cacao y una CBR láurica. (Reproducido con el permiso de Loders Croklaan).

Una vez más nos encontramos en una situación en la que tratamos de apilar sillas diferentes. Esto se demuestra claramente mediante la determinación del contenido en grasa sólida de las mezclas de grasa láurica con la manteca de cacao, como se muestra en la Figura 6.14. Aparte de donde sólo hay un 5% de otra grasa, el sistema tiene una mezcla de cristales. Es muy blando, le lleva mucho tiempo solidificar y es probable que aparezca un bloom rápidamente.

Esto significa que estos sustitutos láuricos de la manteca de cacao sólo pueden emplearse si hay muy poca manteca de cacao. Como la pasta de cacao contiene alrededor de un 55% de manteca de cacao, los productos en los que se emplean CBR láuricas son elaborados normalmente con cacao en polvo. Esto, a su vez, tiende a darles un flavor diferente. Sin embargo, a menudo son utilizados para hacer coberturas, porque para muchos de los pequeños confiteros o para su uso en el hogar, es una gran ventaja no tener que atemperarlo. El enfriamiento puede ser muy rápido y a menudo el brillo de los productos inicialmente es muy intenso.

Sin embargo, con los productos elaborados con grasas láuricas es importante mantenerlos en un ambiente seco y si es posible utilizar ingredientes libres de lipasa. Esto se debe a que en un ambiente húmedo, los enzimas del tipo de la lipasa aceleran la liberación de algunos ácidos libres de la molécula de glicerol. En este caso concreto, los ácidos grasos liberados tienen un desagradable sabor a jabón, incluso con cantidades muy bajas en el producto. Sin embargo, existen otras grasas con una compatibilidad ligeramente mayor con la manteca de cacao.



**Figura 6.15** Ilustración de la diferencia entre las formas *cis* y *trans*.

### Sustitutos no láuricos de la manteca de cacao (CBR no láuricos)

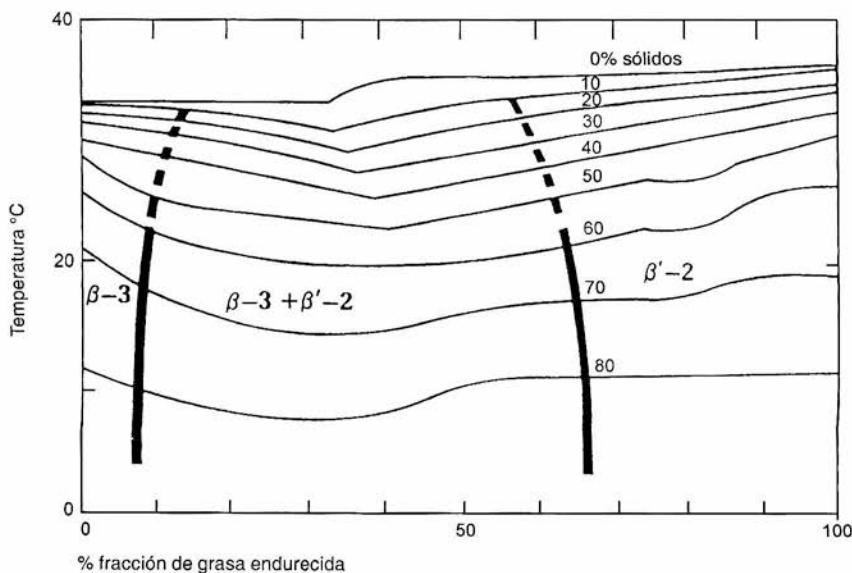
El aceite de palma y el de soja contienen muchos de los mismos ácidos grasos de la manteca de cacao y pueden ser fraccionados dejando básicamente los ácidos esteáricos, palmítico y oleico. Sin embargo, éstos se encuentran en posiciones dentro del glicerol más al azar que en la manteca de cacao, de modo que por ejemplo, el ácido oleico está con mucha frecuencia en las posiciones 1 ó 3. Además, a menudo contienen una cantidad importante de ácido eláídico (C18:1, ácido octadec-*trans*-9-enoico). Éste es un ácido graso insaturado que se encuentra en forma *trans*. Esto significa que los átomos de hidrógeno que están asociados con los átomos de carbono insaturados se encuentran en lados opuestos del doble enlace, como se ilustra en la Figura 6.15 y da como resultado una estructura muy diferente de la del ácido insaturado de la manteca de cacao, el ácido oleico (C18:1, ácido octadec-*cis*-9-enoico). La forma *cis* tiene los hidrógenos en el mismo lado del enlace como también se muestra en la Figura 6.15.

Esta estructura más al azar junto con esta diferencia en los ácidos grasos insaturados implica que este tipo de grasa tenga una compatibilidad limitada con la manteca de cacao. Las medidas del contenido en grasa sólida de las diferentes mezclas se muestran en la Figura 6.16. Una vez más las condiciones de blandura, favorables a que ocurra el bloom, se dan cuando ambas grasas se encuentran en cantidades similares. Sin embargo, el efecto es menos importante que para las grasas láuricas. Además, se puede añadir aproximadamente un 7% de grasa láurica a la manteca de cacao, pero con una mayor importancia para el fabricante de chocolate, con CBR no láurico puede haber hasta un 25% de manteca de cacao. Esto significa que se puede fabricar una cobertura de chocolate con pasta de cacao, lo que le da un sabor más parecido al chocolate normal.

Las grasas no láuricas, como las láuricas, tienden a cristalizar en forma  $\beta'$  y no necesitan atemperado, aunque sería mejor realizarlo si se encuentra presente una cantidad importante de manteca de cacao. También requieren de un enfriamiento mucho más lento que para las CBRs láuricas.

### Grasas bajas en calorías

En EE UU en particular, ha habido una demanda de productos bajos en calorías. Las grasas normales contienen 9 calorías por gramo, comparado con las 5 calorías



**Figura 6.16** Diagrama del contenido de grasa sólida en una mezcla de manteca de cacao y un CBR no láurico. (Reproducido con el permiso de Lodders Croklaan).

por gramo de los azúcares y proteínas. Si se reduce la proporción de grasa el aporte calórico disminuirá. Sin embargo, para el procesado y por razones de textura, no es posible disminuir la cantidad de grasa muy por debajo del 25%. Esto no es suficiente para usar el reclamo de un producto bajo en calorías, de modo que dos fabricantes han obtenido grasas que funden como la manteca de cacao pero que tienen un aporte calórico más bajo. Al igual que las grasas láuricas, son incompatibles con la manteca de cacao de modo que estos productos se tienen que fabricar con cacao en polvo.

Procter & Gamble fabrican una grasa llamada caprenina a partir de los ácidos grasos caprílico (C8), cáprico (C10) y behénico (C22). Los ácidos caprílico y cáprico son metabolizados por el organismo de un modo diferente al que lo son los ácidos grasos de la manteca de cacao, mientras que, debido a la longitud de su cadena, el ácido behénico se absorbe muy mal. Esto significa que esta grasa está más próxima a un carbohidrato por lo que se les ha declarado con un aporte calórico de 5 cal g<sup>-1</sup>.

La grasa Salatrim (Benefat<sup>TM</sup>) es fabricada por Nabisco y contiene una mezcla de triglicéridos con ácidos grasos de cadena larga y de cadena muy corta. A ésta también se le da un aporte calórico de 5 cal g<sup>-1</sup>. Ambas grasas sólo pueden ser utilizadas en un número muy limitado de países.

## REFERENCIAS

1. G. Talbot, 'Chocolate Temper', in S.T. Beckett (ed.), 'Industrial Chocolate Manufacture and Use', 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.
2. G. Ziegleder, 'Verbesserte Kristallisation von Kakaobutter unter dem Einfluss eines Schergerätes', *Int. Z. Lebensm. Techn. Verfahrenst.*, 1985, **36**, 412-418.

## ***Capítulo 7***

### **Fabricación de los productos con chocolate**

Una vez elaborado el chocolate líquido, es necesario convertirlo en una tableta sólida, que puede o no, contener un centro compuesto por algún otro material, como barquillo, galleta, fondant, etc. Sin embargo, antes de nada, es esencial asegurarse de que la grasa solidifica en la forma cristalina correcta utilizando un proceso llamado atemperado. Luego se puede obtener una sencilla tableta de chocolate vertiendo el chocolate atemperado en un molde. Otros productos obtenidos con moldes tienen una coquilla de chocolate (capa externa de chocolate) que recubre un centro sólido o semisólido, o en el caso de los huevos de Pascua, el centro permanece vacío. Estos productos se fabrican mediante un proceso conocido como moldeado con coquilla.

En la famosa historia de Roald Dahl «Charlie y la fábrica de chocolate», hay cascadas de chocolate. Realmente éstas sólo existen en miniatura, en una máquina llamada bañadora. Ésta produce una cortina de chocolate de unos 3 cm de alto que cae sobre los centros de los dulces según pasan por una cinta de alambre. Muchos productos bien conocidos como las barritas Mars, las barritas Lion o los Crunchie se fabrican de este modo.

Un tercer modo de recubrir centros se denomina grageado. Éste se utiliza para recubrir núcleos duros como frutos secos y pasas con una capa de chocolate.

Sea cual sea la forma de procesado empleada, debe dejarse que el chocolate solidifique, de modo que pueda ser manipulado y envasado. Esto debe hacerse correctamente ya que de otro modo el chocolate se emblanquecerá rápidamente, a través de uno de los dos tipos de bloom.

## ATEMPERADO

### Almacenamiento del chocolate líquido

Este es el proceso por el que precrystaliza una pequeña cantidad de la grasa del chocolate, de modo que los cristales forman un núcleo, que facilita que la grasa solidifique rápidamente en la forma correcta. La cantidad real de grasa que es necesaria para la cristalización es incierta, pero probablemente esté entre el 1 y el 3%.

Normalmente el chocolate líquido sale de la concha a una temperatura por encima de 40°C. Si va a ser procesado en la misma fábrica se mantiene en un tanque de almacenamiento hasta que vaya a ser utilizado. Estos tanques pueden ser de 20 toneladas o incluso mayores y deben poder ser agitados, calentados y mantenerse en un ambiente de baja humedad.

Si el chocolate no se agita durante un período prolongado de tiempo, parte de la grasa se separa hacia la superficie, dejando un chocolate espeso en el fondo del tanque. La temperatura se mantiene alrededor de 45°C. El mantenerlo durante períodos más largos a temperaturas más altas originaría un cambio en el flavor, mientras que las proteínas, en el chocolate con leche, tenderían a agregarse llegando a hacerlo más espeso. A una temperatura mucho más baja empezaría el proceso de cristalización, y existiría el riesgo de que el tanque se solidificase. Cuando se describió el transporte de las habas de cacao, se señaló que si la humedad relativa estaba por encima de la humedad relativa en equilibrio (ERH) de las habas, éstas captarían humedad. Esto es igualmente válido para el chocolate líquido. Aquí la ERH está entre el 35 y el 40%, de modo que si la humedad relativa alrededor del tanque de almacenamiento es mayor de estos valores, el chocolate captará agua. Sólo es necesaria una cantidad muy pequeña de agua para que las partículas de azúcar comiencen a adherirse entre ellas y aumente la viscosidad, dificultando el proceso.

### Atemperadores

Los atemperadores primero deben enfriar el chocolate de forma que se empiecen a formar los cristales. El chocolate es muy mal conductor del calor, de modo que para que se enfríe rápidamente debe mezclarse bien, entrando en contacto con la superficie de metal fría del atemperador. Estas máquinas son un tipo de intercambiador de calor, que calienta y enfriá el chocolate según pasa a través de él. La Figura 7.1 muestra un atemperador típico.

La columna central es un eje giratorio al que se unen una serie de discos o rascadores. Las paredes tienen barras o discos, para asegurar que el chocolate tiene que fluir de un modo alternante de la pared hacia el centro y no pueden salir de la máquina directamente. Cuanto más rápido gira el eje, mayor es la gradiente de deformación y más rápida la cristalización. En muchos atemperadores está entre 3.000

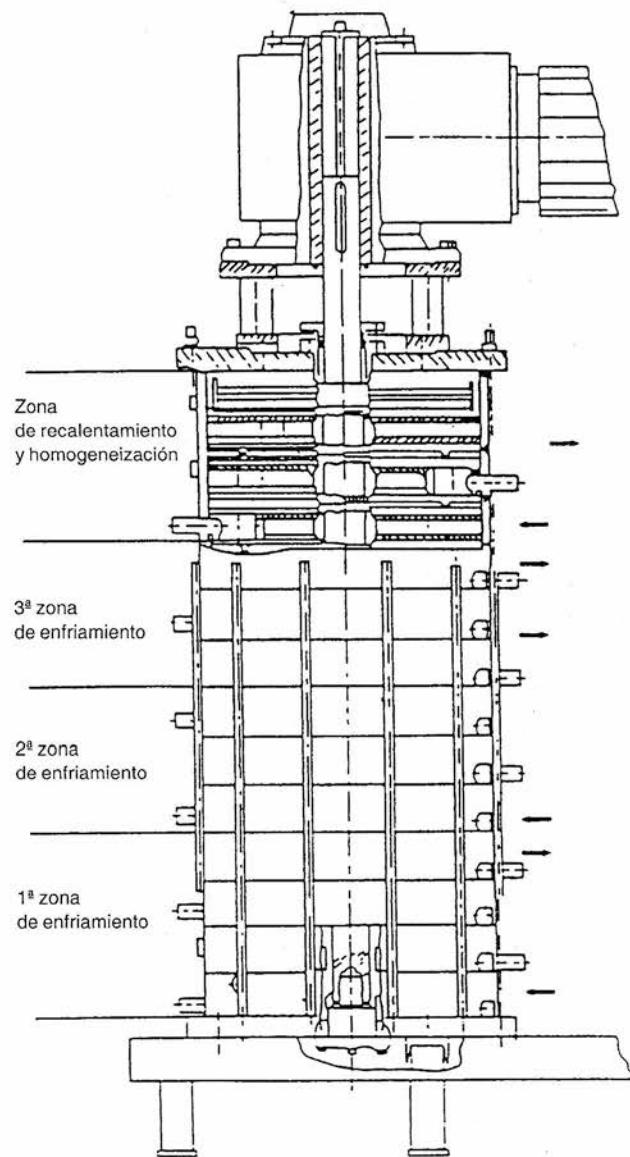


Figura 7.1 Diagrama esquemático del atemperador Sollich Solltemper MST-V (Nelson<sup>1</sup>).

y  $8.000\text{ s}^{-1}$ . El límite lo establece el tamaño del motor y el calor desarrollado durante el mezclado, que podría comenzar a fundir los cristales.

Debe controlarse cuidadosamente la temperatura de la superficie externa y emplearla para determinar el grado de desarrollo del atemperado. Normalmente la tem-

peratura se controla en cada uno de los grupos de placas, llamados zonas. Muchas máquinas tienen tres o cuatro zonas aunque son posibles muchas más.

La primera zona enfriá el chocolate hasta la temperatura en la que se empiezan a formar los cristales. La segunda zona la baja mucho más, de modo que se hallen presentes la forma IV y la V y en esta zona se somete al chocolate a una cizalla elevada. En la etapa final se sube la temperatura a alrededor de 30°C lo que funde muchos de los cristales inestables.

La viscosidad del chocolate, como la de muchas otras sustancias, disminuye al aumentar la temperatura. Cuanto más fluido sea el chocolate con más facilidad fluirá dentro del molde o alrededor del dulce. En consecuencia es mejor procesar el chocolate a la temperatura más alta posible, sin que se fundan los cristales ya sembrados. Cuando están recién formados, los cristales son pequeños y funden con facilidad. Si se agita el chocolate y se calienta lentamente, estos cristales se vuelven más estables y tienen un punto de fusión más alto. Es por este motivo por el que algunos atemperadores tienen una fase adicional en la que el chocolate se somete a una agitación más lenta y se permite que los cristales «maduren».

### **Medición del atemperado**

Cuando el chocolate sale del atemperador, es importante para el fabricante de chocolates el estar seguro de que hay los cristales suficientes del tipo adecuado para hacer que el chocolate solidifique correctamente. En el laboratorio, es posible utilizar los rayos X para determinar exactamente el tipo de cristales presentes. Esto no es sólo muy caro y lento, sino que a menudo hay que eliminar primero el azúcar ya que sus picos dominarían el espectro. Esto significa que la muestra ha cambiado en el momento en el que se realiza la medida, lo que convierte en totalmente impráctico un proceso industrial.

La calorimetría diferencial de barrido (DSC, véase el Capítulo 8) puede proporcionar una gran cantidad de información sobre el tipo de cristales presentes en el chocolate, pero requiere de una muy cuidadosa preparación de la muestra. Estos equipos pueden emplearse para trabajos de investigación, pero es demasiado caro y complicado para un control de calidad rutinario.

En el Capítulo 6, en la sección relativa al contenido en grasa sólida, se señaló que algunas grasas a veces proporcionan un efecto refrescante en la boca debido a que la energía necesaria para fundirlas –el calor latente– era mucho mayor que la energía necesaria para cambiar su temperatura en 1°C; el calor específico. Esto también es válido para la solidificación del chocolate, excepto que, cuando la grasa pasa de estado líquido a sólido el calor latente se libera, en lugar de tomarse del medio, como ocurre en la boca. El fabricante puede utilizar este fenómeno para determinar si el chocolate se ha atemperado correctamente, mediante la determinación de la curva de enfriamiento.

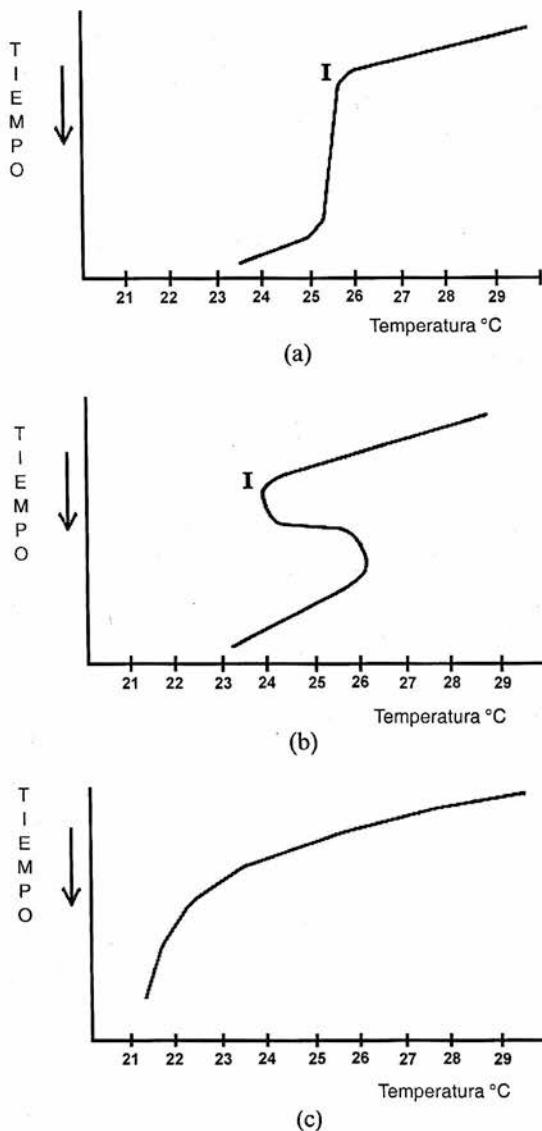


**Figura 7.2** Fotografía de un temperímetro.

Esto puede hacerse de una forma sencilla y barata mediante el instrumento que se muestra en la Figura 7.2. La Figura 7.3 muestra las curvas de enfriamiento típicas obtenidas mediante este instrumento. El instrumento está hecho de un tubo de metal con una copa en la parte superior para depositar la muestra de chocolate. Una sonda de temperatura se encuentra unida, a un cierre, unido a su vez a la copa. La temperatura que toma esta sonda puede ser registrada en un registrador de gráficas, como los mostrados, o en un programa de ordenador. El tubo se acondiciona a lo largo de un recipiente aislado térmicamente (un termo), que lo mantiene en su posición, con la copa por encima del nivel del agua del termo. Se coloca una mezcla de agua y hielo en el termo y luego se pone el tubo en su posición. Se vierte parte de chocolate atemperado en la copa y se colocan el termómetro y el cierre encima. Entonces se obtiene una gráfica de la temperatura frente al tiempo.

Inicialmente la temperatura cae de un modo uniforme pero lento. Si el chocolate se ha atemperado correctamente, hay suficientes cristales sembrados por todo el chocolate como para hacerlo solidificar muy rápidamente. Al hacerlo, se va liberando el calor latente, lo que compensa el enfriamiento por el hielo, de modo que la temperatura permanece constante, durante un tiempo importante, como se muestra en la Figura 7.3a.

Si no hay presente una cantidad suficiente de cristales sembrados, al chocolate le cuesta más solidificar. Sin embargo, hay más grasa que solidificar de modo que se



**Figura 7.3** Curvas obtenidas con un temperímetro para: (a) un chocolate atemperado correctamente; (b) un chocolate poco atemperado; (c) chocolate sobre-atemperado.

libera más calor proveniente del calor latente. Esto significa que hay una caída inicial de la temperatura prolongada, pero luego, se libera mucho más calor latente de modo que la temperatura sube de nuevo. Posteriormente caerá de nuevo, una vez se haya liberado el calor latente. Esto se muestra en la Figura 7.3b.

Si casi no hay cristales sembrados, o hay demasiados (de modo que una gran cantidad de calor latente ya ha sido liberado) se obtiene una curva como la de la Figura 7.3c, lo que significa que el chocolate no va a solidificar correctamente. Aquí se está eliminado principalmente el calor específico. El calor latente se libera lentamente y en el caso del chocolate sin cristalizar será menor, ya que se formarán más cristales inestables con un menor estado energético.

Las temperaturas a las que tiene lugar la inflexión de las curvas, los puntos marcados con I en las Figuras 7.3 a y b, también son muy importantes. Cuanto mayor sea la temperatura, la cristalización es más madura y mayor será la temperatura a la que el chocolate podrá emplearse para moldeado o bañado.

## MOLDEADO

### Tabletas sólidas

Este es el método más sencillo de darle forma al chocolate y es el que se utiliza para hacer las tabletas sencillas. Durante muchos años se utilizaron moldes de metal, pero eran pesados, ruidosos y bastante caros. Este último aspecto es muy importante si una línea de moldeado puede tener hasta 1.500 moldes, los cuales deben sustituirse cuando el departamento de marketing modifica el peso o la forma de un producto. Actualmente muchos de los moldes están hechos de plástico, que es más ligero y hace menos ruido. También tienen la ventaja de que pueden agitarse lateralmente, lo que ayuda a la retirada de la barra sólida cuando se pega el chocolate al molde.

Si el chocolate atemperado entra en contacto con una superficie caliente, los cristales del chocolate se empiezan a fundir, por lo que no habrá los suficientes para que solidifique adecuadamente. Por otro lado, el contacto con una superficie fría puede originar que parte de la grasa solidifique en una forma incorrecta. Esta grasa actuará como un cristal sembrado con la forma incorrecta, durante la etapa posterior de enfriamiento. Por consiguiente es importante que los moldes vacíos se precalienten a una temperatura de unos pocos grados por debajo de la del chocolate atemperado antes de empezar el proceso de moldeado.

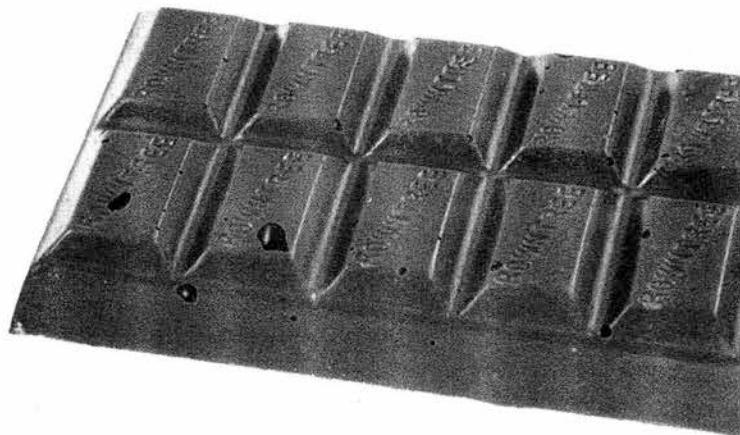
El chocolate se distribuye al molde mediante una cabeza de depósito. Ésta contiene un número de boquillas igual al número de huecos en los moldes. Una línea de tabletas de 1 metro de ancho, puede tener entre 10-20 boquillas. Los moldes son transportados por debajo del sistema de depósito (la Figura 7.4 muestra un diseño típico). Las cadenas, u otros mecanismos de transporte, a veces elevan los moldes hasta que estén justo debajo de las boquillas. Entonces cae un chorro de chocolate líquido por los huecos de los moldes, según los moldes se van desplazando y el chocolate sigue saliendo de las boquillas. Estos sistemas de depósito están diseñados de modo que vaya el peso exacto a cada sector del molde. Tan pronto como ha



**Figura 7.4** Diagrama de un sistema de depósito de tipo pistón para depositar una cantidad determinada de chocolate en un molde.

sido depositado, el molde vuelve a su altura anterior. Con esto se rompen los hilos de chocolate que podían quedar unidos a la boquilla.

