

## FACTORES QUE INCIDEN EN LA CALIDAD SENSORIAL DEL CHOCOLATE

### FACTORS INFLUENCING THE SENSORY QUALITY OF CHOCOLATE

YUNIESKY GONZÁLEZ MUÑOZ<sup>1,2,A</sup>, ELEVINA PÉREZ SIRA<sup>1,B</sup>,  
CAROLINA PALOMINO CAMARGO<sup>1,C</sup>.

1- Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA), Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela (UCV). Caracas-Venezuela.

2- Gerencia de Control de Calidad. Mercados de Alimentos, C.A. Ministerio del Poder Popular para la Alimentación. Caracas-Venezuela.

a- Candidato a Magíster en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA- UCV). Licenciado en Ciencias de los Alimentos, Universidad de la Habana-Cuba.

b- Dra. en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA-UCV). Master of Science, Major: Food Science and Nutrition, University of Wisconsin-Stout US. Licenciada en Biología, Universidad Central de Venezuela (UCV).

c- Doctorando en Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA-UCV). Magíster Scientiarum en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA-UCV). Licenciada en Biología-Mención Tecnología de los Alimentos (UCV).

Enviar correspondencia a: Lic. Yuniesky González Muñoz.

Dirección física: Ave. Andrés Bello, Edif. Las Fundaciones, Piso 6, Gerencia de Control de Calidad, Mercados de Alimentos C.A. Ministerio del Poder Popular para la Alimentación. Caracas, Venezuela. CP-1050. Teléf.: +19-416-7227977.

Email: [yunieskygm@yahoo.es](mailto:yunieskygm@yahoo.es)

#### RESUMEN

Las causas que determinan qué alimentos consumir y por qué, son numerosas, sin embargo para el chocolate, las propiedades sensoriales únicas son quizás las más importantes. La textura, el sabor y el aroma característicos, así como un color atractivo, hacen del chocolate; el producto de cacao más popular. El camino hacia un buen chocolate comienza con el árbol de cacao, continúa en la cosecha, el beneficio y las distintas fases de procesamiento involucradas en el desarrollo del mismo. Durante estas etapas actúan diferentes factores que inciden en su calidad sensorial. De hecho, el carácter del chocolate no sólo se origina a partir de los precursores del sabor y el aroma inherentes al grano de cacao, también se generan durante los tratamientos post-cosecha, al transformarse en notas deseables durante el proceso de manufactura. Además, complejas modificaciones bioquímicas de los constituyentes del grano se alteran debido a reacciones térmicas dadas durante el tostado, la alcalinización y el conchado. No obstante, se desconoce el grado de influencia que tienen los constituyentes del grano, los factores ambientales, el tratamiento post-cosecha y las tecnologías de procesamiento sobre la formación del sabor y del aroma en el chocolate. Con el aumento de los nichos especializados en productos de chocolate, una mayor comprensión de los factores que contribuyen a las variaciones en las características de sabor y aroma tienen importantes implicaciones comerciales. Por tanto las precauciones durante el procesamiento y la selección de los ingredientes son necesarias para lograr atributos deseables. Todo esto hace relevante la necesidad de investigar sobre esta temática.

**Palabras Clave:** Cacao, chocolate, calidad sensorial, procesamiento, alimento.

English

#### FACTORS INFLUENCING THE SENSORY QUALITY OF CHOCOLATE

##### SUMMARY

*The causes that determine why and which foods are consumed are numerous, but in the case of chocolate, unique sensory properties are perhaps paramount. Its*

Português

#### FATORES QUE INCIDEM NA QUALIDADE SENSORIAL DO CHOCOLATE

##### RESUMO

*As causas que determinam quais alimentos consumir e por que, são numerosas, no entanto para o chocolate, as propriedades sensoriais únicas são talvez as mais*