Luego es necesario que el chocolate se extienda de forma uniforme por todo el molde y debe eliminarse cualquier burbuja de aire para evitar defectos del tipo del mostrado en la Figura 7.5. Esto se hace mediante una vibración vigorosa del molde o tableteo. En el Capítulo 6 se dijo que el chocolate era un fluido no newtoniano ya



**Figura 7.5** Fotografía de orificios en el chocolate causados por burbujas de aire.

que tiene un umbral de fluencia. Esto significa que debe aplicarse una energía para que empiece a fluir. Este umbral de fluencia también tiende a evitar que las burbujas salgan hacia fuera. Sin embargo, siempre que el sistema de agitación tenga la correcta frecuencia y amplitud, puede convertir el líquido no newtoniano en uno newtoniano y por consiguiente hacer que las burbujas salgan más fácilmente.

Cuando el chocolate líquido se encuentra en reposo, las partículas están prácticamente en contacto unas con otras de modo que es difícil que se muevan (Figura 7.6a). La vibración aporta la energía para separarlas, reduciendo, en consecuencia, su resistencia al movimiento y el umbral de fluencia. Cuando sube una burbuja, lo hace muy lentamente, de modo que necesitamos saber cual es la viscosidad a una baja cizalla/baja velocidad de flujo. La Figura 7.6b muestra una gráfica de la viscosidad aparente a una velocidad de flujo baja, frente a la frecuencia de la vibración para tres amplitudes diferentes.<sup>2</sup> Ésta muestra que debemos hacer vibrar este chocolate en concreto a más de 10 ciclos por segundo y con una amplitud de al menos 0,2 mm. Si hacemos esto, cuando se le haga vibrar a 30 ciclos por segundo el chocolate tendrá una viscosidad de una séptima parte de la que tiene cuando no vibra. Las velocidades de vibración bajas hacen muy poco, de modo que el fabricante está desperdiando su dinero en la instalación de sistemas de vibración y también en la energía que gastan. Las velocidades de vibración mucho más elevadas no mejoran su eficacia. Esta mayor fluidez del chocolate obtenida mediante la vibración sólo tiene lugar cuando el vibrador está encendido y se para tan pronto como el molde lo abandona.

### Coquillas de chocolate

Muchos productos de confitería moldeados contienen un centro que contrasta con el chocolate en términos de sabor o textura, por ejemplo, caramelo, fondant o pralinés. Otros, como los huevos de Pascua de chocolate, son cubiertas huecas. Ambos pueden fabricarse en líneas de moldeado con coquilla. La Figura 7.7 muestra un diagrama esquemático de los procesos que tienen lugar.

La primera parte del proceso es la misma que la de la fabricación de tabletas sólidas. Sin embargo, en lugar de dejar que el chocolate solidifique por completo, los moldes se introducen por túneles de enfriamiento cortos, que sólo producen una solidificación del exterior. Luego se gira el molde boca arriba y se somete a vibración. Inicialmente el chocolate se solidifica cerca de la pared del molde, pero aún debe de estar líquido en el centro. La parte líquida se escurre cuando se invierte el molde, dejando la corteza o coquilla externa.

Hay varios aspectos críticos en este procedimiento. En primer lugar, la viscosidad del chocolate debe ser la correcta, en concreto el umbral de fluencia. Si no es el correcto, por ejemplo es demasiado alto, no saldrá nada de chocolate. Si es demasiado bajo, puede salir demasiado y la coquilla quedar demasiado fina. Las viscosidades incorrectas también conducen a un grosor no uniforme de la cubierta. Las secciones

peratura se controla en cada uno de los grupos de placas, llamados zonas. Muchas máquinas tienen tres o cuatro zonas aunque son posibles muchas más.

La primera zona enfriá el chocolate hasta la temperatura en la que se empiezan a formar los cristales. La segunda zona la baja mucho más, de modo que se hallen presentes la forma IV y la V y en esta zona se somete al chocolate a una cizalla elevada. En la etapa final se sube la temperatura a alrededor de 30°C lo que funde muchos de los cristales inestables.

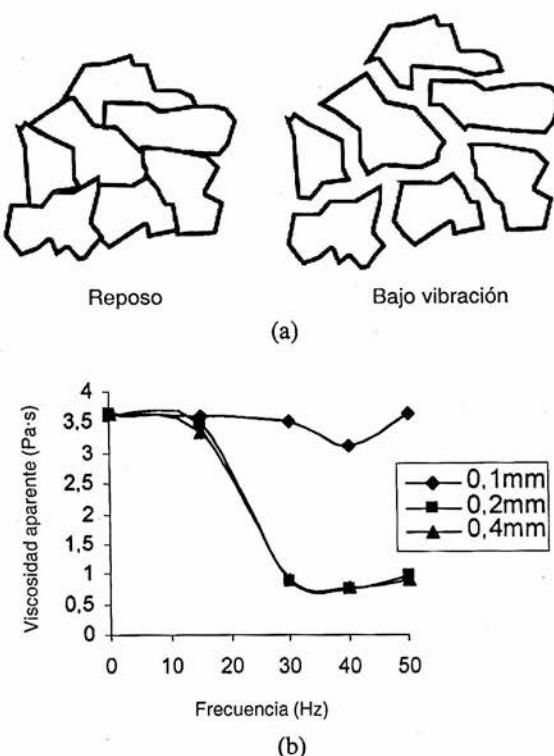
La viscosidad del chocolate, como la de muchas otras sustancias, disminuye al aumentar la temperatura. Cuanto más fluido sea el chocolate con más facilidad fluirá dentro del molde o alrededor del dulce. En consecuencia es mejor procesar el chocolate a la temperatura más alta posible, sin que se fundan los cristales ya sembrados. Cuando están recién formados, los cristales son pequeños y funden con facilidad. Si se agita el chocolate y se calienta lentamente, estos cristales se vuelven más estables y tienen un punto de fusión más alto. Es por este motivo por el que algunos atemperadores tienen una fase adicional en la que el chocolate se somete a una agitación más lenta y se permite que los cristales «maduren».

### Medición del atemperado

Cuando el chocolate sale del atemperador, es importante para el fabricante de chocolates el estar seguro de que hay los cristales suficientes del tipo adecuado para hacer que el chocolate solidifique correctamente. En el laboratorio, es posible utilizar los rayos X para determinar exactamente el tipo de cristales presentes. Esto no es sólo muy caro y lento, sino que a menudo hay que eliminar primero el azúcar ya que sus picos dominarían el espectro. Esto significa que la muestra ha cambiado en el momento en el que se realiza la medida, lo que convierte en totalmente impráctico un proceso industrial.

La calorimetría diferencial de barrido (DSC, véase el Capítulo 8) puede proporcionar una gran cantidad de información sobre el tipo de cristales presentes en el chocolate, pero requiere de una muy cuidadosa preparación de la muestra. Estos equipos pueden emplearse para trabajos de investigación, pero es demasiado caro y complicado para un control de calidad rutinario.

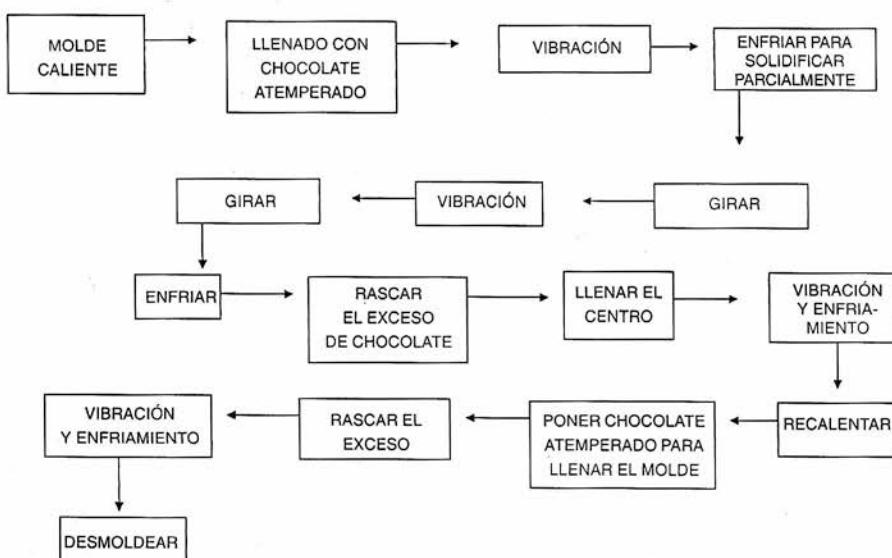
En el Capítulo 6, en la sección relativa al contenido en grasa sólida, se señaló que algunas grasas a veces proporcionan un efecto refrescante en la boca debido a que la energía necesaria para fundirlas –el calor latente– era mucho mayor que la energía necesaria para cambiar su temperatura en 1°C; el calor específico. Esto también es válido para la solidificación del chocolate, excepto que, cuando la grasa pasa de estado líquido a sólido el calor latente se libera, en lugar de tomarse del medio, como ocurre en la boca. El fabricante puede utilizar este fenómeno para determinar si el chocolate se ha atemperado correctamente, mediante la determinación de la curva de enfriamiento.



**Figura 7.6** (a) Ilustración del efecto de la vibración sobre las partículas sólidas en una suspensión; (b) efecto de la frecuencia de vibración, a tres amplitudes diferentes, sobre la viscosidad aparente de un chocolate con leche.

delgadas pueden permitir que en el producto final haya fugas del material del centro (véase la Figura 4.3), o que se rompan con mucha facilidad en el caso de los huevos de Pascua de chocolate. En segundo lugar, el enfriamiento debe de ser el correcto y debe de ser lo suficientemente prolongado para dejar que se forme la coquilla, pero no tan largo como para que la mayor parte del chocolate solidifique o para que tenga lugar la contracción y salga también la coquilla. Al igual que para la retirada de las burbujas de las tabletas sólidas, la frecuencia y la amplitud de la agitación deben de ser las correctas con el fin de obtener un buen control de peso de las coquillas.

Una vez ha escurrido el chocolate del centro, los moldes se vuelven a girar de modo que la coquilla de chocolate pueda ser rellenada. En el caso de los productos huecos, los moldes son enfriados, de modo que el chocolate solidifique por completo y se contraiga. Luego el molde puede volver a girarse y la coquilla cae en una cinta transportadora ya lista para su envasado. Obtener todas las medias coquillas del mismo peso para los huevos de chocolate no es fácil, de modo que se han cons-



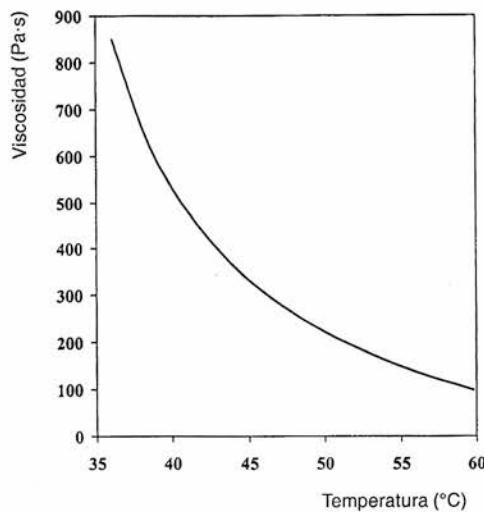
**Figura 7.7** Diagrama esquemático de los procesos que tienen lugar en la línea de producción de moldeado de chocolate con coquilla.

truido algunas líneas en las que se pesa y se dividen las cubiertas en tres tipos, pesadas, medias y ligeras. Luego se empaquetan bien dos mitades de tamaño medio, o bien una pesada con una ligera.

Hay otros modos de fabricar huevos y figuras huecas. Entre éstas se incluye los moldes en libro o moldes plegables y la centrifugación de cuerpos huecos (*spinning*). En la primera técnica se unen dos moldes con unas bisagras y se lleva a cabo el procedimiento de moldeado de un modo normal. Luego se funden los bordes y se cierran la bisagras como un libro para que se unan las dos partes.

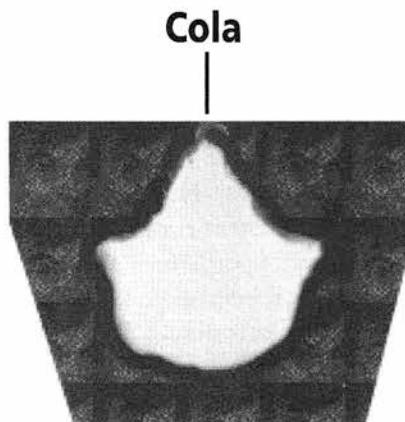
Para la centrifugación de cuerpos huecos, las dos mitades del molde se sujetan juntas y se introduce una cantidad determinada de chocolate amargado. Luego se pone el molde en un brazo giratorio, que gira y rota de modo que el interior está siendo recubierto de modo uniforme con el chocolate que está solidificando. Una vez se ha endurecido lo suficiente, se abre el molde y se saca la figura hueca.

Cuando se rellena la coquilla, es importante que el material del centro no funda el chocolate. Esto es relativamente fácil para los fondants o los rellenos con base grasa como los pralinés, que pueden ser relativamente fluidos alrededor de los 30°C. Normalmente con el caramelo esto es mucho más difícil. Aquí la viscosidad cambia muy rápidamente con la temperatura (véase a modo de ejemplo, la Figura 7.8). Es necesario que el caramelo rellene la coquilla dejando un borde plano, ya que cualquier arista prominente o «cola» podría penetrar en la base de chocolate (véase Figura 7.9).

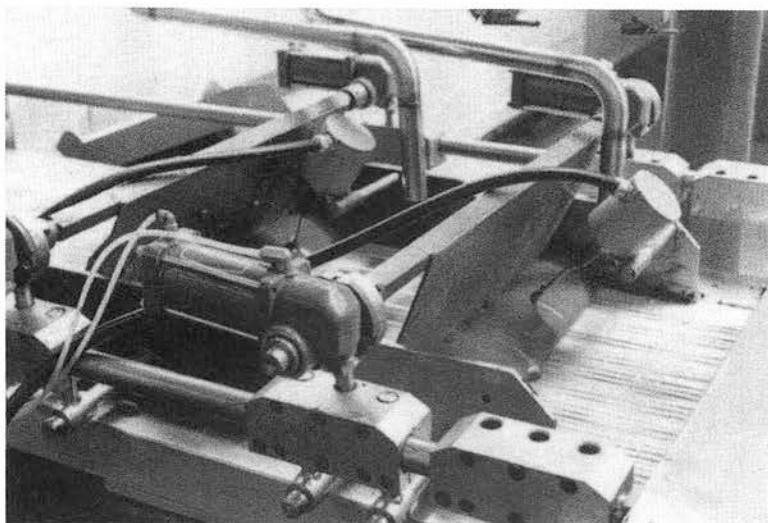


**Figura 7.8** Cambio en la viscosidad del caramelo con la temperatura.

Normalmente el chocolate actúa como barrera frente a la humedad, evitando que el centro se seque (o que capte agua en el caso de centros como el barquillo), pero estas colas suponen una vía para la transferencia de humedad, lo que acortará la vida útil del producto. Además, cualquier adhesividad del exterior podría ocasionar problemas mientras se envuelve. Esto significa que el caramelo debe añadirse lo más caliente posible, para hacer que el flujo sea lo más fácil posible, pero no tan caliente como para fundir la capa de chocolate.



**Figura 7.9** Ilustración de una «cola» de caramelo en un dulce con una cubierta de chocolate.



**Figura 7.10** Fotografía de una cuchilla rascadora utilizada para proporcionar un reverso uniforme en los dulces.

Una vez el relleno está en su lugar, debe ponerse una base de chocolate en la coquilla. A menudo esto se hace mediante una cuchilla rascadora que realiza presión sobre el molde, como se muestra en la Figura 7.10. Se vierte chocolate atemperado en los moldes en frente de la cuchilla formándose un rodillo giratorio en frente de ella. Éste llena cualquier mella o agujero que quede, mientras la cuchilla elimina el exceso de chocolate.

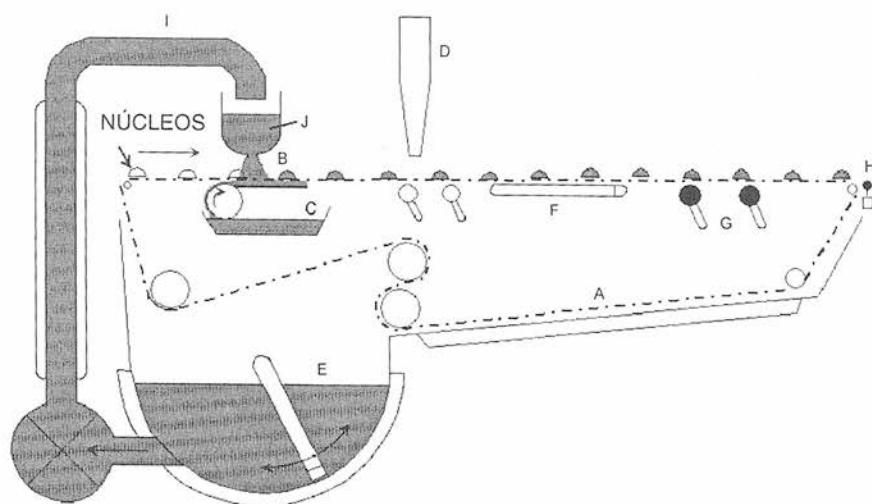
Luego se enfrián los moldes en un túnel de enfriamiento, para solidificar por completo la coquilla y la base, antes de que se giren de nuevo y los dulces caigan en una cinta que los llevará a la sala de envasado. Debido a que la grasa del exterior ha solidificado en contacto con la superficie del molde, es más suave y muy brillante. En cualquier caja de bombones surtidos, los obtenidos por moldeado son normalmente mucho más brillantes que los obtenidos por el en proceso de bañado.

## BAÑADORAS

En este caso el material del centro, sea nougat, galleta, fondant o caramelo, se fabrica primero de modo separado y luego se coloca en una cinta que lo llevará hacia la bañadora. El objetivo es conseguir que todas las superficies, incluyendo la base y los extremos, estén recubiertas uniformemente con chocolate. Ejemplos típicos son las barritas Mars, las barritas Lion y el Crunchie de Cadbury.



**Figura 7.11** Fotografía de unos núcleos de un dulce entrando a la «cascada» de chocolate en una bañadora.



**Figura 7.12** Diagrama esquemático de una bañadora.

Como para el moldeado, es necesario utilizar chocolate atemperado. La unidad de atemperado puede estar localizada en la línea de la bañadora o bien situada en un lugar próximo, transfiriendo el chocolate a través de tuberías calefactadas mediante una camisa.

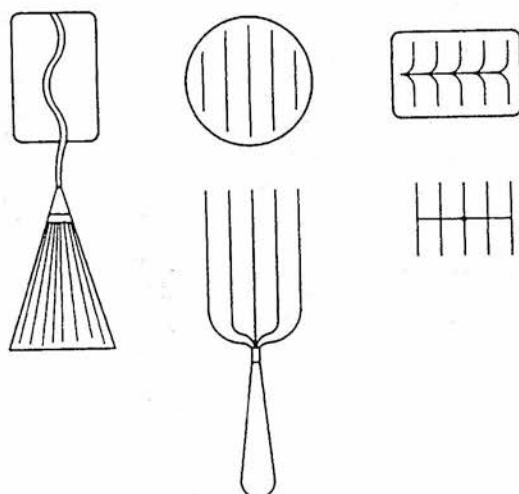
La Figura 7.11 muestra el sistema típico de una bañadora. Los centros se colocan en una cinta de malla de alambre en continuo movimiento (A) como la reflejada en la Figura 7.12 , que los transporta por debajo de la «cascada» de chocolate (B). Justo debajo de la cinta en ese lugar hay un colector inferior (C). Este retiene el chocolate que cae a través de la malla y lo recircula, mediante un rodillo sobre la placa que está justo debajo de él. El chocolate se mueve junto con los centros y los empuja ligeramente, formando una capa de chocolate por la parte inferior. A veces hay dos «cascadas» en una única bañadora, pero en otras ocasiones se usan dos bañadoras, una tras la otra. Esto resulta particularmente útil cuando el producto tiene una superficie irregular, por ejemplo *crispies* que sobresalgan. El primer recubrimiento tendrá un bajo umbral de fluencia, de modo que penetre por todos los recovecos y proporcione al producto una buena barrera frente a la humedad. El segundo debe tener un mayor umbral de fluencia, de modo que el chocolate se «quede firme» dándole al producto una apariencia más rugosa.

Una vez se ha vertido el chocolate sobre los núcleos, es necesario asegurarnos de que cada uno de ellos tenga el peso y la apariencia correctos. Esto se realiza mediante una serie de aparatos, cuyo grado de control puede ser modificado en función del producto que se vaya a elaborar.

El primero es un chorro de aire caliente (D) que funde el exceso de chocolate de la parte superior y de los lados del producto de modo que éste pasa a través de la malla de nuevo hacia el depósito principal de la bañadora (E). Éste tiende a dejar una superficie rugosa y ondulada, especialmente si el chocolate tiene un elevado umbral de fluencia. Luego los agitadores vibradores (F) le dan un aspecto más suave y eliminan algo más de chocolate. Como se describió anteriormente, estos deben trabajar a la amplitud y frecuencia correctas para superar el umbral de fluencia.

La siguiente parte se ocupa de la base. Anteriormente se aplicó chocolate mediante el colector inferior, pero ahora éste puede ser demasiado espeso, o incluso presentar un aspecto irregular y tener áreas sin cubrir. Esto se soluciona con unos rodillos «lamedores» (G). Dependiendo del diseño de la máquina, estos varían normalmente en número de uno a tres y pueden trabajar a diferentes velocidades y distancias de la cinta de malla. Esto permite añadir o quitar chocolate de la base. Cualquier resto de chocolate en los rodillos es rascado por una cuchilla y vuelve de nuevo al depósito principal.

La siguiente sección de la cinta puede utilizarse para decorar la parte superior de los dulces. Durante muchos años esto se ha hecho a mano, utilizando horquillas del tipo de las que aparecen en la Figura 7.13. Ahora la mayoría de los productos se decoran mediante un rodillo giratorio, que tan sólo toca la parte superior, o mediante boquillas móviles programables, que son capaces de realizar una amplia variedad de decoraciones en la parte superior, con el mismo chocolate, o incluso con un chocolate de un color diferente.



**Figura 7.13** Herramientas para el decorado a mano (Nelson<sup>3</sup>).

Finalmente, el producto pasa a otra cinta de plástico que atraviesa el túnel de enfriamiento. A menudo esta cinta tiene grabado en relieve el nombre del fabricante o la marca del producto. Como el chocolate aún está en estado semilíquido, la base se marca con esa inscripción. Este es otro modo, diferente al del brillo, de determinar si el producto ha sido moldeado o bañado, ya que un dulce bañado tendrá una inscripción detallada en la base con un marcado menos claro en la parte superior, mientras que los obtenidos por moldeado pueden tener marcas con un gran nivel de detalle en la parte superior y el los lados, mientras que la base es normalmente lisa.

Con frecuencia, esta cinta de plástico se mueve a una velocidad mayor que la de malla. Esto lleva a una separación en filas del producto, lo que lo hace más fácil de seleccionar para su envasado. Sin embargo, se produce un deslizamiento desde la cinta de malla lo que a menudo deja largas y finas colas de chocolate líquido detrás de los dulces (véase Figura 7.14). Cuando estas colas se mantienen pegadas, el producto es difícil de envasar y a menudo debe venderse como defectuoso. Con el fin de eliminarlas, se coloca un pequeño rodillo entre las dos cintas (H). Este gira a gran velocidad y retira las colas del producto. Con objeto de que funcione adecuadamente, debe de estar correctamente colocado. Si está demasiado bajo no tendrá ningún efecto, mientras que si está demasiado alto marcará la base de los productos.

### Mantenimiento del chocolate atemperado

El chocolate atemperado se encuentra en un estado muy inestable. La temperatura debe ser lo suficientemente baja para no fundir los cristales ya sembrados, lo que

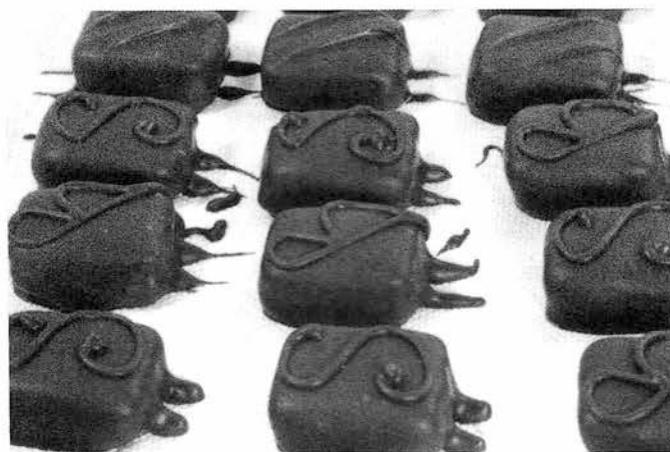


Figura 7.14 Bombones con «colas» en la cinta de un túnel de enfriamiento.

implicaría que se formarán otros cristales. Con el tiempo, el chocolate se volverá más espeso y tras un período muy prolongado solidificará. En la bañadora el chocolate atemperado entra en el depósito base (E en la Figura 7.12). Desde allí es bombeado hacia arriba por una tubería (I) a la bandeja de reparto (J). Este recipiente se encuentra de un lado a otro de la anchura de la cinta de malla y tiene una o dos aberturas en la parte inferior, que formarán la «cascada». Como se describió anteriormente, mucho de ese chocolate pasa a través de la cinta de malla por el soplado o la agitación o simplemente porque se vierte sobre una zona de la cinta en la que no hay ningún dulce. Con el tiempo el chocolate se volverá espeso y sobre-atemperado.

Al depósito base se le añade nuevo chocolate atemperado, para sustituir al que va saliendo, pero normalmente no es suficiente para detener la aparición de este espesamiento. Por consiguiente, con el fin de mantener unas condiciones estables, se va retirando continuamente parte del chocolate del depósito principal de la bañadora. Luego éste se calienta a una temperatura entre 40 y 50°C para eliminar todos los cristales de grasa y luego regresa a la entrada del atemperador.

## SOLIDIFICACIÓN DEL CHOCOLATE

Cuando el chocolate sale de la máquina de moldeado, la mayoría de la grasa se encuentra en estado líquido. Con el fin de que esté lo suficientemente firme para su manipulación y envasado, la mayoría de la grasa debe solidificar en la forma cristalina concreta. Esto requiere la retirada de una gran cantidad de calor latente y de una cantidad relativamente pequeña de calor específico. El chocolate probablemente ya estará a una temperatura varios grados por debajo de los 30°C y cuando se encuen-

tren listos para envasar deben de estar alrededor de la temperatura ambiente, una caída de menos de 10°C. El calor específico del chocolate es de unos  $1,6 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , de modo que deben retirarse unos 16 J de cada gramo de chocolate. Por otro lado, el calor latente es de  $45 \text{ J g}^{-1}$ , de modo que se eliminan 45 J por cada gramo, dando un total un poco mayor de 60 J para solidificar y enfriar esa cantidad de chocolate.

Hay tres modos por los que un cuerpo puede perder calor, estos son conducción, radiación y convección. En la conducción, el calor fluye directamente a través del material en contacto con el que está siendo enfriado. En este caso el chocolate sólo está en contacto con el molde de plástico o con la cinta. Ambos son muy malos conductores del calor, de modo que puede escapar muy poca energía por este método, aunque una superficie fría por debajo de la cinta ayuda a cristalizar a los productos planos y delgados. La transferencia de calor por radiación tiene lugar a una velocidad determinada por la cuarta potencia de la diferencia de temperatura entre el objeto que se enfriá y su entorno ( $\Delta T^4$ ). En este caso el dulce está alrededor de 25°C. Si asumimos que su entorno se encuentra a 0°C, lo que, como se mostrará después, es más bajo de lo que sería deseable, el calor que se transferiría a este sistema absorbente a baja temperatura sería de  $126 \text{ W m}^{-2}$ .

El tercer método es de hacer circular aire frío sobre el producto. Parte del calor es liberado a este aire, el cual se aleja y se reenfría. Si el aire es enfriado a 0°C y se sopla sobre el producto a  $240 \text{ m min}^{-1}$ , el calor puede transferirse a  $630 \text{ W m}^{-2}$ , que es 5 veces más rápido que por radiación (Nelson<sup>3</sup>).

Sin embargo, las bajas temperaturas pueden dar lugar a la aparición de dos problemas. En primer lugar puede provocar que la grasa solidifique en una forma cristalina incorrecta. Esto causaría que el producto desarrolle un fat bloom rápidamente y que el chocolate no se contrajese adecuadamente, por lo que se vuelva difícil de desmoldear. En segundo lugar, la humedad del aire podría condensar en las superficies frías y luego gotear sobre el chocolate. Este agua disolverá parte del azúcar del chocolate. Cuando el chocolate se recaliente para el envasado, el agua se volvería a evaporar, dejando una superficie con un polvo blanquecino. Este presenta el aspecto de un fat bloom, pero en realidad es azúcar, por lo que se le llama *sugar bloom* (eflorescencia de azúcar). Si es posible hay que mantener la temperatura del entorno del túnel por encima del punto de rocío, es decir, la temperatura a la cual la humedad del aire empieza a condensar.

### Túneles de enfriamiento

Muchos de los túneles de enfriamiento son tan sólo largos túneles, con ventiladores y sistemas de refrigeración colocados a intervalos, de modo que pueden dividirse en zonas de diferentes temperaturas. En la Figura 7.15 se muestra un diagrama de una sección transversal en esa localización.

El enfriamiento inicial, en concreto para productos bañados, es bastante suave. A continuación va la parte más fría, que corresponde con la posición en la que se libera la mayor parte del calor latente. Normalmente está alrededor de los 13°C, pero es

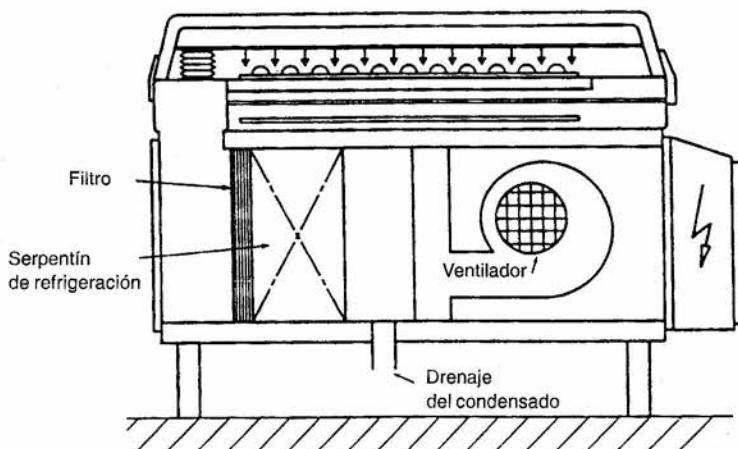


Figura 7.15 Sección transversal de túnel de enfriamiento Gainsborough (Nelson<sup>3</sup>).

possible emplear temperaturas más bajas a condición de que el aire se mueva lo suficientemente rápido como para prevenir cualquier condensación. Luego se sube ligeramente la temperatura antes de que el producto entre en la sala de envasado. Esto se debe a que, si la superficie del producto se encontrase a una temperatura más baja que el punto de rocio en esa sala, la humedad condensaría sobre el chocolate originando manchas o quizás un sugar bloom.

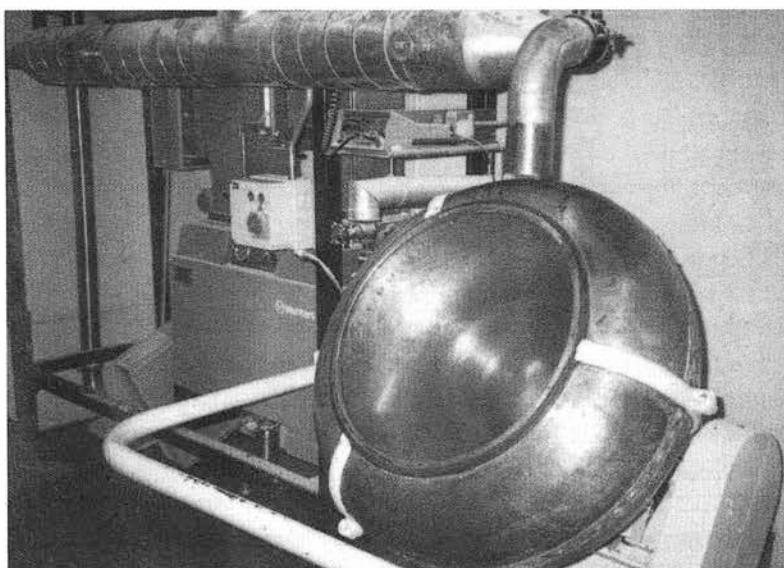
Allí donde el espacio está limitado, y especialmente para los productos moldeados, se emplean sistemas de enfriamiento multipiso. Aquí el producto va hacia atrás y hacia delante a través de zonas con diferentes temperaturas. En consecuencia, un enfriador con tres pisos proporciona un tiempo de enfriamiento de seis veces el de un túnel de enfriamiento de longitud equivalente.

El principal problema de este sistema multipiso es que el producto debe mantenerse horizontal mientras se eleva desde un nivel al siguiente. A veces esto se consigue mediante un sistema continuo accionado por cadenas, que sujetan los moldes o las bandejas de plástico sobre las cuales se colocan los productos bañados.

El tiempo que lleva que un producto solidifique depende no sólo de la cantidad de cristales ya presentes en el chocolate, sino también de su tipo y cantidad. Naturalmente a un gran bloque de chocolate le va a llevar más tiempo que a los pequeños trocitos que se fabrican para las galletas. Sin embargo, normalmente lleva entre 10 y 20 minutos obtener un producto de buena calidad.

## GRAGEADO

Este proceso es utilizado para fabricar los pequeños artículos de chocolate que a menudo se venden en tubos o bolsas. Éstos pueden dividirse en dos tipos, los pro-

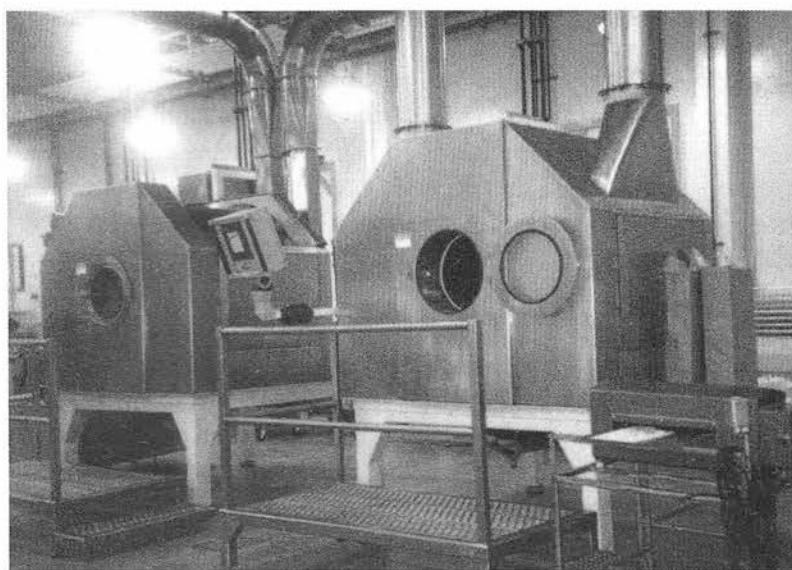


**Figura 7.16** Fotografía de un bombo abierto para el grageado con chocolate o azúcar.

ductos recubiertos de chocolate, que normalmente contienen un fruto seco o una fruta deshidratada en el núcleo y los núcleos de chocolate recubiertos con azúcar como los Smarties y los M & Ms. Ambos pueden fabricarse utilizando bombos giratorios abiertos (Figura 7.16) a menudo fabricados en cobre y en los que se hace circular un aire con temperatura y humedad controlados a través de unos tubos. Con frecuencia éstos han sido sustituidos por grandes bombos giratorios de escala industrial (Figura 7.17), que parecen lavadoras muy grandes y que pueden alojar más de 2 toneladas de producto a la vez. Éstas también tienen aire con temperatura y humedad controladas y los dispositivos para pulverizar los ingredientes líquidos en los núcleos que están siendo volteados en el interior del bombo.

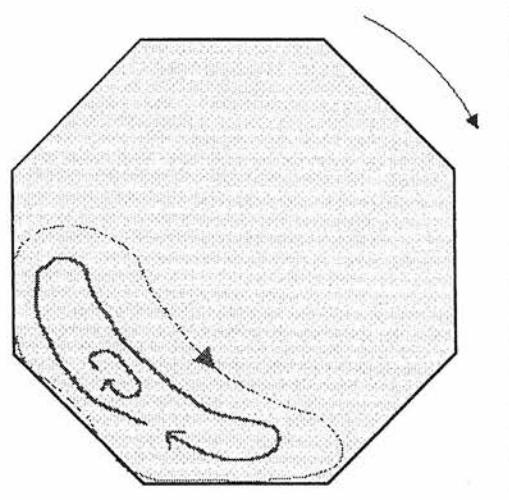
#### **Recubrimiento con chocolate<sup>4</sup>**

Para este tipo de producto, es importante el invertir algo de tiempo en seleccionar unos buenos núcleos para ser recubiertos con chocolate. Es mejor si todos son de un tamaño similar. Como los núcleos dan vueltas unos sobre otros en el bombo giratorio (Figura 7.18) tiene lugar una segregación posterior, en la que los más grandes ocupan ciertas áreas y los más pequeños otras áreas en las que tienen una menor probabilidad de ser cubiertos con el chocolate. Esto significa que al final del proceso hay incluso una distribución más amplia de tamaños (véase Experimento 2, Capítulo 10).

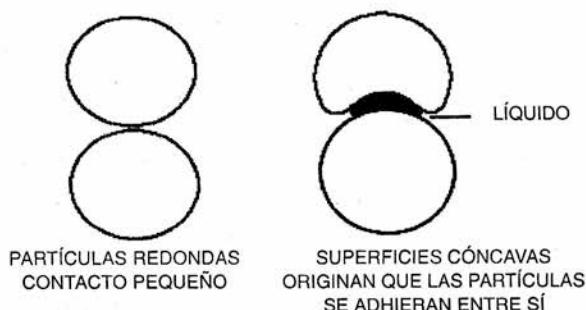


**Figura 7.17** Fotografía de los bombos giratorios utilizados para el grageado con chocolate o azúcar.

La forma también es importante. Si es posible deben evitarse los extremos con aristas ya que son difíciles de cubrir y con frecuencia transparentarán a través del chocolate. Las formas ligeramente convexas también son mejores que las cóncavas. Como se muestra en la Figura 7.19, las convexas sólo puede tocarse en un único



**Figura 7.18** Ilustración del movimiento rotacional durante el grageado.



**Figura 7.19** Ilustración del efecto de la curvatura de las superficies en la formación de aglomerados durante el grageado.

punto de modo que son fácilmente separadas por la acción del volteo. Por otro lado, el chocolate líquido puede entrar en las superficies cóncavas y formar una capa adherente que se unirá a una partícula próxima. Esto tiene como resultado la aparición de una gran cantidad de piezas dobles o múltiples.

La temperatura del núcleo también es importante. Los núcleos más fríos facilitarán que el chocolate solidifique rápidamente, pero una temperatura demasiado baja podría causar una falta de uniformidad y el que se fracturase en la última etapa. Además, el tamaño del núcleo cambiará con la temperatura de acuerdo con su coeficiente de expansión cúbica (o volumétrica) ( $\gamma$ ). Esto puede ser expresado por la ecuación:

$$V_t = V_0 (1 + \gamma t) \quad (7.1)$$

donde  $V_t$  = volumen a la temperatura  $t$  y  $V_0$  = volumen a  $0^\circ\text{C}$ .

Por consiguiente el coeficiente es el aumento en el volumen cuando  $1\text{ cm}^3$  de la sustancia sube su temperatura en  $1^\circ\text{C}$ . Éste es distinto para las diferentes sustancias y puede ser mucho más elevado para algunos centros que para el chocolate de alrededor. Esto significa que los centros deben recubrirse, almacenarse y venderse a una temperatura relativamente constante, de otro modo el centro se expandirá y romperá la cubierta externa, que es incapaz de expandirse en el mismo grado. Esto se muestra en el Experimento 17 del Capítulo 10.

Muchos centros necesitan un alisamiento antes de ser recubiertos con chocolate,\* mientras que otros necesitan que se ponga por encima una capa protectora, de modo que el aceite que contienen no migre al chocolate originando un fat bloom.

\* N. del T.: Al recubrimiento de los núcleos con este tipo de sustancias antes de añadir el chocolate se le denomina «montado».

Otros son frágiles y, bajo el peso de otros núcleos, se romperían o deformarían, por ejemplo, las pasas sufren cambios en su forma, de modo que se rompe el chocolate. Todos necesitan un tratamiento previo con azúcares (sacarosa y glucosa) junto con almidón, gelatina o goma arábiga.

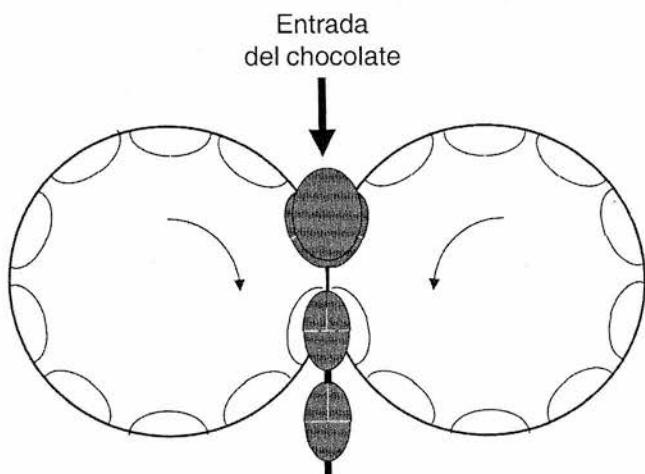
Luego el chocolate se pulveriza sobre los núcleos según se van volteando unos sobre otros en el bombo. Esta acción va alisando toda la superficie. La elevada cizalla y las bajas temperaturas cristalizan la grasa, pudiéndose utilizar chocolate sin atemperar. La viscosidad es importante, en concreto el umbral de fluencia. Si éste es demasiado alto se originarían coberturas irregulares y se adheriría a las paredes del bombo. Un chocolate con un umbral de fluencia demasiado bajo no quedaría adherido a las superficies y dejaría zonas del núcleo sin recubrir.

Las primeras pocas capas de chocolate deben aplicarse muy cuidadosamente. Una vez se observa una capa uniforme sobre los núcleos, puede reducirse la temperatura para facilitar su solidificación. Luego se vuelve a calentar y se repite el proceso a menudo entre tres y cinco veces. Tras esta fase, las adiciones de chocolate y el enfriamiento pueden tener lugar a la vez. En realidad, el producto se calienta mediante el calor latente liberado por la solidificación de la grasa y mediante la fricción entre las piezas que van cayendo. Sin embargo, demasiado aire frío, produciría una solidificación del chocolate antes de que éste presentase un aspecto liso debido a la acción del volteo y se obtendría un producto de aspecto muy desigual e irregular.

Muchos de estos productos tienen una apariencia muy brillante. Se señaló previamente en este capítulo, que los productos moldeados tienen un aspecto más brillante que los bañados, debido a la solidificación de la grasa frente a una superficie plana. El brillo se debe al reflejo de la luz, como en un espejo, y no a que la luz sea absorbida por cualquier rasguño o mancha. De hecho, algunos productos moldeados parecen relativamente apagados debido a los rasguños recibidos durante los procedimientos de envuelta. Esto también sucedería en muchos de estos productos, si no fuese por la capa protectora que se utiliza para abrillantarlos o sellarlos. Un recubrimiento muy común se elabora con shellac, las secreciones resinosas refinadas del insecto *Laccifer lacca*. Ésta se diluye en alcohol y se pulveriza sobre el producto en el bombo, del mismo modo que el chocolate. Sin embargo, esta solución interaccionará con el chocolate dando un producto pobre a menos que se haya utilizado un montado con jarabe de azúcar, glucosa y coloides (goma arábiga, almidón, etc.).

### Grageado con azúcar

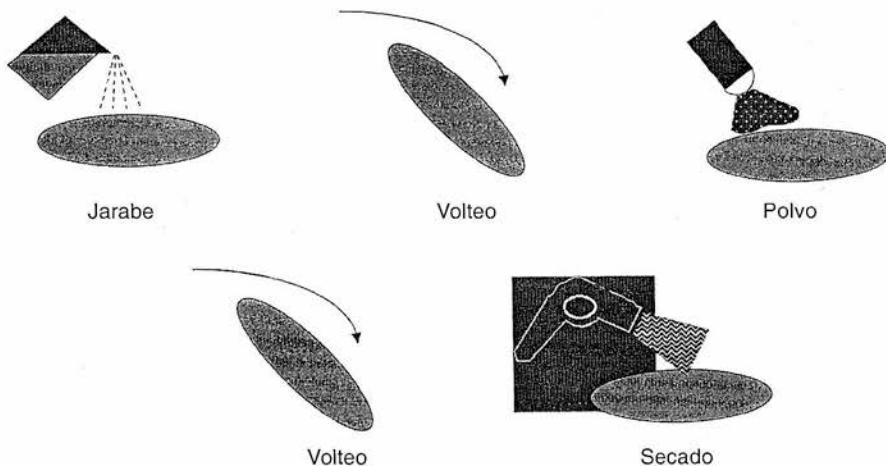
Este proceso se utiliza para recubrir el chocolate o núcleos parecidos con azúcar. Para el grageado con chocolate, se utiliza el control de la temperatura para endurecer la cubierta; en el caso del grageado con azúcar es la reducción de la humedad. Los recubrimientos se añaden en forma de disoluciones acuosas y se hace pasar aire seco sobre ellas de modo que se evapore el agua, dejando cristales muy finos.



**Figura 7.20** Método para formar núcleos de chocolate para ser grageados con azúcar.

Los núcleos pueden elaborarse haciendo entrar chocolate atemperado en el espacio entre dos rodillos refrigerados (ver Figura 7.20). Estos rodillos tienen indentaciones coincidentes, de modo que de entre ellos sale una fina lámina que contiene todos los núcleos. Se elimina el chocolate que queda entre los núcleos y se obtienen los núcleos solidificados listos para ser grageados.

El bombo es igual que para el del grageado con chocolate. Luego se va pulverizando la disolución de grageado. Hay dos tipos de grageado, estos son el grageado blando y el duro. En el primero (Figura 7.21) se aplica el líquido y se deja que cubra



**Figura 7.21** Representación del proceso de grageado blando.

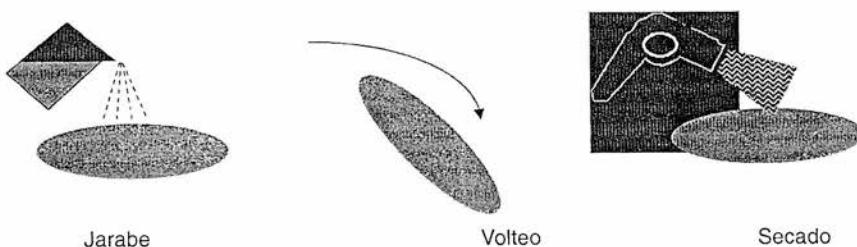


Figura 7.22 Representación del proceso de grageado duro.

la superficie antes de su secado mediante la adición de un material sólido absorbente, que con frecuencia es azúcar. Este tipo de grageado se usa a menudo para los productos tipo *jelly bean* y *sugar egg*.