*distinctive texture, flavor and aroma, along with its appealing color, make chocolate the most popular cocoa product. A good chocolate begins with the cocoa tree, it continues with the harvest season, then with its benefits and ends with the various processing steps involved in the manufacturing process. During these steps, there are several factors which affect its sensorial quality. In fact, chocolate character not only originates in aroma and flavor precursors present in cocoa beans, but also it is generated during post-harvest treatments and transformed into desirable odor notes in the manufacturing process. Moreover, complex biochemical modifications of bean constituents are altered by thermal reactions in roasting, alkalization, and conching. However, it is not clear up to what extent the bean constituents, environmental factors, post-harvest treatment and processing technologies influence the chocolate flavor and aroma formation. With the creation of more niches specializing in chocolate products, a better understanding of the factors contributing to the variations in flavor and aroma characteristics would have significant commercial implications. Thus it is necessary to take precautions during the processing and selection of ingredients in order to produce the desirable attributes. All these data suggest that further investigation on the subject is required.*

**Keywords:** cocoa, chocolate, sensory quality, processing, food

*importantes. A textura, o sabor e o aroma característicos, assim como uma cor atrativa, fazem do chocolate; o produto de cacau mais popular. O caminho para um bom chocolate começa com a árvore de caco, continua na colheita, o benefício e as diferentes fases de processamento envolvidas no desenvolvimento do mesmo. Durante estas etapas atuam diferentes fatores que incidem na sua qualidade sensorial. Na verdade, o caráter do chocolate não se origina apenas a partir dos precursores do sabor e do aroma inerentes ao grão do cacau, mas também são gerados durante os tratamentos pós-colheita, ao transformar-se em notas desejáveis durante o processo de manufatura. Além disso, complexas modificações bioquímicas dos constituintes do grão são alterados devido às reações térmicas dadas durante a tostagem, a alcalinização e a conchagem. No entanto, desconhece-se o grau de influencia que têm os constituintes do grão, os fatores ambientais, o tratamento pós-colheita e as tecnologias de processamento sobre a formação do sabor e do aroma no chocolate. Com o aumento dos nichos especializados em produtos de chocolate, uma maior compreensão dos fatores que contribuem para as variações nas características de sabor e aroma têm importantes implicações comerciais. Por tanto, as precauções durante o processamento e a seleção dos ingredientes são necessárias para obter atributos desejáveis. Tudo isto torna relevante a necessidade de pesquisar sobre este assunto.*

**Palavras-chave:** Cacau, chocolate, qualidade sensorial, processamento, alimento

## Introducción

El cacao (*Theobroma cacao*) es un cultivo de notable importancia económica para Venezuela; declarado recientemente, por el gobierno nacional, como producto de primera necesidad. Y debido al alto valor nutricional y amplio consumo en la alimentación del pueblo venezolano y del mundo en general; la producción de cacao, chocolates y subproductos pasan a constituir una prioridad en el país.<sup>1</sup>

Gran parte del cacao Venezolano es exportado y continúa siendo considerado entre los más finos de aroma del mundo, sin embargo, su participación en el mercado internacional es prácticamente imperceptible en las estadísticas.<sup>2</sup>

Durante los últimos años las compañías procesadoras de cacao, y en particular aquellas encargadas de la producción de chocolate, han comprendido que la calidad sensorial constituye el éxito de un producto y, para ello, es necesario conocer los factores que determinan la calidad sensorial de dicho producto. En la elaboración del chocolate se pueden citar innumerables factores vinculados a ésta, cuyo manejo apropiado puede gene-

rar un carácter aromático distintivo y deseable.<sup>3</sup>

Los estudios que se han realizado en torno a las diferentes etapas que conforman la elaboración del chocolate son diversos. Sin embargo, la bioquímica y los procesos químicos que conducen a la formación y al desarrollo del aroma y del sabor del chocolate, su relación con el carácter final y la percepción de la calidad no se entienden por completo.<sup>4</sup> Esta situación hace necesario compilar la información existente referente a los diferentes factores que determinan la calidad sensorial del chocolate.

## Factores que influyen en la formación del aroma a cacao y la calidad sensorial del chocolate

La semilla del fruto del árbol de cacao es la principal materia prima para la elaboración del chocolate, la cual es sometida a una serie de etapas de transformación primaria en donde se efectúa la cosecha, la apertura de la vaina, la fermentación y el secado.<sup>5,6</sup> Posteriormente se procede con el proceso de manufatura del chocolate en el cual los granos son limpiados y tostados, segui-

dos por la producción del licor de cacao, mezcla y refinado, conchado, temperado y moldeado, enfriamiento y finalmente el embalaje, almacenamiento y distribución.<sup>7</sup> El sabor, el aroma, la apariencia y la textura son fundamentales para la aceptación del chocolate, los cuales están influenciados de una u otra forma por diversos factores, tales como la variedad de cacao, el clima, el suelo, el tratamiento post-cosecha, así como por el proceso de manufactura del chocolate<sup>8</sup>, mencionado anteriormente.