El grageado duro (Figura 7.22), como el empleado en los Smarties y los M & Ms, presenta el azúcar disuelto en agua. Con el fin de minimizar el tiempo de secado, la concentración de la disolución usada es cercana a convertirse en una disolución saturada a la temperatura de empleo. La velocidad del grado de secado es importante con objeto de evitar las roturas y también para no atrapar humedad, que posteriormente migrará a la superficie originando manchas.

Pueden añadirse colorantes al azúcar y, con el fin de obtener una superficie brillante, puede aplicarse una capa externa de cera para conseguir una superficie más lisa.

## REFERENCIAS

1. R.B. Nelson, 'Tempering', in S.T. Beckett (ed.), 'Industrial Chocolate Manufacture and Use', 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.
2. M. Barigou, M. Morey and S.T. Beckett, 'Chocolate-The Shaking Truth', *International Food Ingredients*, 1998, 4, 16-18.
3. R.B. Nelson, 'Enrobers, Moulding Equipment and Coolers', in S.T. Beckett (ed.), 'Industrial Chocolate Manufacture and Use', 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.
4. M. Aebi, 'Chocolate Panning', in S.T. Beckett (ed.), 'Industrial Chocolate Manufacture and Use', 3rd Edition, Blackwell, Oxford, UK, 1999.

## ***Capítulo 8***

### **Técnicas analíticas**

En la industria de fabricación de chocolate se emplean una amplia variedad de técnicas analíticas. Este capítulo hace una revisión de las que tienen un uso más extendido y que son necesarias para controlar factores tales como el tamaño de partícula, la humedad, el contenido en grasa, la viscosidad, el flavor, la textura y la cristalización. Se intenta que se comprendan los fundamentos científicos que hay tras las propias técnicas, más que de describir un instrumento concreto.

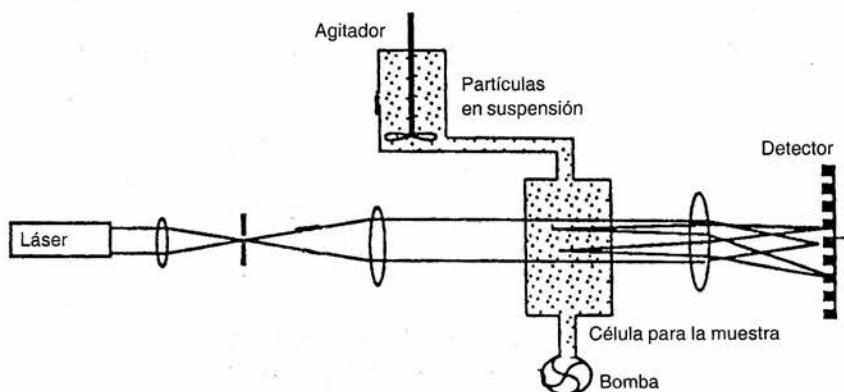
#### **DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS**

Para el fabricante de chocolates es importante tanto el tamaño de las partículas más grandes como el área de superficie (específica) total. Los instrumentos como los micrómetros y los microscopios ópticos pueden medir el diámetro de las partículas más grandes, mientras que la separación con tamices proporcionan el peso de materiales sólidos con un tamaño superior a uno determinado. Sin embargo, ninguno de estos dos métodos puede registrar el área de superficie de un determinado tamaño. Los microscopios ópticos pueden medir partículas tan pequeñas como 5 micras, pero por debajo de este nivel la difracción de la luz hace que las lecturas sean muy inciertas. (La difracción es la curvatura de una onda en movimiento alrededor del borde de un obstáculo, véase Figura 8.2). Pueden utilizarse dos tipos de instrumentos para medir las más pequeñas; éstos se basan en la conductividad eléctrica y en la dispersión de la luz láser, respectivamente.

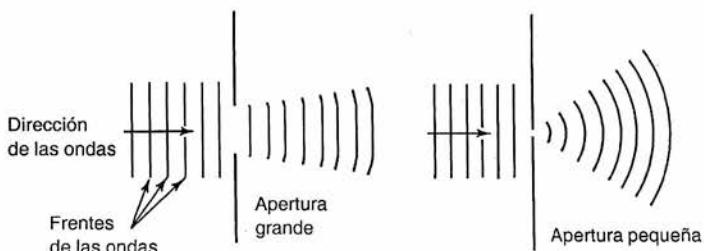
Ambos métodos se basan en dispersar los materiales sólidos no grasos en un líquido antes de llevar a cabo la medida, con el fin de separar las partículas individuales. En el chocolate estas partículas están empaquetadas con tal fuerza que estos

sistemas de medición serían incapaces de diferenciar entre las distintas partículas. Por supuesto, el líquido dispersante no debe tener ningún efecto sobre las mismas partículas. Esto significa que no debe contener agua, ya que de otro modo se disolvería el azúcar. Con mucha frecuencia se utiliza aceite o algún solvente orgánico como el tricloroetano. Se colocan unos pocos gramos de chocolate en el líquido dispersante. Con el fin de separar las partículas, es necesario algún tipo de mezcla vigorosa, pero no debe de ser tan intensa como para romper las partículas. Normalmente, la colocación de la mezcla en un baño de ultrasonidos de baja energía dispersa las partículas de forma satisfactoria.

El sistema eléctrico funciona mediante el paso de esta dispersión a través de un estrecho tubo con electrodos en cada lado. La conductividad eléctrica será diferente cuando haya una partícula presente que cuando sólo haya líquido en el tubo. Además esta conductividad dependerá del volumen y de la conductividad eléctrica de la partícula. Si se asume que el azúcar, el cacao y los sólidos procedentes de la leche tienen una conductividad eléctrica similar, entonces haciendo pasar a las partículas individualmente a través de los electrodos, es posible obtener una distribución del volumen. El tratamiento matemático asume que todas las partículas son esféricas, con el propósito de obtener un diámetro equivalente. Esto no es exacto, pero las medidas obtenidas son lo suficientemente precisas como para resultar muy útil para el fabricante de chocolates. Sin embargo, debido a que la distribución de las partículas por tamaño varía entre tamaños inferiores a la micra hasta las 70 micras y como la sensibilidad del electrodo depende del diámetro del tubo, a menudo es necesario que las determinaciones se realicen al menos con dos tubos de diferente tamaño. Esto hace que el procedimiento sea excesivamente lento y en gran medida este instrumento ha sido sustituido por aquellos basados en la dispersión de la luz láser.



**Figura 8.1** Diagrama esquemático del instrumento de determinación de la distribución del tamaño de las partículas basado en la dispersión de la luz láser.

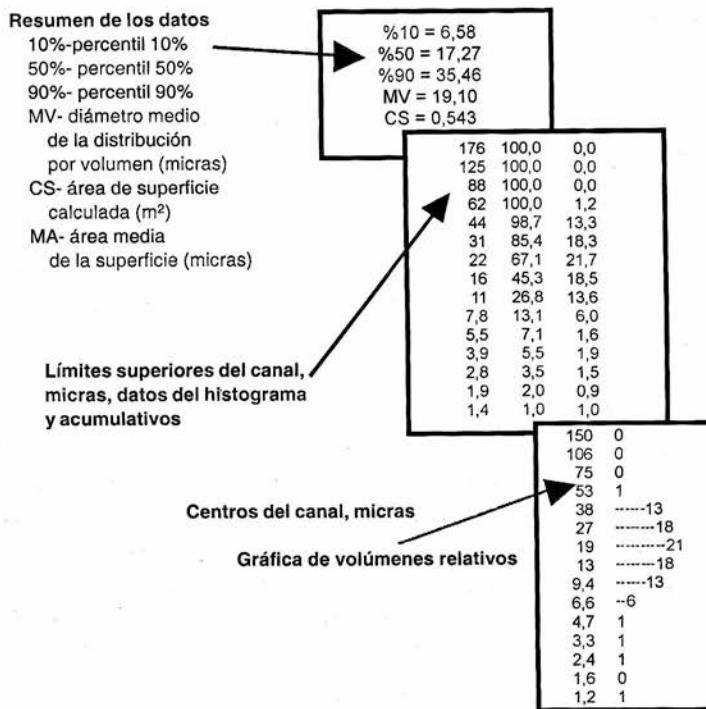


**Figura 8.2** Ilustración que muestra por qué se dispersa más luz con una apertura (o partícula) pequeña que con una grande (en ambos casos en relación a la longitud de onda de la luz).

La preparación de la muestra es la misma que la descrita anteriormente. Esta vez se hace circular la dispersión a través de una célula de muestra sobre la que se dirige un rayo láser (véase Figura 8.1). El haz de láser se expande hasta un diámetro entre 5 y 20 mm y luego es emitido a través de la suspensión. En este instrumento no se intenta medir las partículas individuales, tan sólo el patrón de dispersión de todas las partículas dispersas dentro del haz. Este patrón permanece estable incluso si todas las partículas dentro del haz se encuentran en movimiento. Sin embargo, las partículas individuales producen una difracción de la luz. La difracción es la curvatura de una onda en movimiento alrededor del borde de un obstáculo. Cuanto menor sea la apertura o la partícula comparada con la longitud de onda de la luz (para un láser helio neón, es de 0,63 micras) más se difracta (Figura 8.2). Luego, una lente refleja una combinación de los diferentes modelos de refracción y se recoge en una red de fotodiodos. Mediante la modificación de la distancia focal de esta lente, pueden monitorizarse diferentes rangos de tamaños de partículas. Los instrumentos habituales miden entre 0,5-90 micras con una lente, pero si se va a controlar productos semielaborados, por ejemplo pre-refinado, la distancia focal puede aumentarse para cambiar este rango a 1-175 micras.

Los patrones de difracción se comparan con los que esperaríamos asumiendo una combinación de la difracción de Fraunhofer para las partículas más grandes ( $\geq 40$  micras) y la dispersión de Mie para aquellas de un tamaño similar a la longitud de onda de la luz. Por supuesto, las partículas deben difractar/dispersar la luz de modo individual y no comportarse como aglomerados. Cuando la dispersión es demasiado concentrada, algunas de las partículas más pequeñas se juntarán dando la señal de una partícula grande. Esto significa que antes de tomar las medidas, debe ajustarse la concentración de la dispersión para obtener la señal correcta.

Una vez más se asume que las partículas son esféricas para el cálculo del volumen de las partículas dentro de determinados rangos de diámetro, curvas de distribución de las partículas por volumen, e incluso áreas de superficie específicas. La



**Figura 8.3** Informe impreso de los datos de distribución del tamaño de las partículas para un chocolate con leche determinados por un sistema de dispersión del láser.

Figura 8.3 muestra un informe de resultados típico de este tipo de instrumentos. Aunque está restringido a las partículas incluidas en su rango de detección, los datos normalizados se obtienen en unos pocos minutos y por consiguiente, esta técnica resulta muy útil para el control de calidad.

### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

El chocolate contiene aproximadamente un 30% de grasa, pero sólo un 1% de humedad. Aunque la humedad puede migrar fuera del chocolate, es un proceso muy lento, de modo que eliminar la humedad de trozos grandes llevaría mucho tiempo. Por consiguiente, con el fin de medir la humedad, el chocolate puede dispersarse en otro medio antes de desecarse o puede determinarse el agua mediante una reacción química, que determina la presencia de moléculas de agua.

Tradicionalmente, la humedad se ha determinado mezclando una cantidad conocida de chocolate con arena previamente desecada en un pequeño plato de metal,

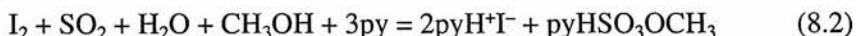
que se pesa. Luego se calientan los platos en una estufa durante un tiempo y una temperatura determinados. Puede ser a 98°C durante 12 horas o a una temperatura más baja durante un tiempo más corto pero aplicando vacío, antes de retirar los platos y volverlos a pesar. Muchos laboratorios tienen sus propios protocolos normalizados que normalmente son reproducibles dentro de ese laboratorio. Aunque la pérdida de peso no nos proporciona un valor absoluto de la humedad, ya que no necesariamente se elimina toda la humedad y sí una parte importante de otros materiales volátiles que contiene, es un buen indicador de la humedad «libre» del chocolate. Es esta agua «libre» el que tiene los efectos tan grandes sobre las propiedades de fluencia del chocolate.

Un método alternativo utiliza la reacción de Karl Fischer para determinar el agua «libre» y «ligada» del chocolate. Esta es la humedad que eliminamos por desecación en la estufa junto con el agua que forma parte del agua de cristalización, por ejemplo en el monohidrato de lactosa de la leche. Esta última forma de agua no juega un papel importante en los efectos sobre las propiedades de fluencia del chocolate por lo que realmente no es necesario medirla. En consecuencia esta técnica da normalmente valores más altos para los chocolates con leche que los obtenidos por desecado en estufa, pero tiene la ventaja de que normalmente es más reproducible cuando se utilizan sistemas de titulación automáticos.

La reacción de Karl Fischer depende de la reacción entre el dióxido de azufre, el yodo y el agua:



Esta reacción tiene lugar con suma facilidad en un solvente compuesto por metanol y piridina, según la ecuación:



Esta reacción puede desarrollarse en solventes distintos del metanol, pero la piridina siempre debe estar presente. La reacción global implica que una molécula de agua reacciona con una moléculas de yodo.

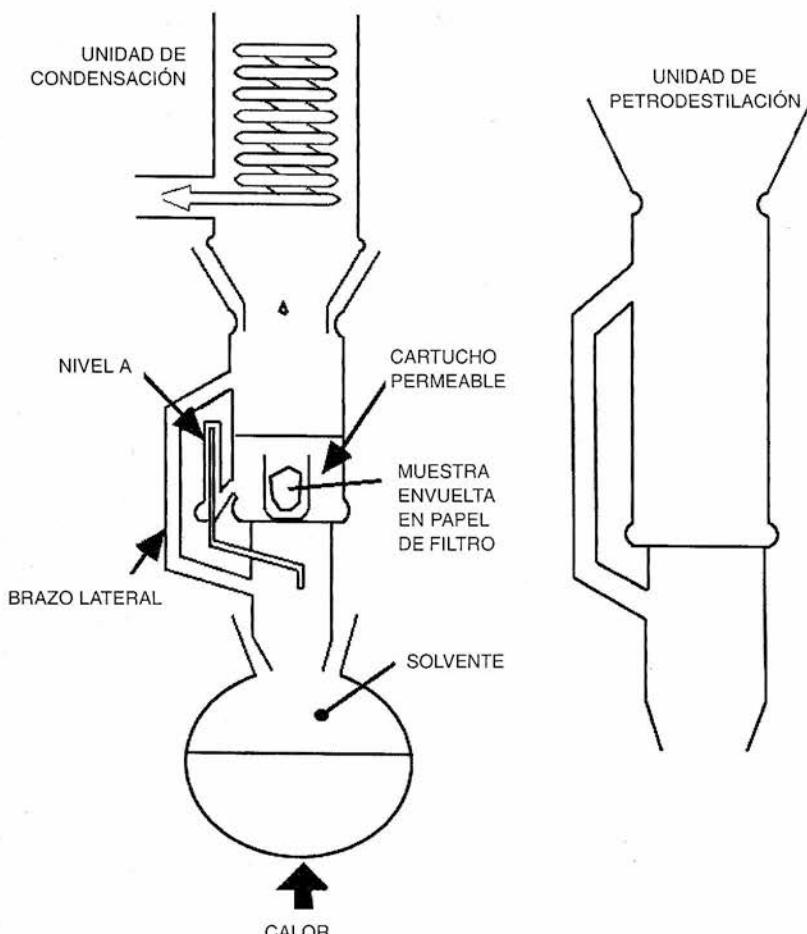
En los sistemas automáticos, una cantidad previamente pesada de chocolate se dispersa en una mezcla de formamida, cloroformo y metanol en el vaso de reacción. Luego se cierra herméticamente este vaso para impedir que entre más humedad proveniente del aire de alrededor. Posteriormente la muestra es medida de forma continua por dos electrodos de platino que están en el interior del vaso. Si hay algo de yodo libre, este depolarizará el cátodo, de modo que cesará el flujo de la corriente. Por consiguiente, la diferencia de potencial entre los electrodos es utilizada para controlar la titulación. Inicialmente el reactivo para Karl Fischer (que incluía la piridina) se añadía lentamente mediante una bomba peristáltica, que es capaz de

registrar con precisión la cantidad que pasa por ella. Cuando se completa la reacción, y no queda agua, cesa el flujo de la corriente. Entonces, el instrumento puede calcular el porcentaje de agua presente, en base al peso de la muestra y a la cantidad de reactivo empleado.

### DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN GRASA

- Los instrumentos basados en la reflexión de la radiación en el infrarrojo cercano a partir de una superficie de chocolate son capaces de proporcionar lecturas

**APARATO SOXHLET PARA LA EXTRACCIÓN DE GRASA**



**Figura 8.4** Diagrama de un aparato soxhlet para la extracción de grasa.

inmediatas en relación al contenido en grasa y humedad. Sin embargo, esta radiación se ve afectada por otros factores como el tamaño de partícula y la composición del chocolate, lo que implica que el instrumento necesite una recalibración para cada producto. La calibración para el contenido en grasa puede llevarse a cabo utilizando un método tradicional de soxhlet para determinar el contenido real de grasa.

El método soxhlet implica el uso de un solvente para extraer la grasa del chocolate. Luego se evapora el disolvente, quedando la grasa, que entonces puede pesarse. Este análisis puede llevarse a cabo en un sistema de vidrio, como el mostrado en la Figura 8.4.

Se trocea finamente en pequeños trozos una cantidad de chocolate y se pesa antes de envolverlo con un papel de filtro, que luego se coloca en el interior de un cartucho permeable. Posteriormente, se coloca el cartucho en la parte central del sistema de extracción, cuya parte superior está refrigerada mediante una camisa de agua. El solvente, normalmente éter de petróleo, se vierte en el recipiente de la parte inferior que está calefactado por una manta eléctrica. Cuando hierve, el vapor de éter sube a través del brazo lateral y condensa en la parte superior. Desde aquí cae en medio del cartucho, entrando en contacto con el chocolate y disolviendo la grasa. La disolución, que contiene la grasa, pasa a través del papel de filtro y del cartucho hasta que alcanzar el nivel A, que corresponde a la parte de arriba del sistema de sifón. Entonces es capaz de volver de nuevo al recipiente inferior. El material sólido del chocolate queda retenido dentro del papel de filtro y la grasa se va acumulando dentro del recipiente de la parte inferior, la manta está lo suficientemente caliente como para evaporar el éter pero no la grasa.

Una vez se ha extraído toda la grasa, habitualmente tras un período de 12 horas, se separa la parte superior del recipiente inferior. Se coloca una nueva sección en la parte superior, la unidad de petro-destilación, que recoge el éter de petróleo e impiéndole que gotee de nuevo hacia el frasco. De este modo la grasa se va quedando en el fondo del recipiente y se puede pesar. Todo el proceso debe llevarse a cabo en una campana de humos, teniendo un gran cuidado en asegurarse de que las conexiones eléctricas y otros objetos presentes no puedan producir chispas y provocar una explosión.

## DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD

### Técnicas simples para la fábrica

En el Capítulo 5 se mostró que el chocolate líquido es un fluido no newtoniano de modo que su viscosidad no puede ser definida por un único valor. De un modo simplificado puede describirse mediante la viscosidad plástica y el umbral de fluencia.

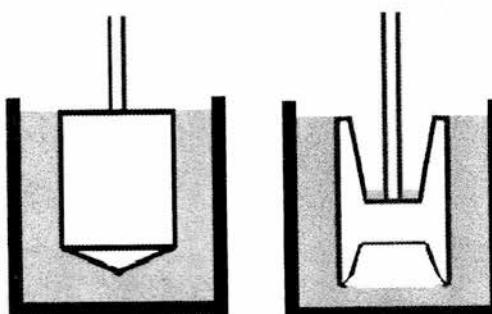


**Figura 8.5** Fotografía de viscosímetros de caída de bola y de copa.

Existen instrumentos simples que proporcionan medidas con un solo punto, dos de los cuales son los de caída de bola y de copa, mostrados en la Figura 8.5 y empleados en el Experimento 5 del Capítulo 10.

En el viscosímetro de caída de bola, hay un peso esférico unido a un alambre o a una varilla. En este último hay dos marcas. La bola se deja caer en un recipiente que contiene chocolate líquido, normalmente a una temperatura controlada de 40°C. Es muy importante el control preciso de la temperatura ya que una pequeña diferencia en la temperatura tiene un gran efecto sobre las propiedades de fluencia del chocolate. Se anota el tiempo necesario para que el trozo de varilla marcado por las dos señales sea cubierto por el chocolate y ésta se relaciona con la viscosidad. Normalmente se lleva a cabo esta medida varias veces, pero no se tiene en cuenta la primera lectura. Si se utiliza una esfera mayor, ésta caerá más rápidamente, de modo que se pueden tomar una serie de medidas utilizando diferentes tamaños y obtener una curva de flujo para ese chocolate. Sin embargo, la velocidad de caída es relativamente lenta para la mayoría de chocolates y las lecturas tienden a relacionarse más con el umbral de fluencia que con la viscosidad plástica.

Por otro lado, en el de copa, el chocolate se mueve mucho más rápidamente, de modo que los resultados obtenidos tienen una relación más próxima con la viscosidad plástica. Aquí se calienta el chocolate y la copa a la temperatura de medida (normalmente 40°C). La copa es mantenida en una balanza sobre la cual se coloca el contenedor de recepción. Se eleva la clavija y se registra el tiempo necesario para que una cantidad determinada de chocolate entre a este recipiente. Cuanto más fluido sea el chocolate, más rápido fluirá y menor será este tiempo.



**Figura 8.6** Dos tipos diferentes de cilindros para viscosímetros utilizados para medir la viscosidad del chocolate.

### El método estándar

Con objeto de medir la viscosidad en un amplio rango de gradientes de deformación (grados de flujo o mezclado) se utiliza un viscosímetro de cilindros coaxiales. Este consiste en un recipiente que contiene el chocolate y en un cilindro central. Normalmente, este cilindro tiene, o bien una base terminada en punta (DIN) o un hueco por debajo, que está lleno de aire cuando se emplea el viscosímetro (véase Figura 8.6). La razón de esto es que cuando gira el recipiente o el cilindro, el chocolate tratará de impedirlo. De hecho, se da la situación mostrada en la Figura 5.2, con dos áreas paralelas situadas a una distancia fija y moviéndose a diferentes velocidades. La viscosidad está relacionada directamente con la fuerza que el líquido desarrolla para detener este movimiento. En la base, la velocidad no es uniforme, siendo de cero en el centro y máxima en los extremos. Esto hace que el cálculo de la viscosidad sea muy complicado. En consecuencia se han desarrollado estos dos diseños de modo que casi todo el esfuerzo provenga de las áreas paralelas del cilindro y del recipiente y que prácticamente no venga nada de la base.

También es importante que el chocolate reciba un tratamiento uniforme dentro del espacio entre las dos superficies. Si el espacio es amplio y gira el cilindro, solo se ejerce una acción sobre el chocolate cercano al cilindro. El chocolate próximo a la pared del recipiente puede incluso no llegar a moverse (véase Figura 8.7). Para empeorar el asunto, la viscosidad del chocolate varía dependiendo de la velocidad con la que se mueve. Esto significa que incluso con un hueco estrecho entre el cilindro y el recipiente habrá un rango de viscosidades. Con el fin de obtener un flujo uniforme en todo el hueco, este debe ser estrecho y normalmente la relación entre el diámetro del cilindro en relación al del recipiente debe de ser  $\geq 0,85$ .

El chocolate debe estar libre de cristales de grasa antes de que se tomen las medidas. Para asegurarnos de esto, se calienta el chocolate hasta  $50^{\circ}\text{C}$  y luego se enfriá hasta  $40^{\circ}\text{C}$  justo antes de verterlo en el recipiente precalentado. Luego se introduce el cilindro y gira lentamente hasta que el chocolate adquiere una temperatura unifor-



**Figura 8.7** Flujo entre el recipiente y el cilindro en un viscosímetro de cilindros coaxiales.

me. Luego se aumenta la velocidad de giro, tomando a intervalos, medidas de la fuerza de retardo. También se anota la velocidad de giro, que puede transformarse en gradiente de deformación = velocidad relativa/distancia entre el cilindro y el recipiente). Se mantiene el viscosímetro a su máxima velocidad de agitación durante un período corto y luego se toman medidas en los mismos puntos cuando va disminuyendo la velocidad.

En algunos viscosímetros, en lugar de girar el cilindro, gira el recipiente, y se mide la fuerza sobre el cilindro. Para todos estos instrumentos la viscosidad aparente se puede obtener de:

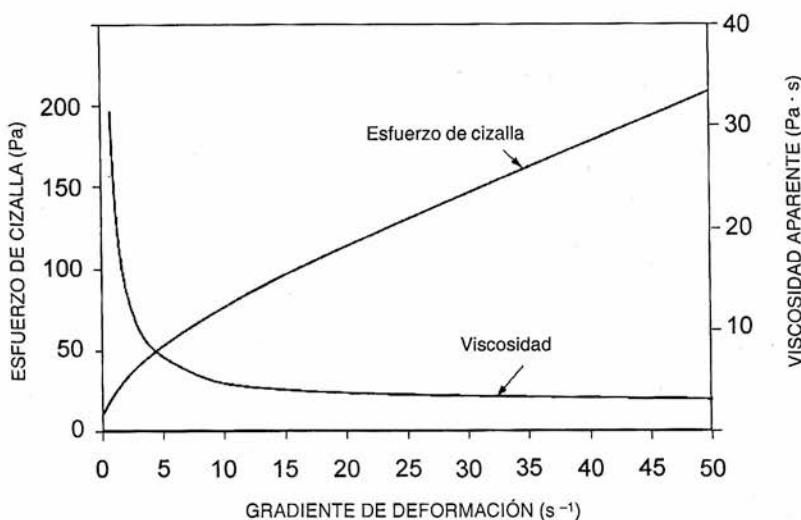
$$\text{Viscosidad aparente} = \text{esfuerzo medido}/\text{velocidad de cizalla} \quad (8.3)$$

El esfuerzo de cizalla o la viscosidad aparente pueden representarse frente al gradiente de deformación (Figura 8.8). Utilizando modelos matemáticos, por ejemplo el modelo de Casson, pueden extrapolarse estas gráficas para estimar que esfuerzo sería necesario para que comenzase a fluir el chocolate, es decir, la fuerza necesaria para que el chocolate empezase a moverse, que es el umbral de fluencia. La viscosidad aparente a altas velocidades de deformación también se corresponde bastante bien con la viscosidad plástica.

Con el fin de obtener resultados reproducibles, debe tenerse un gran cuidado con la preparación de la muestra, el control de la temperatura y asegurarse de que el viscosímetro esté calibrado correctamente.

## FLAVOR

El flavor y la textura sólo pueden determinarse mediante paneles de catadores entrenados. No hay un flavor que pueda ser considerado el correcto, como puede verse por la gran variedad de sabores «característicos de cada casa» y por el hecho



**Figura 8.8** Cambio en la esfuerzo de cizalla y la viscosidad aparente con el gradiente de deformación, para un chocolate con leche.

de las tabletas de chocolate más vendidas son muy diferentes para los distintos países, por ejemplo Cadbury en el Reino Unido y Hershey en EE UU. Sin embargo, no hay métodos instrumentales que ayuden al fabricante a determinar si su producto es o no correcto. Muy a menudo se emplean para determinar los sabores extraños. El chocolate, en sí mismo, tiene un sabor suave, pero a menudo capta rápidamente otros sabores desagradables. Por ejemplo, cada vez se vende más chocolate en las gasolineras, no obstante la atmósfera allí tiene un fuerte olor, que puede ser captado por el chocolate. Asimismo, debe tenerse gran cuidado en asegurarse de que el material de envasado sea el correcto, ya que el chocolate rápidamente tomará el olor del cartón o de las tintas de impresión, lo que lo haría inaceptable para el consumidor.

Hay muchas técnicas que pueden utilizarse para determinar sabores extraños y olores o para caracterizar los diferentes cacaos o determinar su grado de tostado. Se ha sugerido el uso de instrumentos como la nariz artificial (que contienen una serie de sensores cuya conductividad/resistencia eléctrica cambia en función de la cantidad de moléculas específicas que estén presentes) para el control del sabor de la pasta de cacao y del conchado. Actualmente se utiliza para asegurarse de que las grasas no tengan defectos. En este capítulo se describe la cromatografía líquida, ya que esta técnica es capaz de ser utilizada para una amplia variedad de finalidades.

La cromatografía es una técnica analítica en la cual se separan diferentes moléculas utilizando el principio de que su velocidad de migración a través de un medio depende de su tamaño. Quizás el ejemplo más conocido sea el de la separación de los colorantes alimentarios mediante su disolución en agua y luego permitiendo la ab-

sorción de la disolución en un papel de filtro u otro medio (véase Experimento 13 del Capítulo 10).

Muchas técnicas cromatográficas se basan en el paso de la muestra a través de un medio en el que algunos de los componentes de la mezcla son bien disueltos o absorbidos y luego se registra el tiempo al cual los diferentes constituyentes salen del medio. Si el medio está empaquetado en una columna ancha, hay un gran número de rutas que puede tomar la muestra, de modo que algunas pueden salir directamente mientras que a otras les puede llevar mucho más tiempo. Esto da una mala resolución por lo que a menudo es mejor utilizar columnas largas y estrechas.

En la cromatografía de líquidos de alta presión (HPLC), se hace circular de modo continuo un solvente a través de columnas con un empaquetamiento elevado, a presiones entre 30 y 200 bares. Con frecuencia se utilizan espectrofotómetros en el ultravioleta o en el visible para detectar los componentes de la muestra cuando salen de la columna. Si estos compuestos son fluorescentes, pueden utilizarse detectores de fluorescencia, que son más sensibles.

Las columnas pueden estar empaquetadas con sólidos, geles o materiales particulados. El tamaño del poro o la partícula debe ser lo más pequeño posible para aumentar la eficiencia de la columna. El solvente puede tener una base acuosa o hidrocarbonada, dependiendo del tipo de muestra. El análisis puede realizarse en unos pocos minutos.

El HPLC se ha utilizado para detectar los fenoles asociados a un flavor a «ahumado» en el cacao. Ziegleder y Sandmeier<sup>1</sup> estudiaron el cacao tostado utilizando un detector en ultravioleta. Encontraron cinco picos de un interés particular:

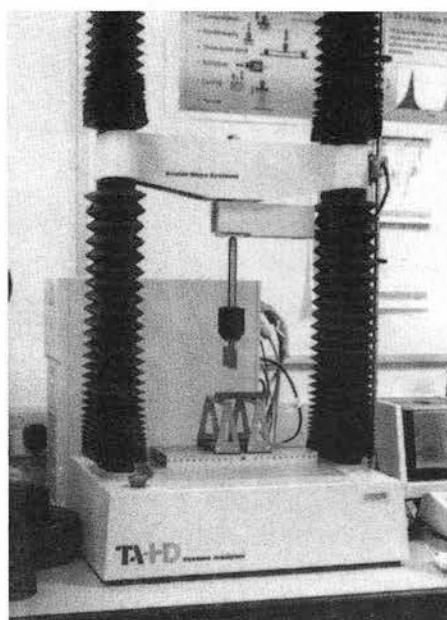
- (1) pirazina
- (2) 2,3-dimetilpirazina
- (3) 2,5-dimetilpirazina
- (4) 2,3,5-trimetilpirazina
- (5) 2,3,5,6-tetrametilpirazina

El pico 5 estaba asociado al cacao crudo, mientras que el pico 4 se correlacionaba con el tiempo de tostado por encima de 120°C. Los picos 2 y 3 aumentaban tras largos períodos de tostado a altas temperaturas y eran indicadores de un tostado excesivo.

Con el aumento del uso de las grasas vegetales en el chocolate (Capítulo 6), el HPLC se ha utilizado como una de las posibles estrategias para determinar su grado de utilización. También puede utilizarse para detectar la adulteración de grasas o aceites.

## SEGUIMIENTO DE LA TEXTURA

Como ocurre con el flavor, los paneles de análisis sensorial son el mejor modo de evaluar la textura de un producto. Sin embargo, los paneles tienen un funcionamiento

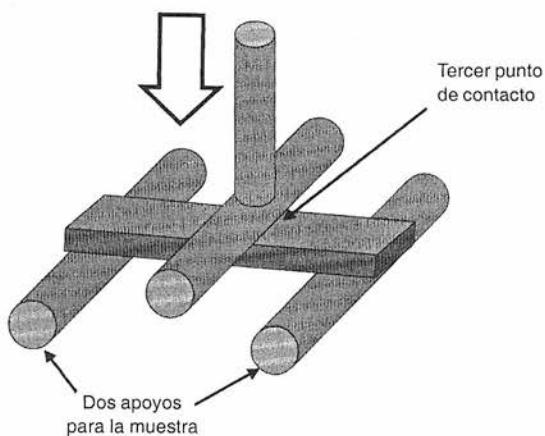


**Figura 8.9** Fotografía del instrumento de determinación de la textura TA.

costoso, los catadores sólo pueden evaluar unas pocas muestras al día. Además pueden no ser capaces de detectar pequeños cambios. Un fabricante puede hacer un cambio en los ingredientes o en el procesado y desear saber cómo afectará a la textura del producto final. En este caso las técnicas analíticas son particularmente útiles, ya que pueden evaluar un gran número de muestras con un alto grado de reproducibilidad.

En el chocolate, la ruptura y la dureza son dos de sus características más importantes. Estas se pueden analizar mediante instrumentos de determinación de la textura, como el mostrado en la Figura 8.9. Estos aparatos conducen sondas o cuchillas, etc., al interior de una muestra a una velocidad constante o desarrollando una fuerza constante, y al mismo tiempo van registrando la distancia o la fuerza de resistencia generada por la muestra.

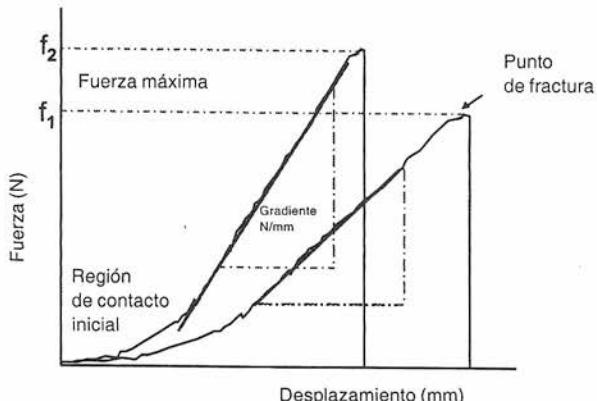
La fractura relativa de los distintos chocolates puede medirse llevando a cabo el test de pandeamiento en tres puntos. En este test las barras del chocolate a ensayar deben moldearse en barras del mismo grosor. También, deben almacenarse durante un período prolongado a la misma temperatura, para asegurarnos de que ésta es uniforme en toda la barra. Los pequeños cambios en la temperatura tienen un efecto mucho mayor en la textura que los cambios pequeños en la composición. Además, el chocolate es muy mal conductor del calor, por lo que lleva bastante tiempo que el centro de la barra alcance la misma temperatura que la superficie.



**Figura 8.10** Test de pandeamiento en tres puntos en un chocolate.

Luego se colocan las barras perpendicularmente a dos soportes paralelos. Desde arriba, se conduce una sonda, que también es paralela a estos soportes, hacia el centro de la barra. Es frecuente que la sonda y los soportes estén constituidos por varillas del mismo radio (Figura 8.10). La gráfica obtenida del instrumento, que representa la fuerza frente a la distancia, puede relacionarse con la fractura (Figura 8.11). Un chocolate con una buena ruptura tendría una curva abrupta y un desplazamiento corto ya que la barra se rompería rápidamente. Un chocolate con una mala fractura tenderá a combarse de modo que dará un aumento lento y prolongado.

Para los ensayos de dureza, se dirige un punzón o una esfera hacia el interior de una barra de chocolate situada en la placa base del instrumento. La sonda se puede



**Figura 8.11** Gráficas que representan la fuerza frente a la distancia para un ensayo de pandeamiento en tres puntos.

accionar a fuerza constante, con lo que se obtendrá una gráfica de fuerza frente a espacio penetrado, que dará una gráfica similar a la obtenida para el test de pandeamiento en tres puntos. De nuevo, un chocolate duro proporcionará una curva muy escarpada, mientras que un chocolate blando proporcionará una resistencia mucho menor, con lo que el gradiente será menos abrupto.

## TIPO Y CANTIDAD DE CRISTALES

### Resonancia Magnética Nuclear

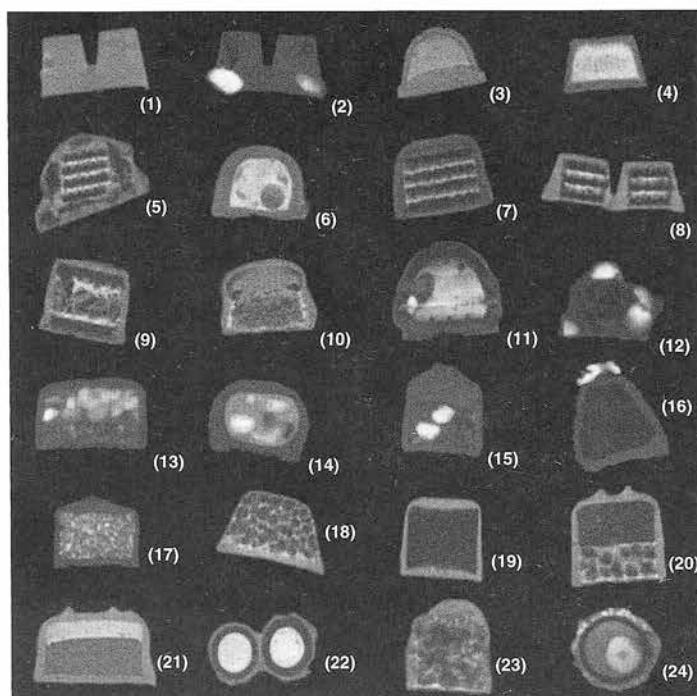
Cuando las moléculas están en estado líquido pueden moverse con mucha más facilidad que cuando se encuentran unidas como parte de una matriz sólida. Si se aplica un campo magnético, muchas moléculas tratan de alinearse con él. La velocidad a la que son capaces de hacer esto se relaciona con el hecho de que las moléculas se encuentren unidas o libres. Este principio es empleado para medir la relación de grasa sólida/líquida en la grasa del chocolate mediante la resonancia magnética nuclear (RMN). Este sistema resulta bastante preciso para la grasa, ya que los otros componentes sólidos del chocolate, en concreto los metales presentes de forma natural como el cobre, reducen la sensibilidad.

En el RMN en pulsos, la muestra se coloca en un campo magnético, que conduce a que los protones de la misma se polaricen. Entonces se aplica una única frecuencia de radio corta, que origina que giren alrededor del campo. Tras el pulso, las moléculas vuelven a su alineamiento original durante un período conocido como tiempo de relajación. Éste es mucho mayor para las moléculas unidas a una estructura sólida. Se pueden utilizar diferentes frecuencias dependiendo del tipo de moléculas que se vayan a estudiar, que pueden ser tanto de base acuosa como grasa.

Este tipo de información puede utilizarse para construir imágenes tridimensionales de lo que está sucediendo en el interior de un objeto de un modo no destructivo. Esta técnica se conoce como obtención de imágenes por resonancia magnética (MRI del inglés *Magnetic Resonance Imaging*) y es el principio utilizado por los escáner para el cuerpo humano utilizados en el diagnóstico médico. También se ha utilizado para seguir la migración de las grasas blandas a través del chocolate, ya que las grasas blandas a temperatura ambiente son mucho más líquidas.<sup>2</sup> La Figura 8.12 muestra una imagen de una selección de artículos de confitería. La grasa en los centros es mucho más blanda (más líquida) que en el chocolate, de modo que ofrece una imagen mucho más clara.

### Calorimetría diferencial de barrido

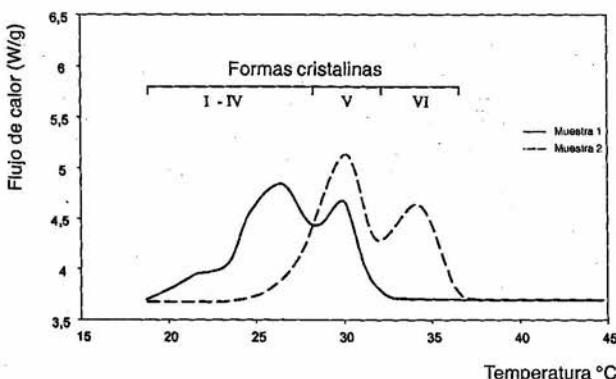
El tipo de cristal que se encuentra en el chocolate puede medirse por análisis mediante rayos X, pero este es caro y los equipamientos no son compatibles con la



**Figura 8.12** Artículos de confitería vistos a través de MRI. Cuanto más blanda es la grasa aparece más clara (Guilheneuf *et al.*<sup>2</sup>).

mayoría de las fábricas de alimentos. El tipo de curva de enfriamiento obtenida en el temperímetro y mostrada en la Figura 7.2, indica si el chocolate puede solidificar satisfactoriamente, pero tiende a depender del operario y no indica el tipo de cristales presentes. Los temperímetros más sofisticados han solucionado la dependencia del operario, que funcionan con el mismo principio pero que utilizan un enfriamiento eléctrico para dar una velocidad más uniforme y que usan ordenadores para analizar las velocidades de enfriamiento. Sin embargo, la calorimetría diferencial de barrido (DSC, Differential Scanning Calorimeter) puede indicar las cantidades relativas de los diferentes tipos de cristales que se encuentran presentes.

Este instrumento se basa en el principio de que cuando una sustancia se funde (o solidifica) necesita de una gran cantidad de energía –el calor latente– pero la temperatura real de la muestra se mantiene prácticamente constante. Para el chocolate sólido esto puede utilizarse de la siguiente manera. Una pequeña muestra de chocolate (entre 2-10 mg) se coloca en un contenedor de metal. Luego éste se calienta de modo que se obtiene un incremento constante de la temperatura de por ejemplo, 5°C



**Figura 8.13** Gráficas de DSC para los diferentes estados cristalinos del chocolate.

por minuto. La cantidad de energía necesaria para hacer esto se compara con la necesaria para calentar de modo uniforme una muestra control, por ejemplo, un metal como uno de los contenedores vacíos, en los que no se fundirá nada. Cuando empieza a fundirse un estado cristalino concreto, es necesaria más energía para mantener el aumento de temperatura, de modo que empieza a aparecer un pico en la gráfica que representa la energía frente a la temperatura, como se muestra en la Figura 8.13. El pico alcanza un máximo a la temperatura a la cual la velocidad de fusión es mayor. Como también se muestra en la Figura 8.13, pueden aparecer varios picos diferentes en la misma muestra, lo que indica que hay presente más de un tipo de cristal. Cuando un chocolate está bien atemperado en la forma V, se obtendrá un único pico con un máximo alrededor de 34°C.

A veces es necesario controlar el tipo de cristales presentes durante la fase de solidificación. En este caso, el resto de la grasa líquida, puede cristalizarse de un modo rápido, sumergiendo las muestras en nitrógeno líquido. Esta grasa se encontrará en formas inestables de bajo punto de fusión y podrán distinguirse de los cristales que ya existían.

## REFERENCIAS

1. G. Ziegleder and D. Sandmeier, 'Determination of The Degree of Roasting of Cocoa By Means of HPLC', *Deutsche Lebensmittel Rundschau*, 1983, **79**(10), 343-347.
2. T.M. Guiheneuf, P.J. Couzens, H.-J. Wille and L. Hall, 'Visualisation of Liquid Triacylglycerol Migration in Chocolate by Magnetic Resonance Imaging', *J. Sci. Food Agric.*, 1997, **73**, 265-273.

## **Capítulo 9**

# **Envasado de los productos con chocolate**

En la mayoría de los países el chocolate está regulado por leyes muy estrictas. Normalmente los componentes presentes están descritos en la etiqueta junto con la información nutricional. Aunque los productos de confitería tienden a tener una vida útil relativamente larga en comparación con la mayoría de los alimentos, debe tenerse cuidado con las fórmulas utilizadas en los núcleos con objeto de minimizar los cambios originados por la migración de la humedad y de la grasa. El envasado mismo jugará un papel principal determinando la vida útil de un producto. También es lo primero que ve el consumidor y, en consecuencia, debe ser atractivo a la vez que práctico.

### **LEGISLACIÓN**

La legislación actual que se aplica varía en los distintos países y se encuentra en un proceso de cambio que intenta estandarizarla dentro de las áreas de comercio, como la Unión Europea. La mayoría de las normativas tienen límites como la cantidad mínima de cacao y leche que deben contener. A estos se les denominan respectivamente sólidos de la leche y sólidos de cacao. Esto puede ser un poco confuso ya que los sólidos de la leche incluyen a la grasa de la leche, que es líquida a temperatura ambiente y de modo similar, los sólidos del cacao incluyen al cacao en polvo, la pasta de cacao y la manteca de cacao. La legislación también estipula la cantidad mínima de estas grasas que debe estar presente así como la composición de la leche. No se debe utilizar lactosa o sueros en lugar de la leche en polvo. En el año 2000 la Unión Europea aprobó una ley por la cual un chocolate que contenga un nivel de sólidos provenientes de la leche alto ( $> 20\%$ ) debe etiquetarse como un chocolate con leche, salvo para el Reino Unido e Irlanda. Además, todos los tipos de chocola-

tes pueden contener hasta un 5% de un número limitado de grasas vegetales. Estas grasas son los equivalentes a la manteca de cacao (CBEs) derivados de cultivos originarios de países del Tercer Mundo. La presencia de grasas vegetales debe estar claramente etiquetada.

También hay un límite en la cantidad de lecitina y los tipos de otros emulgentes que pueden emplearse. Estos deben estar registrados con un código E, por ejemplo el E322 es la lecitina y el E442 es el YN, un emulgente tipo fosfátilo de amonio. El número E indica que ha sido ensayado y se ha demostrado que es seguro.

Además existe una cantidad máxima de azúcar y no se permite la adición de aromas a chocolate o de aromas lácteos.

Ninguna de estas normas se aplica a aquellos productos etiquetados como coberturas de chocolate, que pueden contener muy poco o nada de chocolate.

## NUTRICIÓN

Los alimentos nos proporcionan energía y el chocolate es capaz de hacerlo de un modo relativamente rápido. Por esto, con frecuencia ha sido incluido en los suplementos para los exploradores del polo o en las raciones de supervivencia para los barcos, etc. También contiene los tres componentes esenciales de los alimentos; proteínas, carbohidratos y grasas, junto con algunos minerales esenciales. De hecho 100 g de chocolate puro es capaz de proporcionar el 50% del cobre necesario para mantener una dieta saludable, mientras que el chocolate con leche contiene una cantidad relativamente alta de calcio, al que se le reconoce ampliamente su carácter beneficioso. La Tabla 9.1 muestra los valores nutricionales típicos de los diferentes tipos de chocolate.

## VIDA ÚTIL

La vida útil de un producto de confitería con chocolate está determinada por cuando su sabor, textura o apariencia cambia en un grado que lo hace poco atractivo

**Tabla 9.1** Contenido medio en 100 g de chocolate.

	Puro	Con leche	Blanco
Energía (kcal)	530	518	553
Proteína (g)	2	6	8
Carbohidratos (g)	63	56	56,5
Grasa (g)	30	30	33
Calcio (mg)	63	246	306
Magnesio (mg)	131	59	31
Hierro (mg)	3	2	0,2

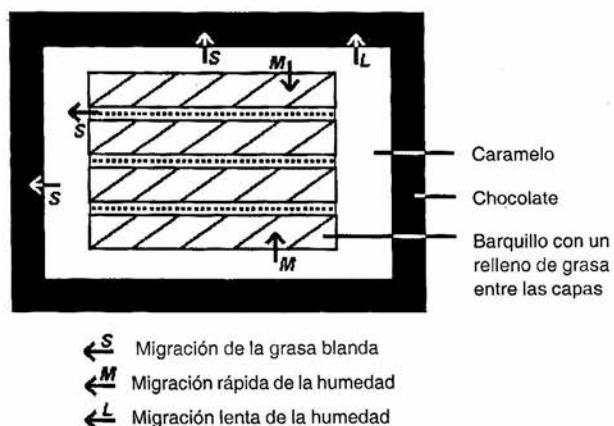
para el consumidor. En muchos casos esto es ocurre cuando el chocolate se vuelve blanco debido al fat bloom. A menudo este cambio en apariencia está unido a un endurecimiento de la textura y a una fusión más lenta, debido a los cambios en la cristalización de la grasa (normalmente una transición de la forma V a la VI). Estos cambios se enlentecen mediante el uso de unas buenas condiciones de almacenamiento y el empleo de grasas especiales y emulgentes en el chocolate o con la adición de grasas blandas, según se describe en el Capítulo 6.