El cacao está distribuido en las tierras bajas tropicales y se cultiva principalmente entre los 20° de latitud norte y 20° de latitud sur, dentro de un estrecho cinturón ecuatorial que atraviesa América Central y del Sur, África y Asia (figura 1).<sup>9</sup> En América, el cacao se cultiva desde el sur de México hasta Brasil y Bolivia.<sup>10,11</sup>

FIGURA 1  
Países productores de cacao (en gris).



Cruces intencionales y accidentales producidos por el hombre y por los animales han generado una gran cantidad de inter-mezclas y la dilución genética de las variedades más importantes.<sup>12,13</sup> Sin embargo, varios autores han clasificado los cacaos cultivados en varios grupos, teniendo en cuenta las características fenotípicas de la morfología del fruto y de las semillas, además de la distribución geográfica de las formas y el origen de las mismas. Según estos factores, los cacaos se agrupan en tres grandes grupos; Criollos, Forasteros y Trinitarios.<sup>14,15</sup>

Forastero, también conocido como "cacao ordinario" es el principal cacao cultivado en todo el mundo, y representa aproximadamente el 80-90% de la producción mundial.<sup>16,17</sup> Es de alto rendimiento, el más resistente a plagas y a las enfermedades y el más tolerante a la sequía.<sup>18</sup> Los granos de cacao Forastero tiene un sabor inherente fuerte, tienden a ser un poco amargos y por lo general de color marrón oscuro. La variedad se origina en la región del Alto Amazonas y crece en varios países de Sudamérica como Perú, Ecuador, Colombia, Brasil, Guyana, y el sur de Venezuela. También se

encuentran en África occidental, así como en el sudeste de Asia.<sup>17,19</sup>

El cacao criollo tiene cotiledones blancos y un sabor suave de nuez. Estos granos son susceptibles a las enfermedades y producen bajos rendimientos.<sup>20</sup> Esta variedad es poco frecuente y sólo se encuentra en las antiguas plantaciones de Venezuela, América Central, Sri Lanka y Samoa. También crece en las islas del Océano Índico, como Java, Madagascar y las Comoras.<sup>15,17,21</sup> En la actualidad, esta variedad representa sólo el 1.5% de la producción mundial y se caracteriza por la amargura leve (pero no desagradable), la astringencia leve, finos aromas, y un color pálido que le da al chocolate un tinte rojizo.<sup>19,22</sup>

El Trinitario representa el 10-15% de la producción mundial.<sup>19</sup> Los datos históricos señalan que son plantas híbridas originalmente formadas a partir del cruce natural entre el criollo y el amelonado forastero del Bajo Amazonas en el Siglo XVIII en la isla de Trinidad; además de hibridaciones deliberadas a través de distintos programas de selección para el mejoramiento inicialmente desarrollado en Trinidad. Lo más sobresaliente de este cacao es su heterogeneidad, con morfologías intermedias entre sus padres; es más resistente y productivo que el cacao criollo pero de inferior calidad. Actualmente se encuentra cultivado en México, Centroamérica, Trinidad y Tobago y las Antillas, Colombia, Venezuela, en países productores del África y sureste de Asia.<sup>21</sup> El color blanco de las almendras (criollos) y los tonos del forastero (violeta claro y oscuro) han originado un producto de calidad para la fabricación de polvo de chocolate.<sup>22</sup>

Una variedad que sólo se cultiva en Ecuador es la llamada Nacional o Arriba y puede tener su origen en la zona amazónica del Ecuador. Es muy aromática, pero más tánico que el criollo y de color más oscuro. Las variedades puras de cacao Nacional están casi extintas. Las variedades que tienen un sabor 'Arriba' en el Ecuador se sabe que son híbridos entre Nacional y Trinitario.<sup>22,23</sup>

A pesar de la existencia de estas clasificaciones generales, el comerciante de grano de cacao está más interesado en los diferentes sub-especies o híbridos que han resultado de las selecciones de cruzamiento y de semillas en los últimos años.<sup>12</sup> Cada variedad de cacao viene con características propias que contribuyen al aroma / sabor del chocolate producido a partir de ella. El potencial aroma individual del cacao crudo determina su clasificación como cacao fino o de aroma, con una característica particular, sabor aromático o el cacao a granel sin una nota de aroma específico.<sup>24</sup> La producción del chocolate involucra complejos procesos físicos y químicos, determina características reológicas, el desarrollo del sabor y del aroma, las propiedades de fusión y finalmente el carácter de la percepción sensorial.<sup>25,26</sup> Hay varios estudios sobre los precursores de la formación

del sabor y del aroma en el cacao y en el chocolate. Notas específicas están relacionadas con el genotipo de grano, las condiciones de cultivo y los factores de procesamiento del mismo.<sup>27-29</sup>

### Composición del grano

El grano de cacao está recubierto por una pulpa mucilaginosa de color blanco, sabor azucarado y ácido<sup>30</sup>, la cual representa un rol clave en la formación del aroma y del sabor a cacao.<sup>31</sup> Al eliminar el mucílago o pulpa aparece una envoltura delgada que constituye el tegumento o cáscara de la semilla.<sup>30</sup> La cáscara representa aproximadamente el 13% del peso seco del grano de cacao. El núcleo o cotiledón representa la mayor parte del grano (86-90%), y le confiere sabores y aromas característicos de chocolate y está compuesto de dos tipos de células del parénquima de almacenamiento.<sup>32</sup> Un tercio de los cotiledones está constituido de células con compuestos polifenólicos (taninos, antocianinas y proantocianidinas) y metilxantinas (cafeína, teobromina) conformando una gran vacuola única, y los dos tercios restantes están conformados por células de reserva, conteniendo lípidos, proteínas y enzimas.<sup>33</sup> Los pigmentos polifenólicos, cuando son perturbados, le confieren un color morado oscuro a los cotiledones frescos de forastero.<sup>34</sup> Reineccius *et al.* (1972)<sup>35</sup> reportaron diversas cantidades de azúcares en el grano fresco sin fermentar. Las diferencias se han atribuido al método y al tiempo de la cosecha, al tipo y al origen del cacao en grano.

Investigaciones demuestran que los granos del cacao son ricos en antioxidantes específicos, con la estructura básica de las catequinas y epicatequinas; polifenoles similares a los encontrados en los vegetales y en el té.<sup>36</sup> Dependiendo del contenido de antocianina, el rango de pigmentos en las células de almacenamiento de polifenoles varía desde blanco a morado oscuro. Polifenoles y alcaloides, constituyen entre el 14% y el 20% del peso del grano, y son el elemento central en el carácter del aroma y del sabor del cacao. Pueden distinguirse tres grupos de polifenoles: proantocianidinas (58%), catequinas (37%) y antocianinas (4%). Las antocianidinas y proantocianidinas son flavonoides de particular interés como precursores del color.<sup>37</sup>

Los polifenoles solubles en grasa de cacaos forasteros frescos libres de grasa forman desde 15 a 20%, que corresponde a aproximadamente 5% después de la fermentación. El contenido de 10% o más se considera un signo de mala (pobre) fermentación. Altas concentraciones de polifenoles conducen a un chocolate de sabor muy astringente. Los granos de cacao criollo tienen aproximadamente dos tercios de este contenido de polifenoles, y no se han encontrado antocianinas.<sup>38</sup> Reacciones de los polifenoles con el azúcar y aminoácidos contribuyen al sabor, al aroma y al color de las almendras de cacao, y los alcaloides a la amargura.<sup>39</sup>