La superficie puede parecer poco atractiva si está fracturada. Se señaló que esto ocurría en los productos grageados, cuando el núcleo se expande más que la cubierta de chocolate debido a los cambios en la temperatura. Por supuesto esto también puede ocurrir en los productos moldeados o bañados, de modo que también es deseable el mantenimiento de una temperatura constante. Sin embargo, la migración de humedad también puede originar la expansión del centro, especialmente en algunos centros de pastelería.

Aunque una cubierta continua de chocolate enlentece la migración de la humedad, las moléculas de agua migrarán lentamente a través de la cubierta, de modo que con el tiempo puede tener lugar la expansión de este tipo de centro. Una vez aparece una grieta, la transferencia de humedad aumentará rápidamente y la apariencia del producto se deteriorará rápidamente, así como las características gustativas del centro.

Los centros del tipo del barquillo toman la humedad y se quedan empapados, perdiendo su carácter crujiente y volviéndose desagradable. Con los rellenos con alto contenido en humedad, como los caramelos o los fondants, estos pueden desecarse y volverse duros o arenosos, por lo que de nuevo, la migración de la humedad es un problema. Esto puede ser peor si ambos tipos de materiales se encuentran presentes en el centro y no tienen una capa de chocolate o grasa entre ellas de modo que no se enlentezca su migración. Un ejemplo de esto es la barra Lion que tiene un centro de barquillo y una cubierta de caramelo.

La Figura 9.1 ilustra algunas de las migraciones de grasa y humedad que tienen lugar y que pueden llevar al deterioro de la calidad del producto. Incluso la salida del agua del chocolate puede alterar la textura y darle una apariencia a envejecido, aunque es relativamente poco importante en comparación con la reacción entre el barquillo y el caramelo. La fuerza conductora que gobierna la velocidad de estos cambios es la diferencia en la humedad relativa en el equilibrio (ERH) ( $= 100 \times$  actividad de agua). Esta puede determinarse en cada uno de los componentes, colocándolos de forma individual en recipientes cerrados con una pequeña cantidad de aire sobre ellos. Este aire rápidamente tomará, o liberará, humedad al ingrediente, de modo que ambos alcanzarán un equilibrio rápido. Luego se determina mediante una sonda calibrada para leer la humedad relativa. La ERH dependerá en gran medida de la cantidad de agua en el ingrediente, de su composición y también de la temperatura a la que vaya a almacenarse, que debe de ser de 15°C para el almacén y de 22°C en la tienda.



**Figura 9.1** Ilustración de algunas de las causas de deterioro de un producto que contiene barquillo, caramelo y chocolate.

Con el fin de minimizar la transferencia de humedad, las ERHs de los tres componentes deben tener valores lo más cercanos posibles. El barquillo sólo puede llegar a tener una cantidad limitada de agua antes de que la textura sea demasiado blanda, y el caramelo será demasiado duro si hay una poca cantidad de agua. Esto significa que el resto de los ingredientes deben modificarse, para cambiar su ERH. Unas pequeñas cantidades de ingredientes altamente hidrófilos (que tienen apetencia por el agua) pueden por ejemplo, aumentar enormemente la ERH.

La forma de envasado también es importante ya que, a menos de que se utilice un material que sea una buena barrera frente a la humedad, la humedad de la zona de almacenamiento puede jugar un papel importante, ya que los centros secos se pueden humedecer en condiciones de humedad elevada y los húmedos pueden tornarse secos o arenosos en ambientes secos.

## ENVASADO

Es muy importante que se elija el sistema de envasado teniendo en cuenta el producto y las condiciones en las que se va a almacenar. A primera vista parece mejor envasar un producto con un centro de un alto contenido en humedad con una barrera impermeable al agua. Sin embargo, no siempre es así. Hace algunos años unas delicias turcas fueron envasadas utilizando una barrera frente a la humedad de este tipo y gran cantidad del producto se enmohecio. La razón de esto pareció estar relacionada con el hecho de que la temperatura varió durante el almacenamiento. Muchas de las tiendas tenían un ambiente mucho más cálido durante el día que



**Figura 9.2** Envasado distintivo de la marca, como se muestra en el caso del Toblerone o los Smarties.

durante la noche. La humedad proveniente de las delicias turcas migró con el tiempo por todo el chocolate de modo que el aire dentro de la envuelta estaba saturado durante el día, cuando hacía más calor. Cuando la temperatura caía por debajo del punto de rocío, el agua condensaba sobre el envase y sobre el chocolate, dando lugar a la aparición de un *sugar bloom* y a los mohos. En el Experimento 14 del Capítulo 10 se describe un método para ensayar los materiales de envasado con respecto a sus propiedades de barrera frente a la humedad y los olores.

Una proporción elevada de los productos con chocolate se compran por impulso. Esto significa que el consumidor no llega al punto de venta con la intención de comprarlo, pero lo hace al verlo expuesto. Esto implica que es importante para el fabricante que los productos tengan un envase atractivo y resalten debido a colores brillantes, etc. Además, cuanto mayor sea el espacio del que se dispone, mayor es la probabilidad de que el consumidor vea el producto. El espacio de los estantes en los supermercados es limitado, de modo que hay que emplear alternativas, como bolsas que cuelgan de ganchos o grandes contenedores situados al final de las filas de estanterías o cerca de las cajas.

Hay muchos tipos de envasado, algunos tan sólo aportan una protección frente a la suciedad, mientras que otros actúan como barreras efectivas frente a olores externos. Otros se acaban asociando al producto, por ejemplo el tubo de los Smarties y el envase del Toblerone (Figura 9.2). Con el fin de ajustarse a las necesidades de producción (en el Reino Unido se comen más de 17.000 Smarties cada minuto), estos tubos se llenan y se venden por peso. Como no todos los Smarties son del mismo tamaño, esto puede suponer algún interesante problema matemático, cuando se in-

troduce algún nuevo tipo especial de Smartie (véase Experimento 12 del Capítulo 10). Además se están realizando esfuerzos para reducir la cantidad de material de envasado empleado. En parte esto se debe a razones medioambientales y también debido a que se incrementan los costes de transporte, además de, por supuesto, reducir el coste del propio material de envasado. Uno de los modos de hacer esto es reduciendo el grosor del material. El tamaño de la envuelta también es importante. Como se venden muchos productos con chocolate, con tan sólo unos pocos milímetros menos de envuelta por muestra, se puede ahorrar una gran cantidad de material de envasado.

Las envasadoras también son máquinas muy complejas y caras. En los años 50 era necesaria una gran cantidad de trabajo para envasar los productos, pero hoy una única máquina puede envolver varios cientos de tabletas por minuto. Sin embargo, son caras y es importante que se las haga funcionar el mayor tiempo posible. Esto no sólo implica un suministro continuo del producto con un tamaño adecuado para la máquina (las piezas demasiado largas las pueden bloquear), sino también que no haya paradas cuando se termina una bobina de la envuelta (la mayoría de las máquinas modernas continúan automáticamente con una bobina nueva) o si la calidad de la envuelta no es uniforme y se producen estiramientos o rupturas.

### Envuelta de papel de aluminio y papel

El envasado tradicional de las barras y tabletas de chocolate moldeado es con papel de aluminio y papel (Figura 9.3). El papel de aluminio confiere una cierta protección contra la suciedad, la infestación con insectos y las manchas, mientras que el papel puede tener colores brillantes con el nombre del producto y tiene impresa también la información nutricional y la exigida por la ley. El grosor y tamaño del papel de aluminio y del papel puede minimizarse y ambos productos son fácilmente reciclables.



Figura 9.3 Envuelta tradicional para el chocolate con papel y papel de aluminio.



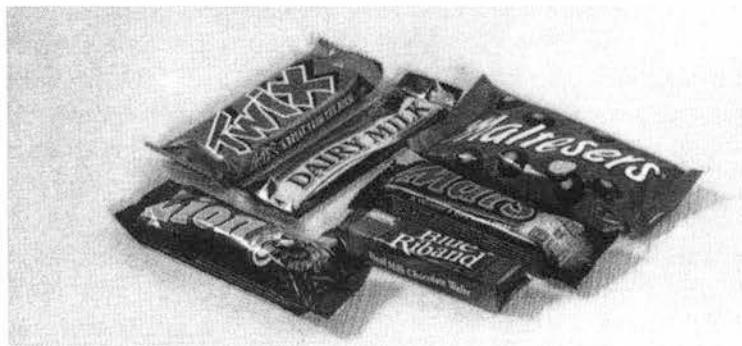
Figura 9.4 Productos de confitería en un expositor.

Con el fin de transportarlos habitualmente se colocan entre 2 y 6 docenas de barras en una caja de cartón, llamada expositor. Estos expositores son de cartón y pueden tener una decoración en el exterior, de modo que en la tienda se pueda utilizar para vender directamente el producto en el expositor (Figura 9.4). Si es necesario prolongar la vida útil, particularmente en climas más cálidos y húmedos, el expositor puede tener una película barrera colocada en el exterior. Los expositores se introducen en las cajas de envío y se colocan sobre palets. En algunos casos los expositores se paletizan directamente. La carga del palet se asegura colocándole una película plástica a su alrededor que se tiende estrechamente alrededor de él.

El papel de aluminio también se utiliza para envasar productos estacionales como los huevos de Pascua de chocolate o los papá Noel de chocolate. Para este último, su envuelta resulta más complicada porque el dibujo impreso en el papel de aluminio debe ajustarse a la forma del chocolate.

#### Envuelta en flow-wrap

Una gran proporción de los productos de confitería con chocolate se venden como artículos individuales. Son unidades individuales que con frecuencia son adquiridas y consumidas a modo de snack o tentempié y no como parte de una de las comidas. La mayor parte de estos productos se envasan utilizando la envuelta en flow-wrap. Esta tiene la ventaja de que se pueden envolver un gran número de artículos en una



**Figura 9.5** Productos de confitería envueltos en flow-wrap.

única máquina, más de 500 por minuto en algunos casos. La envuelta se sella herméticamente y con una buena elección del material puede ser una barrera muy buena frente a la humedad y los olores. También se emplea un procedimiento similar (aunque no se ajusta en realidad a la definición de envuelta en flow-wrap) para obtener bolsas grandes que contengan una selección de dulces más pequeños, que a su vez, pueden o no estar envueltos. La Figura 9.5 muestra ambos tipos de envases flexibles.

El material de envuelta se suministra en grandes rollos con el producto impreso. Debe tenerse un gran cuidado respecto al tipo y aplicación de las tintas, de otro modo éstas le pueden conferir un flavor desagradable al chocolate. A menudo se deja un espacio para que se pueda añadir la fecha de consumo preferente («consumir preferentemente antes de») en cada uno de los artículos de forma individual mientras éstos se envasan. Esto se hace mediante un código con inyección de tinta o con un quemado por láser. Pueden emplearse un amplio rango de materiales incluyendo polipropileno fino coextrusionado o polipropileno blanco cavitado y laminados de películas/aluminio/ionómero.

Inicialmente, la envuelta se desenrolla de la bobina y se le da la forma de un tubo (véase la Figura 9.6) mediante su sellado con calor o presión. El producto se introduce en el interior del tubo, que luego se corta según las longitudes requeridas. Luego se cierran los extremos abiertos, de nuevo con más calor o presión. El cerrado por presión requiere de la aplicación de un adhesivo en frío en el reverso del material de envuelta, durante el proceso de impresión.

El sellado es particularmente importante en los productos en los que es necesario tener una buena barrera frente a la humedad o los olores. Si se utiliza el calor para cerrar, debe de permitirse que las capas que van a cerrar permanezcan el suficiente tiempo juntas para que se fusionen, lo que no sólo restringe la velocidad de envasado

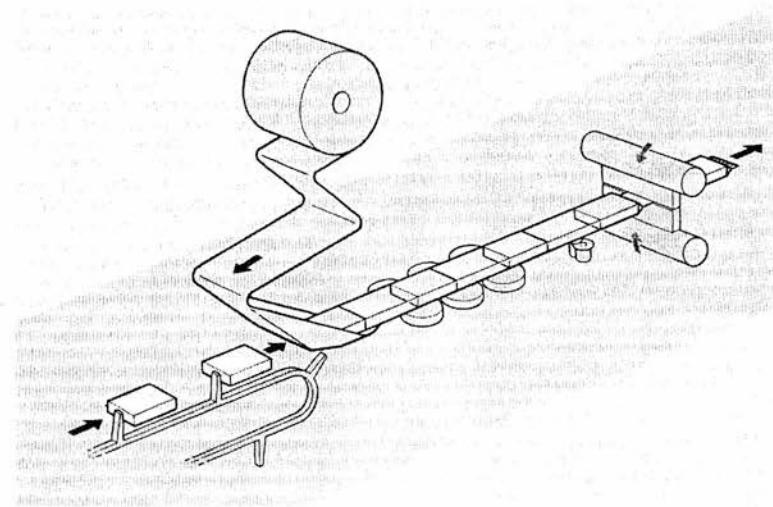


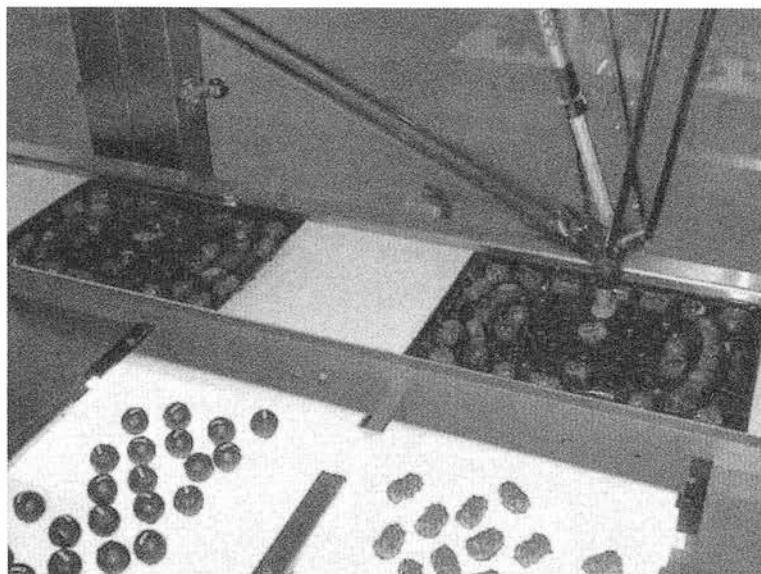
Figura 9.6 Diagrama esquemático del proceso de envuelta en flow-wrap.

sino también introduce la posibilidad de que el mismo producto sea dañado por el calor. En consecuencia, cada vez es más popular un método de sellado en frío. Este se basa en una combinación de goma látex natural con resinas. No todas las películas de envasado admiten este tipo de cierre en frío, sin embargo, puede ser necesaria una laca o una película de desenganche para evitar que se bloquee la bobina. Se ha obtenido un envasado rápido con un material con buenas propiedades barrera utilizando un sellado en frío y una película metálica (una película con una capa microscópica de aluminio depositada a vacío).

### Empaque robotizado

La colocación de bombones individuales en una caja de un surtido es un trabajo muy laborioso (Figura 9.7). Aunque en muchas fábricas todavía continúa haciéndose a mano, en algunas otras lo realizan unos robots. Los sistemas de reconocimiento de imágenes identifican los bombones con el tamaño correcto y donde van colocados en la caja. Un brazo, a menudo con un sistema de succión en un extremo, coge los bombones y los coloca en el lugar adecuado de la caja. Los primeros sistemas robotizados estaban muy limitados ya que eran muy difíciles de reprogramar cuando se cambiaban los bombones del surtido. Los modernos y más poderosos sistemas de computación han solventado este problema.

Para manipular las cajas o paquetes de bombones y colocarlos en los paquetes de envío, se utilizan robots mucho más simples. Este tipo de maquinaria ha ocasionado una disminución enorme en el número de personas que trabajan en la industria del



**Figura 9.7** Robots empaquetando cajas de bombones.

chocolate que, junto con los nuevos procesos descritos anteriormente, han transformado la industria del chocolate desde una industria artesanal con una gran cantidad de mano de obra hasta una industria técnica, de una mayor producción y altamente científica.

## ***Capítulo 10***

# **Experimentos con chocolate y productos que lo contienen**

El objetivo de este capítulo es el de perfilar una serie de experimentos que pueden llevarse a cabo para demostrar los principios matemáticos, químicos o físicos. Se han diseñado para utilizar únicamente aparatos relativamente sencillos y deben de poder ser adaptados para alumnos de un amplio rango de edades.

### **EXPERIMENTO 1 AZÚCAR AMORFO Y CRISTALINO**

#### **Aparatos:**

Vaso de precipitados.

Agitador magnético.

Termómetro de una sensibilidad mayor a 0,1°C.

Balanza capaz de leer al menos 1 g.

Azúcar granulado.

Leche en polvo desnatada.

Caramelos duros por ejemplo Foxes glacier mints (*NB* no golosinas del tipo de tabletas o comprimidos, como los *Polos*, que presentan más azúcar en estado cristalino).

#### **Objetivo:**

Mostrar como el azúcar amorfo y cristalino difieren en su modo de disolverse en agua. El azúcar cristalino produce un enfriamiento del agua ya que se requiere energía para separar las moléculas (calor de disolución). Sin embargo, el azúcar amorfo se encuentra en una forma inestable y libera energía cuando cambia hacia

el estado cristalino más estable y de menor energía. Esto significa que hay energía sobrante de modo que el agua se calienta.

**Procedimiento:**

Vierta 10 mL de agua en un vaso de precipitados y colóquelo en el agitador magnético. Coloque el termómetro en el agua y continúe agitando hasta que la temperatura sea estable.

Rompa los caramelos duros en trozos pequeños. (Esto puede hacerse colocándolos en una bolsa y rompiéndolos con un martillo. **Cuidado**, tome las precauciones adecuadas.

Pese alrededor de 10 g de azúcar y otros 10 del material amorfo triturado.

Añada esta cantidad de azúcar en el agua y registre la temperatura durante los próximos 5 minutos.

Repita el procedimiento utilizando el azúcar amorfo. En este caso la temperatura debe subir.

Puede intentarse este experimento con leche desnatada en polvo, por ejemplo, Marvel. Ésta contiene lactosa, que normalmente se encuentra en estado amorfo debido a los rápidos procesos de desecado por pulverización. Normalmente ésta suele dar un aumento de la temperatura mucho mayor que el de los caramelos duros.

## **EXPERIMENTO 2 SEPARACIÓN DE LAS PARTÍCULAS**

**Aparatos:**

Varias hojas de papel.

Tijeras.

Un bote de vidrio pequeño y estrecho con tapa.

Un cronómetro.

Guisantes secos, arroz, lentejas y semillas de girasol.

**Objetivo:**

Investigar algunos de los principios que se utilizan para separar las habas de cacao de las piedras y el grano de cacao de la cáscara, que son la causa de la segregación de algunos de los núcleos durante el grageado.

**Procedimiento:**

*Separación por vibración*

Llene parcialmente el frasco con los guisantes secos.

Añada algo de arroz de modo que éste forme una capa en la parte superior.



**Figura 10.1** Fotografía de la mezcla de guisantes y arroz en un jarro tras ser agitado.

Agítelos de modo que ambos estén bien mezclados y ponga el tapón.

Muévalos suavemente mediante una ligera acción giratoria.

Entonces los guisantes deben aparecer en la parte superior y la mayoría del arroz en el fondo del bote, como se muestra en la Figura 10.1.

Gire el frasco y agítelo de nuevo.

Una vez más los guisantes estarán en la parte superior.

Repítalo con otros productos como las lentejas y las semillas de girasol.

*NB* A veces es más efectivo agitar el frasco lateralmente.

#### *Separación por la velocidad de caída*

Corte uno de los trozos de papel por la mitad. Luego corte una de estas dos mitades en tiras de alrededor de 1 cm de ancho.

Con otro de los trozos de papel haga una bola.

Sujete una hoja de papel entera horizontalmente a una altura de al menos 2 m. Cronometre el tiempo que tarda hasta que llega al suelo. Repítalo varias veces y obtenga el tiempo de caída medio.

Repita el mismo procedimiento para la bola de papel.

(Ésta es mucho más rápida y muestra como las cáscaras del haba de cacao con su forma de plato pueden separarse mediante la velocidad de caída –o succión desde arriba– de grano que es esférico).

Repita el experimento con las tiras de papel largas. Éstas caerán más rápido que la hoja pero más lentamente que la bola. La velocidad de caída de una fibra se rige por su diámetro, no por su longitud. Así que en el supuesto de que sean lo suficientemente largas como para ser fibras (la longitud debe de ser al menos su

diámetro × 10) todas las tiras de papel, con la misma anchura, caerán aproximadamente a la misma velocidad.

### **EXPERIMENTO 3 MIGRACIÓN DE LA GRASA**

#### **Aparatos:**

Dos desecadores o recipientes cerrados.

Papel de impresora/fotocopiadora.

Gel de sílice.

Manteca de cacao, obtenida según el Experimento 4. (Otras grasas duras darán el mismo resultado).

Material de envueltas de confitería.

#### **Objetivo:**

Mostrar que la humedad afecta a la liberación de manteca de cacao de las células que componen el grano de cacao.

#### **Procedimiento:**

Introduzca el gel de sílice en la base de uno de los desecadores. Deje algo de papel en un ambiente relativamente húmedo.

Ponga parte del papel en el desecador y déjelo durante varias horas.

Retire los papeles y ponga una gota de grasa en cada uno de ellos.

La grasa permanecerá como un glóbulo en el papel húmedo pero se extenderá e impregnará los secos.

Esto puede repetirse con un material tipo PVC o alguna de las películas utilizadas para envolver productos de confitería. Éstos no dejarán que la grasa los moje en ninguna de las condiciones y es por esto por lo que se ha sustituido a la celulosa como material de envasado para gran parte de los productos de confitería.

### **EXPERIMENTO 4 SEPARACIÓN DE LA MANTECA DE CACAO**

#### **Aparatos:**

2 vasos de 1 litro.

Estufa.

Cuchillo.

Barras de chocolate.

Agitador.

**Objetivo:**

Separar la manteca de cacao del chocolate y mostrar el efecto de la lecitina como emulgente en sistema de grasa en agua.

**Procedimiento:**

Utilice el cuchillo para extraer pequeñas ralladuras del chocolate.

Llene tres cuartas partes de uno de los vasos con agua a alrededor de los 60°C.

**Cuidado: está caliente.**

Añada lentamente las ralladuras de chocolate utilizando el agitador. **No lo mezcle enérgicamente.**

Coloque el matraz en la estufa a 50-60°C durante 12 horas. **Cuidado: está caliente.**

Sáquelo de la estufa y deje que se enfrie a temperatura ambiente.

Esto debería dar lugar a una capa amarilla de grasa en la parte superior, que es una mezcla de manteca de cacao y grasa de la leche.

Repita los pasos anteriores pero agite de modo muy enérgico cuando las ralladuras estén en el matraz. **Cuidado: está caliente.**

La lecitina en el chocolate está unida al azúcar. Cuando el azúcar se disuelve, la lecitina puede pasar al agua. La grasa es la fase continua y si se mantiene en glóbulos grandes mientras se funde, se formará la capa de grasa. Si se agita intensamente, la grasa formará pequeñas gotas que pueden ser recubiertas por la lecitina. Estas quedan en el agua como una emulsión.

## **EXPERIMENTO 5 VISCOSIDAD DEL CHOCOLATE**

**Aparatos:**

Cabina de temperatura controlada (40°C).

Termómetro con una precisión de 0,5°C.

Vaso alto.

Viscosímetro de caída de bola (la Figura 10.2 proporciona un esquema para su construcción).

Cronómetro.

Embudo de plástico.

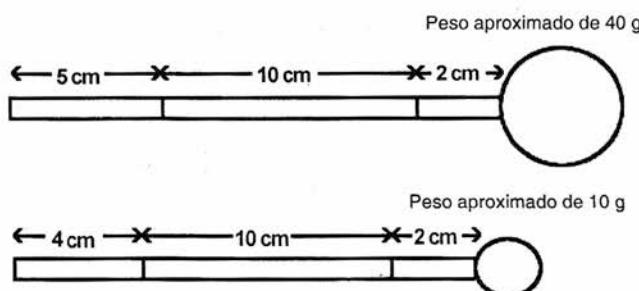
Balanza capaz de pesar 1 g.

Barras de chocolate.

Aceite de girasol.

**Objetivo:**

Mostrar el efecto de la adición de grasa y agua sobre las propiedades de fluencia del chocolate.



**Figura 10.2** Diagrama esquemático de un viscosímetro de caída de bola.

### Procedimiento:

#### *Efecto de la grasa*

Funda el chocolate y manténgalo, junto con el aceite de girasol y el viscosímetro, así como cualquier material de vidrio en la cabina a 40°C y deje que alcancen esa temperatura. Compruébelo con el termómetro.

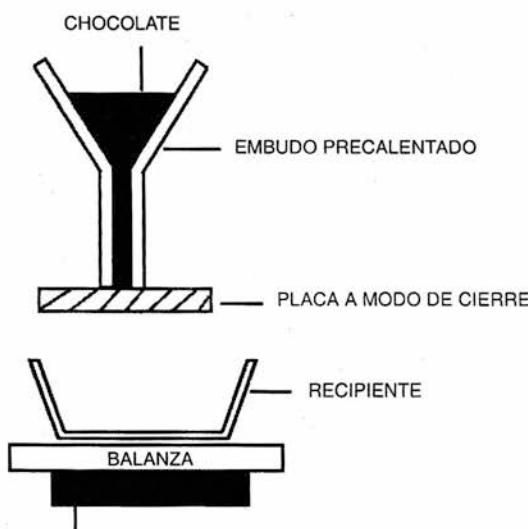
Llene el vaso alto casi hasta el borde.

Utilice el cronómetro para registrar el tiempo que es necesario para sumergir las dos marcas que tiene en la varilla o el alambre.

Repítalo 4 ó 5 veces descartando la primera lectura.

Si dispone de ellas, repítalo con esferas de diferentes tamaños.

Coloque el embudo en un soporte de modo que cualquier líquido que fluya a través de él caiga en un recipiente colocado sobre la balanza (Figura 10.3).



**Figura 10.3** Montaje para un viscosímetro de copa.

Con un dedo o un cartón en la salida, llene parcialmente el embudo.

Mida el tiempo que lleva la salida de aproximadamente la mitad del chocolate.

Vuelva a llenarlo y repita el procedimiento varias veces.

Añada aceite de girasol al chocolate de manera que este aceite sea alrededor de un 3% de la muestra, agite a conciencia de modo que la mezcla sea uniforme (si se dispone de él puede utilizarse un robot de cocina) y repita ambos tipos de medidas.

Luego puede repetirse añadiendo otras cantidades de aceite de girasol.

¿Qué efecto tiene la grasa extra? ¿Afecta en el mismo grado al viscosímetro de caída de bola (predominantemente al umbral de fluencia) que al de copa (principalmente a la viscosidad plástica)?

#### *Efecto de la humedad*

Repita el procedimiento como para el aceite de girasol pero esta vez utilice agua.

¿De qué modo pueden compararse estos resultados con los anteriores? Véase también el Experimento 8.

## **EXPERIMENTO 6 TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS EN EL CHOCOLATE**

#### **Aparatos:**

Microscopio (si es posible de polarización).

Tamiz (de malla de unas 50 micras).

Balanza capaz de pesar 0,1g.

Micrómetro capaz de medir 40 micras.

Aceite de girasol.

Diferentes marcas de chocolate.

#### **Objetivo:**

Investigar las partículas de mayor tamaño en el chocolate y ver si el tamaño de partícula afecta a su textura/flavor.

#### **Procedimiento:**

##### *Microscopio*

Coloque una pequeña cantidad de chocolate en un porta y disperse las partículas sólidas en un líquido transparente que no las disuelva, por ejemplo, aceite de girasol.

Ponga el cubre sobre la muestra y presione ligeramente para eliminar el aire. (Una presión demasiado fuerte podría desplazar a todas las partículas hacia los bordes).

Calibre el microscopio de modo que pueda determinar el tamaño de las partículas mayores de 20 micras.

Observe la muestra y determine el tamaño de las partículas más grandes.

Si el microscopio es de polarización, cruce los polaroides de modo que el campo se vea oscuro si no hay muestra. Vuelva a examinar la muestra. El azúcar cristalino es birrefringente, lo que significa que aparecerá como una imagen clara (Figura 2.10) mientras que las partículas provenientes del cacao y la leche permanecerán oscuras. En consecuencia es posible determinar si las partículas más grandes son de azúcar o no.

Repítalo para los diferentes chocolates.

#### *Tamizado*

Disperse aproximadamente 10 gramos de chocolate líquido en aceite de girasol templado.

(Si dispone de un baño de ultrasonidos, éste facilitará la dispersión de las partículas).

Vierta la suspensión a través del tamiz.

Éste retendrá a las partículas más grandes.

Éstas pueden desengrasarse y pesarse u observarse al microscopio como se ha descrito anteriormente.

#### *Micrómetro*

Prepare una suspensión concentrada de chocolate en aceite de girasol.

Coloque una gota de la suspensión en una de las mandíbulas del micrómetro.

Enrosque las mandíbulas del micrómetro y tome la lectura.

Esto se debe realizar varias veces y se debe determinar la reproducibilidad de la técnica, ya que es fácil apretar demasiado las dos mandíbulas y romper las partículas.

#### *Flavor*

Hágase, al menos, con cinco personas para evaluar las muestras. Debe de puntuarse a las muestras con valores del 1 al 10 para los parámetros: arenosidad, cremosidad y aroma a cacao.

Determine si hay o no una correlación entre algunas de las medidas del tamaño de partículas y estos tres parámetros sensoriales.

## **EXPERIMENTO 7 EFECTO DE LA LECITINA**

#### **Aparatos:**

Robot de cocina o mezcladora.

Azúcar glass.

Aceite de girasol.

Lecitina (disponible en muchas tiendas de alimentos naturistas y herboristerías).

**Objetivo:**

Mostrar el gran efecto que la lecitina tiene sobre la viscosidad de una mezcla de grasa y azúcar.

**Procedimiento:**

Mezcle cinco partes de aceite de girasol con dos partes de azúcar glass en un robot de cocina durante cinco minutos.

Compruebe la viscosidad mediante la evaluación de la dificultad para agitarlo, o utilice el viscosímetro de caída de bola (Experimento 5) si es lo suficientemente fluido.

Añada un 5% de lecitina (caliente ligeramente si la mezcla es muy espesa) y mézclela en el robot de cocina durante otros 2 minutos.

Vuelva a medir la viscosidad.

## **EXPERIMENTO 8**

### **CAMBIANDO LA FASE CONTINUA**

**Aparatos:**

Estufa a 40°C.

Agitador (lo ideal es que esté conectado a un medidor del par o a un medidor de corriente, pero es posible agitar a mano y estimar cuánto cuesta realizar la mezcla). Barras de chocolate.

**Objetivo:**

Mostrar que las pequeñas adiciones de agua al chocolate lo hacen más espeso, ya que facilita la «adhesión» de las partículas de azúcar entre sí (Experimento 5) pero que adiciones posteriores lo hacen más fluido de nuevo ya que el agua es capaz de formar una fase continua.

**Procedimiento:**

Funda el chocolate durante al menos 3 horas en una estufa a 40°C.

Agítelo y evalúe o determine la dificultad de agitarlo.

Añada un 2% de agua, mezcle intensamente y luego determine la dificultad de agitarlo.

Repita el proceso hasta que haya un 30% de agua.

Represente la «facilidad para agitarlo» frente al contenido en agua.

## EXPERIMENTO 9 ATEMPERADO DEL CHOCOLATE

### Aparatos:

Termómetro que abarque el rango de 20-32°C y con una precisión mayor de 0,5°C.

Es preferible un termómetro eléctrico ya que su capacidad calorífica será mucho menor que el de uno de vidrio.

Un termómetro menos preciso con un rango de medición que alcance los 50°C.

Dos vasos de precipitados y dos agitadores.

Un tubo de ensayo con tapón y agitador.

Cronómetro.

Placa calefactora.

Barras de chocolate.

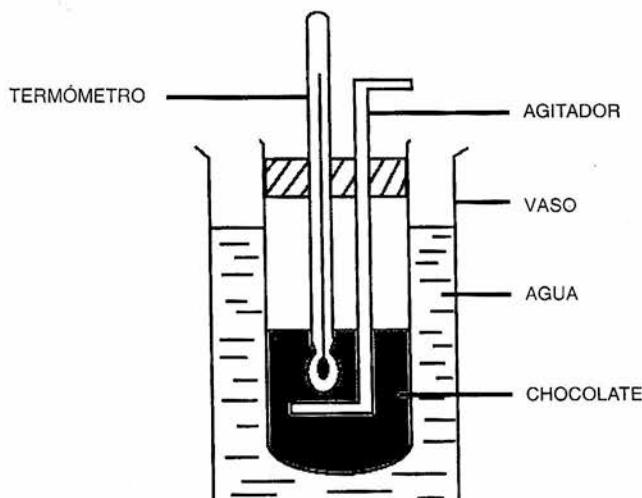
### Objetivo:

Mostrar que un chocolate precrystalizado solidifica de un modo diferente que el de un chocolate sin atemperar.

### Procedimiento:

Funda unos 30 g de chocolate y caliéntelos en un vaso de precipitados a 50°C. **Cuidado: está caliente.** Agite de vez en cuando y mantenga esta temperatura durante unos 30 minutos, para asegurarse de que no quedan cristales de grasa.

Vierta unos 10 g en el fondo de un tubo de ensayo y coloque el tapón con el termómetro y el agitador, como se muestra en la Figura 10.4.



**Figura 10.4** Aparato para seguir las propiedades de solidificación del chocolate.

Coloque el tubo de ensayo en un vaso de precipitados con agua fría y registre el cambio de la temperatura a lo largo del tiempo hasta que el chocolate esté por debajo de los 32°C. Agite intermitentemente según se va solidificando el chocolate.

Corte o ralle unos 5 g de chocolate, dejándolos en polvo.

Repita el procedimiento anterior hasta que el chocolate esté a unos 35°C.

Añada 3 g de chocolate en polvo y agite vigorosamente.

Comience a medir la velocidad de enfriamiento.

(El chocolate en polvo debe «sembrar» el chocolate con cristales en forma V, los cuales posteriormente lo harán solidificar y la temperatura aumentará mucho más rápidamente que en el caso de la primera muestra).

Luego puede repetirse el experimento utilizando hielo fundente o con diferentes cantidades de chocolate.

## EXPERIMENTO 10 DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA

### **Aparatos:**

Cabina de temperatura controlada.

Juego de pesas de medio kilogramo y de 1 kilogramo.

Pedestal para una retorta.

Medidor de penetración, esto es una varilla gruesa de metal con una punta cónica en un extremo.

Microscopio portátil (aunque es posible realizar el experimento con una regla y una lupa).

Tabletas de chocolate.

### **Objetivo:**

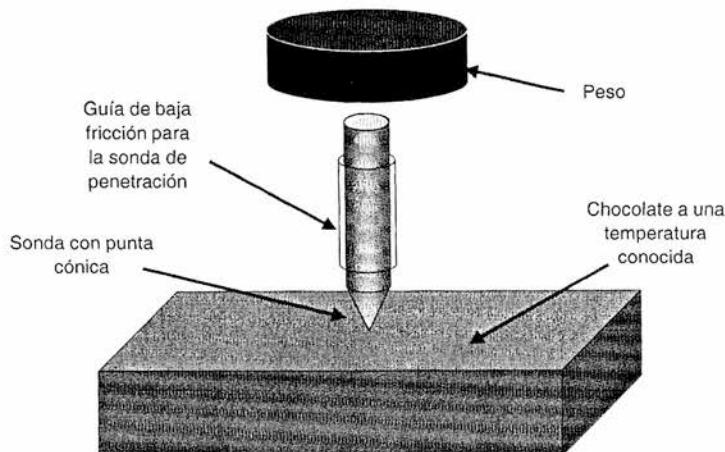
Demostrar que los cambios pequeños en la temperatura pueden tener un gran efecto en la dureza del chocolate.

### **Procedimiento:**

Almacene las tabletas de chocolate a diferentes temperaturas durante al menos 12 horas. Estas condiciones pueden incluir un refrigerador, una habitación cálida y cabinas de temperatura controlada a 24 y a 28°C.

Ajuste el pedestal de modo que sujeté la varilla (mediante un tubo de ajuste holgado). Verticalmente por encima de la muestra que se va a ensayar (Figura 10.5).

Tome una de las muestras y colóquela suavemente debajo de la punta. La muestras deben sacarse de sus lugares de almacenamiento justo antes de su ensayo, de modo que la grasa no se funda o se endurezca.



**Figura 10.5** Aparato para determinar la dureza relativa del chocolate.

Coloque con cuidado un peso en la parte superior de la varilla y equilíbrelo allí durante unos pocos segundos.

Quite el peso y saque la punta de la varilla del chocolate.

Mueva ligeramente la muestra de un lado a otro y ponga la punta en la superficie.

Ponga con cuidado un peso mayor en la parte superior de la varilla.

Este procedimiento debe repetirse varias veces, anotando qué marca corresponde a qué peso.

Mida el diámetro de cada una de las marcas utilizando el microscopio.

Relacione las lecturas de los diámetros con el peso aplicado y también con la temperatura de almacenamiento.

### EXPERIMENTO 11 COMPOSICIÓN DEL CHOCOLATE Y CONTROL DEL PESO DEL PRODUCTO

#### **Aparatos:**

Balanza capaz de pesar hasta al menos 0,1 g.

Tabletas de chocolate y artículos vendidos unitariamente.

#### **Objetivo:**

Observar la composición del chocolate y los productos que lo contienen que se encuentran en el mercado.

Investigar el peso de las tabletas y compararlo con el peso declarado y ver si hay alguna diferencia entre un producto bañado u otro moldeado.

**Procedimiento:**

Inspeccione las tabletas de chocolate que se comercializan en las tiendas en lo referido a sus sólidos de cacao y provenientes de la leche. Anote también aquéllos que indique el país de origen del cacao. Éstos son más fáciles de encontrar entre los chocolates puros, especialmente en los productos orgánicos o biológicos.

Compre al menos 10 muestras de productos individuales, en la medida de lo posible, de tiendas diferentes. (Es probable que las muestras de la misma tienda se hayan fabricado a la vez, de modo que las diferencias serán menores). Las muestras deben abarcar chocolates moldeados, como las tabletas sólidas y productos individuales como las barritas Mars, los Drifter, los Crunchie o la barrita Lion.

Pese todas las muestras y dibuje una gráfica del número de barras dentro de rangos de peso establecidos. Calcule el peso medio, la desviación estándar y el coeficiente de variación (desviación estándar/media) para cada producto y compárela con el peso declarado.

Es esperable que el coeficiente de variación de las tabletas sólidas moldeadas sea más pequeño que el de los productos bañados, ya que no sólo el bañado habitualmente es menos preciso, sino que a menudo también hay una variación de peso entre los centros.

## **EXPERIMENTO 12 DISTRIBUCIONES Y PROBABILIDADES**

**Aparatos:**

Al menos 20 tubos de Smarties o un producto coloreado similar.

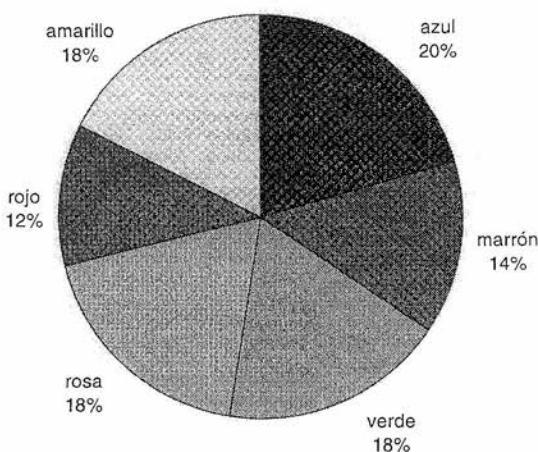
**Objetivo:**

Ilustrar la importancia de las distribuciones numéricas y las probabilidades.

**Procedimiento:**

Para cada uno de los tubos, anote el número total de confites, así como el número de los de cada color. Los Smarties se fabrican cada color de modo individual, luego se mezclan y se llenan los tubos por peso, no por número. Esto significa que pueden no estar todos los colores y que como todos los Smarties no son del mismo peso, con frecuencia diferentes tubos contienen un número diferente de unidades.

Si se añade un color nuevo, ¿Qué proporción debe utilizarse en la mezcla general para asegurarnos de que hay, al menos uno del nuevo tipo en cada tubo? ¿Cuál es la probabilidad de que un tubo contenga un solo color?



**Figura 10.6** Diagrama circular del número de Smarties de los diferentes colores en 48 tubos distintos.

Represente una distribución numérica (histograma) para los contenidos, utilizando el hecho de que hay un rango de valores para el número total de Smarties en cada tubo. Represente un diagrama circular en el que se muestre el porcentaje de cada uno de los colores de los Smarties presentes (Figura 10.6).

Si, a modo de promoción, el departamento de marketing ofrece un 10% más gratis, ¿Cuántos Smarties de media más tendrías? ¿Es posible tener un 10% más en peso, teniendo menos Smarties?

### **EXPERIMENTO 13 CROMATOGRAFÍA DE LOS COLORANTES**

(Gracias al Departamento de Servicio al Consumidor de Nestlé Rowntree)

**Aparatos:**

**Se recomienda el uso de material de protección de manos y ojos ya que se va a trabajar con productos químicos.**

Confites coloreados, como los Smarties.

Vaso de 100 mL.

Baño de agua.

Placa calefactora.

Disolución de amoníaco al 1%.

1 m de lana blanca.

Ácido etanoico (acético).

Acetato de etilo  
2-propanol.

**Objetivo:**

Separar los colorantes de los alimentos en sus componentes individuales.

**Procedimiento:**

Tome al menos siete unidades de los productos con tono más claro o cuatro de los más oscuros.

Colóquelos con 10-15 mL de agua caliente en el vaso de 100 mL y permita la disolución del color y de la superficie antes de deshechar los núcleos.

Hierva aproximadamente 1 m de lana blanca durante 5 minutos en una disolución de amoníaco al 1%.

Lávela con agua fría y luego sumérjala en el vaso con el extracto del pigmento.

Acidifique con ácido etanoico y hierva a fuego lento durante 5 minutos.

Saque la lana y lávela con agua fría.

Reextraiga el pigmento de la lana, bañándola en 10-15 mL de una disolución de amoníaco al 1% durante 5 minutos.

Retire la lana.

Evapore la disolución de amoníaco hasta sequedad en un baño de agua.

Añada dos gotas de agua a los pigmentos extraídos y colóquelos en una tira de papel para cromatografía.

Coloque un extremo del papel en un solvente constituido por acetato de etilo (40 partes), 2-propanol (30 partes) y agua (25 partes).

Los colorantes se separan en sus componentes.

Esta técnica se desarrolló para colorantes sintéticos y puede no funcionar bien para la riboflavina o el rojo cochinilla.

## **EXPERIMENTO 14** **EFECTIVIDAD DE LOS DIFERENTES MATERIALES DE ENVASADO**

**Aparatos:**

Balanza capaz de leer hasta 0,1 g.

Desecador.

Gel de sílice.

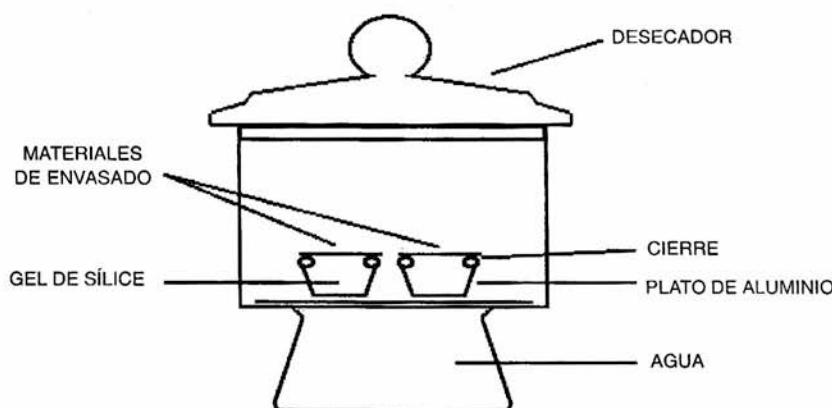
Platos de aluminio o vidrio de unos 5 cm de diámetro y 1 cm de profundidad.

Material de envueltas de productos de confitería, incluyendo papel de aluminio, papel y plásticos.

Cera para sellado o adhesivos libres de olores.

Lentejas de chocolate blanco.

Aceite de pippermint.



**Figura 10.7** Aparato para estudiar las propiedades barrera relativas de los diferentes materiales de envasado.

### Objetivo:

Evaluar la eficacia relativa de los diferentes materiales de envuelta como barreras frente a la humedad y la transferencia de olores.

### Procedimiento:

#### *Barrera frente a la humedad*

Llene la base de varios de los platos con el mismo peso de gel de sílice.

Corte un círculo del material de envasado de un tamaño ligeramente mayor que el del plato y péguelo en la parte superior utilizando la cera o un adhesivo. Tenga cuidado de que el cierre sea correcto alrededor de todo el plato. Luego, anote el peso de cada uno de los platos.

Coloque agua en la parte inferior del desecador y luego coloque los platos en su interior como se muestra en la Figura 10.7.

Saque los platos cada día y péselos.

Las malas barreras frente a la humedad irán ganando peso de un modo relativamente rápido. Con el tiempo el peso será constante debido a que el gel de sílice ya no es capaz de captar más humedad.

#### *Barrera frente a los olores*

Se utiliza el chocolate blanco porque tiene un sabor relativamente suave.

Coloque alrededor de seis lentejas en cada uno de los platos pero esta vez tenga al menos cinco platos para cada uno de los tipos de material de envasado.

Una vez más cierre con el material de envasado la parte superior del plato. Esta vez no hay necesidad de pesarlos.

Ponga el aceite de pipermint en la base del desecador y luego los platos en la bandeja. A diferentes intervalos (por ejemplo, 1, 5 y 14 días) saque uno de los platos para cada tipo de material de envasado.

Deles a probar las lentejas de chocolate a cinco personas diferentes y pídale que los puntúen en función de la intensidad de aroma a menta en una escala del 1 al 10. Represente esta intensidad frente al tiempo para los distintos materiales de envasado.

#### *Test de fugas*

Coloque una muestra envuelta en flow-wrap o una bolsa bajo el agua en un recipiente y agítelo suavemente.

Estime la velocidad a la que las burbujas salen a la superficie.

Si la velocidad es tal que puedes contar en voz alta las burbujas, el envasado es satisfactorio incluso aunque haya alguna fuga.

## **EXPERIMENTO 15** **VISCOSIDAD Y FLAVOR**

#### **Aparatos:**

Tabletas de chocolate.

Nevera.

Cuchillo.

Dos tarrinas de yogur firme.

#### **Objetivo:**

Mostrar que la velocidad a la cual un alimento funde en la boca afecta a su sabor así como a su textura. Esto es debido a que la viscosidad del chocolate afecta a las velocidades a las cuales las moléculas diferentes alcanzan a los receptores del flavor (Figura 5.1).

#### **Procedimiento:**

Utilice el cuchillo para obtener virutas de chocolate de una de las tabletas.

Coloque una tableta y la mitad de las virutas en un congelador o una nevera durante 24 horas.

Mantenga la otra mitad de las virutas junto con otra barra de chocolate en una habitación.

Pruebe las cuatro muestras anotando la dureza, velocidad de fusión, cremosidad e intensidad de sabor a cacao. Aunque originariamente todas eran la misma muestra deben registrarse grandes diferencias.

Puede obtenerse un efecto similar con un yogur firme.

Agite una de las tarrinas intensamente de modo que se convierta en un líquido fluido, luego compare su sabor con el del espeso.

## EXPERIMENTO 16

### COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CALOR

**Aparatos:***Parte a*

Estufa a 32°C.

Papel de filtro.

Varias marcas diferentes de chocolate.

Cuchillo.

*Parte b*

Nevera.

Balanza (con precisión hasta tres cifras decimales).

**Objetivo:**

La fusión del chocolate y su adhesión a la envuelta es un problema importante en los climas cálidos. Este experimento muestra un método de determinar la probabilidad de que esto ocurra y también que el tipo de chocolate afecta a su resistencia al calor.

**Procedimiento:***Parte a*

Marque el papel de filtro de modo que esté dividido en pequeños cuadrados.

Corte el chocolate en cuadrados del mismo tamaño.

Coloque las muestras en medio del papel de filtro en la estufa a 32°C durante 2 horas.

Sáquelas del horno y saque el chocolate del papel de filtro.

Cunte los recuadros que están manchados de grasa.

Cuantos más recuadros estén manchados más fácil será que el chocolate se funda. Es posible relacionar esto con la suavidad del chocolate. ¿Por qué?

*Parte b*

Obtenga cuatro piezas de la tableta.

Determine el peso de las cuatro piezas.

Ponga dos piezas en el papel de filtro y las otras dos del otro lado.

Colóquelas en la estufa a 32°C durante 2 horas.

Sáquela y póngalas inmediatamente en una nevera durante al menos una hora.

Saque el chocolate y vuelva a pesarlo.

Determine la pérdida de grasa.

También puede estudiarse el efecto de la temperatura de la estufa y la forma y el tamaño del chocolate.

## EXPERIMENTO 17 COEFICIENTE DE EXPANSIÓN

### Aparatos:

Baño de agua.

Matraz cerrado con un tapón que contiene un tubo de vidrio a su través (Figura 10.8).

Termómetro con una precisión de al menos  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

Chocolate.

Disolución de azúcar.

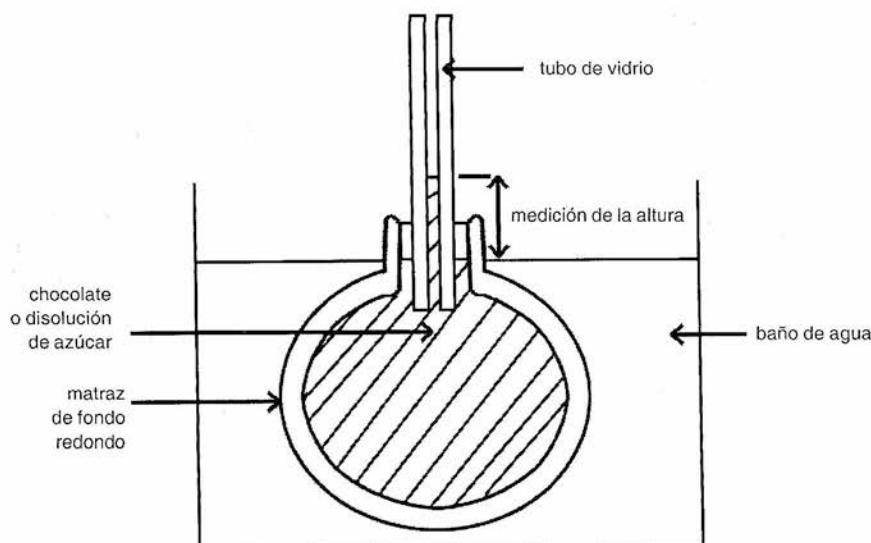
### Objetivo:

Algunos productos de confitería que contienen chocolate se agrietan debido a que dos de los componentes se expanden a diferentes velocidades cuando cambia la temperatura.

### Procedimiento:

Funda el chocolate alrededor de  $40^{\circ}\text{C}$  durante varias horas, luego enfrielo hasta  $38^{\circ}\text{C}$ . Ajuste el baño de agua a  $38^{\circ}\text{C}$ .

Vierta el chocolate en el matraz hasta que esté casi lleno y ponga el tapón con el tubo en la parte superior. **Cuidado: lleve guantes por si acaso el tubo se rompe.**



**Figura 10.8** Aparato para comparar los coeficientes relativos de expansión térmica del chocolate y las disoluciones de azúcar.

Coloque el matraz en el baño de agua de modo que el cuello esté justo por encima del agua.

Deje que el sistema alcance el equilibrio y luego mida la altura que ha subido el chocolate en el tubo del tapón.

Suba la temperatura 2°C y déjelo durante 20 minutos, luego vuelva a medir la altura.

Repítalo hasta llegar a 50°C.

Entonces será posible representar la altura de la columna del chocolate en función de la temperatura.

Repita el experimento pero utilizando la disolución de azúcar.

Las dos curvas deben de ser diferentes.

## **EXPERIMENTO 18 LA REACCIÓN DE MAILLARD**

**Aparatos:**

Glucosa.

Valina (puede obtenerse de los fabricantes de productos químicos).

Vaso pequeño (100 mL).

Placa calefactora.

Aceite de girasol.

**Objetivo:**

Tratar de obtener algunos de los aromas a chocolate que se forman durante el tostado.

**Procedimiento:**

Disuelva 3,6 g de glucosa y 0,6 g de valina en 20 mL de agua.

Añada unos 2 mL de aceite de girasol.

Caliente hasta casi alcanzar el punto de ebullición durante unos 15 minutos (trate de hervir a fuego lento agitando de vez en cuando). Huela el aroma. **Cuidado: muy caliente – utilice guantes y gafas de seguridad, y tome precauciones extras si está burbujeando.**

Utilice diferentes combinaciones de tiempos y temperaturas y de concentraciones relativas.

La valina es sólo uno de los muchos aminoácidos que están presentes en el cacao, de modo que no es posible generar un aroma completo a chocolate.

# **Índice alfabético**

- Ablandamiento, efecto de (eutéctico), 107  
 Aceite de soja, 91  
 Aceite/grasa, 45  
*Acetobacter*, 16  
 Ácido behénico, 109, 116  
 Ácido butírico, 28  
 Ácido cáprico, 28, 116  
 Ácido capríflico, 28, 116  
 Ácido caproico, 28  
 Ácido decenoico, 28  
 Ácido dodecanoico, 113  
 Ácido esteárico, 28, 98, 111  
 Ácido etanoico, 51, 64  
 Ácido isobutírico, 64  
 Ácido láctico, 43  
 Ácido láurico, 28, 113  
 Ácido linoleico, 28  
 Ácido linolénico, 28  
 Ácido mirístico, 28  
 Ácido oleico, 28, 98, 111  
 Ácido oxálico, 43  
 Ácido palmítico, 28, 98, 111  
 Ácido propanoico, 64  
 Ácidos grasos, 28  
 Adiciones de grasa, efecto de las, 84  
 Admul-WOL, 92  
 Agente alcalinizante, 3  
 Agua «libre», 149  
 Agua «ligada», 149  
 Alcalinizado, 50  
 Almacenamiento, 18  
 Almendras, 13  
 Aminoácidos, 17  
 Aplastamiento, 62  
 Aspartamo, 25  
 Atemperado, 104, 120  
     – medición del, 122  
 Atemperado del chocolate, 182  
 Atemperadores, 120  
 Atomización, 332  
 Aventado, 39  
 Azúcar, 19  
     – conglomerado, 82  
     – grageado con, 141  
     – producción, 20  
     – sustitutos del, 19  
 Azúcar amorfo, 21, 173  
 Azúcar cristalino, 21, 173  
 Azúcar fino, 21  
 Azúcar glass, 21, 87  
 Azúcar grueso, 21  
 Azúcar medio fino, 21  
 Azúcares sencillos, 20, 24

- Bañadoras, 131  
 Barrenadores de la mazorca, 11  
 Barrera frente a la humedad, 188  
 Barrera frente a los olores, 188  
 Barrido, calorimetría diferencial de, 159  
 Barritas Lion, 119, 131, 185  
 Barritas Mars, 119, 131, 185  
 Bingham, líquido de, 78  
*Butyrospermum parkii*, 112
- Cacao, árboles de, 9  
 – habas de, 9  
 – limpieza del haba, 35  
 – mazorcas de, 11  
 – países productores de, 10  
 – procesado del haba de, 35  
 – tipo de, 9  
 – tostado y descascarillado, 36  
 Cacao aromático, 11  
 Cacao en polvo, 53  
 – producción de, 50  
 Calor de disolución, 173  
 Calor latente, 125  
 Calorimetría diferencial de barrido, DSC, 122, 159  
 Cápsidos, 10  
 Carbohidratos, 164  
 «Cascada» de chocolate, 133  
 Caseínas, 29  
 Caseinato cálcico, 29  
 Casson, ecuación de, 78  
 CBEs, 111  
 CBI, 112  
 CBR láuricas, 113  
 CBR no láuricos, 115  
 CBRs, 111  
 Centrifugación de cuerpos huecos, 129  
*Cherelles*, 13  
 Chocolate, atemperado del, 125, 182  
 – composición del, 184  
 – conchado del, 63  
 – coquillas de, 127  
 – dureza del, 157  
 – experimentos con, 173
- [Chocolate]  
 – fabricación de los productos con, 119  
 – fabricación del, 6  
 – flujo del, 86  
 – historia del, 1  
 – humedad del, 86  
 – ingredientes del, 9  
 – marketing del, 7  
 – migas de, 6  
 – molturación del, 57  
 – recubrimiento con, 138  
 – refinado del, 63  
 – ruptura del, 157  
 – solidificación del, 135  
 – textura del, 86  
 – viscosidad del, 87, 122, 177  
 Chocolate atemperado, 132  
 – mantenimiento del, 135  
 Chocolate blanco, 7  
 Chocolate como bebida, 1  
 Chocolate con leche, 56, 64, 97  
 Chocolate crumb, 6, 33  
 Chocolate líquido, 55, 57, 88, 102  
 – almacenamiento del, 120  
 – control de las propiedades de fluencia, 75  
 – fabricación del, 55  
*Chocolatl*, 1  
 Cilindro clasificador, velocidad de, 59  
 Circulación del aire, velocidad de, 59  
 Cizalla, 62, 77, 105  
 – fuerzas de, 63  
 Cizalla/mezclado, 94  
 Cloroformo, 149  
 Código E, 164  
 Coeficiente de expansión, 191  
 – cúbica, 140  
 Colesterol, 8  
 Coloides, 141  
 Colorantes, cromatografía de los, 186  
 Concha, 63, 67, 94  
 – función final de la, 73  
 Concha continua, 64  
 Concha longitudinal, 67, 69  
 Concha moderna, 69

- Conchado, etapas del, 72  
 - máquinas para el, 67
- Conchado del chocolate, 63  
 - cambios químicos, 64  
 - reducción de la viscosidad, 65
- Conchado en seco, fase de, 72
- Conchado líquido, 94  
 - fase de, 72
- Conchas giratorias o rotatorias, 68
- Contenido en grasa, determinación del, 150
- Coquillas de chocolate, 127
- Crispies*, 133
- Cristales, cantidad de, 159  
 - tipo de, 159
- Cristales de grasa, 109
- Cristales grandes, 105
- Cromatografía de líquidos de alta presión, 156
- Cromatografía de los colorantes, 186
- Crunchie, 119, 185
- Crunchie de Cadbury, 131
- Cuerpos huecos, centrifugación de, 129
- Descascarillado, 39
- Diacilgliceroles, 27
- Difracción de Fraunhofer, 147
- Difracción de la luz, 145, 147
- Diglicéridos, 27
- Dímero de epicatequina, 51
- 2,3,5,6.tetrametilpirazina, 156
- 2,3,5.trimetilpirazina, 156
- 2,3.dimetilpirazina, 156
- 2,5.dimetilpirazina, 156
- Discos, molinos de, 48
- Dispersión de Mie, 147
- Drifter, 185
- Dulzor, grado relativo de, 25
- Edulcorantes, efecto refrescante de los, 25
- Efecto eutéctico, 52, 110
- Eflorescencia de azúcar, 136
- Eflorescencia grasa, 27, 85, 109
- El Criollo, 9
- Eleaeis guineensis*, 111
- Empaque robotizado, 171
- Empaqueamiento, configuración del, 101
- Emulgente/agente, 92
- Emulgentes, 29, 45, 87, 93, 97
- Emulsión de aceite en agua, 87
- Emulsión de agua en aceite, 87
- Enfriamiento, túneles de, 136
- Envasado, 166
- Envasadoras, 168
- Epicatequina, 51
- ERH, 120
- Escobas de las brujas, enfermedad de las, 10
- Esferas, del empaqueamiento de las, 82
- Esqueleto de glicerol, 53
- Estado amorfo, 22, 60
- Estado cristalino, 21, 60
- Esteroles, 27
- Éter de petróleo, 151
- «Expeller», 52
- Fábrica, técnicas simples para la, 151
- Fabricación de los productos con chocolate, 119
- Fabricación del chocolate, método tradicional, 58
- Fase continua, cambio de la, 181
- Fat bloom, 27, 85, 93, 97, 103, 107, 109, 110, 136, 140, 165
- Fermentación, 14  
 - cambios microbiológicos y químicos, 15  
 - proceso de, 14
- Flavor, 154, 180, 189
- Flavor del chocolate, 64, 71
- Flavores ácidos, 72
- Flavores extraños, 155
- Flow-wrap, 189  
 - envuelta en, 169
- Fluencia, umbral de, 79, 83, 127, 151
- Fondant, 127, 131, 165
- Forastero, 9
- Formamida, 149
- Formas cristalinas, 100, 102

- Fosfatidicolina, 91  
 Fosfatidiletanolamina, 91  
 Fosfatidilinositol, 91  
 Fosfato amónico, 92  
 Fosfoglicéridos, 27  
 Fosfolípidos, 27, 45, 91  
 Foxes glacier mints, 173  
 Fructosa, 24, 25  
 Fuji Oil, 109
- Glacier mint*, 22  
 Glicerol, 51, 98  
 Glicina, 44  
 Glucosa, 24, 25, 141  
 Golden syrup, 78  
 Golpeo fuerte, 62  
 Gradiante de deformación, 154  
 – tangencial, 65  
 Gradientes de deformación elevados, 105  
 Grado de mezclado, 94  
 Grageado, 137  
 Grageado blando, 142  
 Grageado con azúcar, 141  
 Grageado con chocolate, 141  
 Grageado duro, 142  
 Grano, tostado del, 40  
 Grano de cacao, molturación del, 45  
 Granos, 13  
 Grasa, efecto de la, 178  
 – migración de la, 176  
 Grasa antibloom, 110  
 Grasa de la leche, 107  
 Grasa de la mantequilla, 27  
 Grasa de mojado, 86  
 Grasa en el chocolate, cristalización de la,  
 97  
 Grasa láctea, 26, 105  
 Grasa Salatrim, 116  
 Grasa sólida, 106  
 Grasa/aceite, 45  
 Grasas, 164  
 – eutécticos, 106  
 Grasas bajas en calorías, 115  
 Grasas blandas, 110
- Grasas láuricas, 113  
 Grasas vegetales, 97, 111
- Haba, limpieza del, 35  
 – tostado del, 40  
 Habas de cacao, variación del tamaño de  
 las, 36  
 HACCP, 36  
 Hidróxido potásico, 53  
 HPLC, 156  
 Humedad, determinación de la, 148  
 – efecto de la, 179  
 Humedad relativa en el equilibrio (ERH),  
 166
- Illipe, 112  
 Impacto, molinos de, 48  
 Índice de saponificación, 53  
 Ingredientes finos, obtención de, 57  
 Interesterificación enzimática, 112  
 Invertasa, 20  
 Isomaltol, 25  
 Isómeros, 20
- Jarabe de azúcar, 141  
 Jarabe dorado, 78  
*Jelly bean*, 143
- Karl-Fischer, valoración de, 87  
 Ketchup, 76  
 KitKat, 7
- Laccifer lacca*, 141  
 Lactitol, 25  
 Lactosa, 20, 23  
 – cristalización de la, 87  
 Leche, 26  
 – proteínas de la, 28  
 Leche en polvo, 29, 84

- Lecitina, 45, 53, 89, 94, 164, 177  
 – efecto de la, 92, 180  
 – moléculas de, 88  
 Lecitina de soja, 90  
 Lipolisis, 28
- Maltitol, 25  
 Manteca de cacao, 13, 51, 105, 108  
 – equivalentes de (CBEs), 111  
 – estructura de la, 98  
 – grasas láuricas sustitutas de la, 113  
 – producción de, 50  
 – separación de la, 176  
 – sustitutos no láuricos de la, 115  
 Máquina de licuefacción, 71  
 Máquinas en continuo, 71  
 Mars, 7  
 Materiales de envasado, efectividad de los, 187  
 Mazorca de cacao, barrenadores de la, 10  
 Mazorca negra, plaga de la, 10  
 Mazorcias de cacao, 11  
 Medición del atemperado del, 122  
 Metanol, 149  
 Método estándar, 153  
 Método soxhlet, 151  
 Mezcla de grasas, 106  
 Mezclado, grado de, 94  
 Micela esférica, 91  
 Micrómetro, 145, 180  
 Microscopios ópticos, 145  
 Miga de chocolate, 6  
 Migración de la humedad, 165  
 Modelo de Casson, 154  
 Moldeado, 125  
 Molécula de glicerol, 114  
 Molinos de bolas, 49  
 Molinos de discos, 47, 48  
 Molinos de impacto, 48  
 Molinos para el cacao, 47  
 Molinos separados, 58  
 Molturación combinada, 57, 60  
 Molturación del grano de cacao, 45  
 Molturación final, 61
- Monosacáridos, 20  
 MRI, 159  
 Mucílago, 13  
*Mucor miehe*, 113
- Nabisco, 116  
 Nitrógeno líquido, 60  
 Nougat, 131  
 Nutrición, 164
- Olores, 170  
 Oleína, 111
- Pandeamiento, 157  
 Papel de aluminio, envuelta de, 168  
 Pardeamiento, 29  
 Pardeamiento no enzimático, 43  
 Partículas, separación de las, 174  
 Partículas en el chocolate, tamaño de las, 179  
 Partículas sólidas del chocolate, 79  
 Pasta, fase de, 72  
 – tostado de la, 40, 43  
 Pasta de cacao, 84, 114  
 Patrones de difracción, 147  
 Pirazina, 156  
 Polialcoholes, 24  
 Polidextrosa, 25, 26  
 Polifenoles, 51  
 Polimorfismos, 102  
 Polioles, 24  
 Polipropileno blanco cavitado, 170  
 Polipropileno fino coextrusionado, 170  
 Polirricinoleato de poliglicerol (PGPR), 92  
 Polos, 173  
 Polvo, densidad del, 68  
 – lactosa en, 32  
 Polvo laminado, 64  
 POP, 111  
 POSt, 111  
 Pralinés, 110, 127  
 Precristalización, 104

- Procesado de conchado, 88  
 Procesado del haba de cacao, 35  
 Proceso de alcalinización, 3  
 Producto, control del peso del, 184  
 Productos con chocolate, envasado de los,  
     163  
     – legislación, 163  
 Productos lácteos, 26  
 Propiedades de fluencia, 75  
 Proteínas, 164  
 Proteínas de la leche, 28  
 Proteínas del suero, 29  
 Punto de rocío, 19
- Radicales libres, 8  
 Rayo láser, 147  
 Reacción de Karl Fischer, 149  
 Reacción de Maillard, 29, 43, 192  
 Recubrimiento con chocolate, 138  
 Refinado, 60  
 Refinadora de cinco rodillos, 61  
 Refinadora de dos rodillos, 60  
 Remolacha azucarera, 20  
 Resistencia al calor, comprobación de la,  
     190  
 Resonancia magnética nuclear (RMN), 99,  
     159  
 Rodillos «lamedores», 133  
 Rowntree, 111
- Sacarosa, 20, 25, 141  
 Secado, 17  
*Shear rate*, 65, 78  
*Shear stress*, 78  
 Shellac, 141  
*Shorea robusta*, 112  
*Shorea stenoptra*, 112  
 Sistema Lehmann, 48  
 Sistemas de reconocimiento de imágenes,  
     171  
 Smarties, 7, 143, 167, 185  
 Sorbitano, ésteres de, 93  
 Sorbitol, 25
- Soxhlet, 150  
*Spans*, 93  
*Spinning*, 129  
 Stators, 71  
 StOSt, 111  
 Strecker, reacción de, 44  
 Sucrosa, 20  
 Suero, 32  
*Sugar bloom*, 136, 167  
*Sugar egg*, 143
- Tabletas sólidas, 125  
 Tamaño de partículas, datos de distribución,  
     79  
     – determinación, 145  
 Tamizado, 180  
 Taninos, 51  
 Técnicas analíticas, 145  
 Temperatura, 63  
 Temperímetro, 123, 160  
 Test de fugas, 189  
 Test de pandeamiento, 158  
 Textura, determinación de la, 183  
     – seguimiento de la, 156  
 Textura arenosa, 80  
 Textura/viscosidad, 63  
*Theobroma cacao*, 9  
 Toblerone, 167  
 Tostado, cambios químicos durante el, 43  
     – proceso en continuo, 41  
     – proceso en discontinuo, 41  
 Tostado del haba, 40  
 Tostadores, 41  
 Transferencia de calor por radiación, 136  
 Transporte, 18  
 Triacilgliceroles, 27, 97  
 Triglicéridos, 27  
     – composición de los, 100  
 Triglicéridos de cadenas saturadas largas,  
     98  
 Trinitario, 9  
 Túneles de enfriamiento, 136  
*Tweens*, 93

- Velocidad de caída, separación por la, 175  
Velocidad de cizalla, 65  
Velocidad de solidificación, 93  
Velocidades de cristalización, 100  
Vida útil, 164, 169  
Viscosidad, 76, 189  
– determinación de la, 151  
– tamaño de las partículas, 81
- Viscosidad aparente, 154  
Viscosidad plástica, 79, 151  
Viscosímetro, 78, 152  
Xilitol, 25  
YN, 164

## Otras obras de Editorial Acribia, S.A. sobre Ciencia y Tecnología de los Alimentos

---

**Edwards, V. P.**

**LA CIENCIA DE LAS GOLOSINAS**

**Beckett, S. T.**

**FABRICACIÓN Y UTILIZACIÓN INDUSTRIAL DEL CHOCOLATE**

**Cakebread, S.**

**DULCES ELABORADOS CON AZÚCAR Y CHOCOLATE**

**Tamime, A. Y. y Robinson, R. K.**

**YOGUR. CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**Schmidt, K. F.**

**ELABORACIÓN ARTESANAL DE MANTEQUILLA, YOGUR Y QUESO**

**Scholz, W.**

**ELABORACIÓN DE QUESOS DE OVEJA Y DE CABRA**

**Timm, F.**

**FABRICACIÓN DE HELADOS**

**Varnam, A. H.**

**LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS: TECNOLOGÍA, QUÍMICA  
Y MICROBIOLOGÍA**

**Manley, J. R. D.**

**TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA GALLETERA**

**This, H.**

**LOS SECRETOS DE LOS PUCHEROS**

**This, H.**

**LA COCINA Y SUS MISTERIOS. EXPLICACIÓN CIENTÍFICA  
DE LAS 55 MEJORES RECETAS DE LA COCINA FRANCESA**

**This, H.**

**LOS NIÑOS EN LA COCINA**

**Bender, A. E.**

**DICCIONARIO DE NUTRICIÓN Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**

**Souci/Fachmann/Kraut**

**TABLAS DE COMPOSICIÓN DE ALIMENTOS**

**Tolonen, M.**

**VITAMINAS Y MINERALES EN LA SALUD Y LA NUTRICIÓN**

**Johns, N.**

**HIGIENE DE LOS ALIMENTOS. DIRECTRICES PARA  
PROFESIONALES DE HOSTELERÍA, RESTAURACIÓN Y CATERING**

**Hobbs, B. C. y Roberts, D.**

**HIGIENE Y TOXICOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS (3.ª ed.)**

---

**Editorial ACRIBIA, S. A. - Apartado 466 - 50080 ZARAGOZA (España)**



**Acribia**

**ISBN 84-200-0963-6**



**9 788420 009636**