En las vacuolas de reserva de los cotiledones se encuentran albúmina y especies de globulina como proteínas de almacenamiento. La globulina representa el 43% de las proteínas de las semillas y se degrada en la fermentación, sin embargo ello no ocurre con la albúmina. La degradación de las proteínas de los cotiledones en péptidos y aminoácidos libres parece ser fundamental para la formación del aroma y del sabor. La acción combinada de la endopeptidasa aspártica y serina carboxi-(exo)peptidasa produce precursores específicos de cacao.<sup>40</sup> Kirchoff *et al.*, (1989)<sup>41</sup> observaron una correlación entre la acumulación de aminoácidos libres y la generación de precursores de aromas específicos, con proceso proteolítico dependiente del pH. La actividad de las dos enzimas clave es dependiente del pH, cercano a 3.8 (óptima para endopeptidasa aspártica), que produce más oligopéptidos hidrofóbicos y menos aminoácidos libres, mientras que con un pH cerca de 5,8, el óptimo para serina exopeptidasa, hay un aumento en los oligopéptidos hidrofílicos y aminoácidos hidrofóbicos. Proteínas relacionadas con el almacenamiento o las peptidasas alternativas no producen precursores apropiados del aroma. Con una rápida caída de pH (<4,5) se observa una reducción en los precursores y una lenta difusión de los ácidos orgánicos a través de los cotiledones, el momento de la entrada inicial, la duración del período de pH óptimo, y el pH final son cruciales para el sabor final, dando como resultado una mezcla de péptidos hidrofóbicos e hidrofílicos. Los últimos son más importantes para la formación de las notas de aroma característico. Así, la composición del grano interactúa con la fermentación en la formación de la calidad del sabor y aroma del cacao.<sup>42,43</sup>

Los productos generados de la ruptura de las proteínas de bajo peso molecular y los azúcares reductores contribuyen a las reacciones de Maillard que causan el sabor y el aroma del cacao durante el tostado. Los péptidos y aminoácidos libres hidrofóbicos, específicamente la leucina, alanina, fenilalanina, y tirosina liberados durante la fermentación por la actividad de la proteinasa aspártica y la carboxipeptidasa, contribuyen al sabor y aroma mediante la reacción con fructosa y glucosa (presentes en los granos frescos).<sup>44</sup>

Las almendras frescas con bajo contenido de precursores del aroma y del sabor tendrán un uso comercial limitado y las actividades durante la fermentación no serán capaces de corregir este déficit.<sup>45</sup> Las cantidades apropiadas y la relación de los precursores son esenciales para la producción óptima de compuestos volátiles en el tostado.<sup>44</sup> Cambios subcelulares en los cotiledones liberan enzimas claves que efectúan reacciones entre los sustratos pre-existentes en los granos sin fermentar. Las enzimas presentan diferentes estabildades durante la fermentación y pueden ser inactivadas por calor, ácidos, polifenoles, y proteasas. La aminopeptidasa, la invertasa del

cotiledón, la invertasa de la pulpa, y la polifenol oxidasa son inactivadas significativamente, la carboxipeptidasa es parcialmente inactiva, mientras que la endoproteasa y las glicosidasas permanecen activas durante la fermentación.<sup>46</sup> Hansen *et al.* (2000)<sup>47</sup> señalaron que las diferencias en las actividades de las enzimas se pueden explicar en parte por la variación en la mazorca y en el genotipo, pero en general, las actividades presentes en los granos no fermentados no parecen ser un factor limitante para la formación óptima del precursor del aroma y del sabor en la fermentación. Los efectos significativos de la fermentación pueden estar relacionados con factores tales como la secuencia de la proteína de almacenamiento y la accesibilidad, la destrucción de la compartimentación celular, la movilización enzimática, y los cambios en la pulpa y en la cascara. La actividad de la proteinasa y peptidasa en la fermentación parece ser fundamental para la calidad del buen sabor y aroma.<sup>48</sup> Existen diferencias significativas en la actividad enzimática entre los diferentes genotipos de cacao, pero no se han establecido relaciones simples y generales entre el potencial del sabor y el aroma de los genotipos y las actividades enzimáticas claves en los granos no fermentados.<sup>43</sup>

### Genotipo del grano: su efecto en el aroma y sabor a cacao

El genotipo influye tanto en la calidad del sabor como en la intensidad del chocolate<sup>49</sup> probablemente determinando las cantidades de precursores y la actividad de las enzimas y, por lo tanto, las contribuciones a la formación del aroma y del sabor. Reineccius (2006)<sup>4</sup> concluyó que las diferencias varietales se debieron principalmente a diferencias cuantitativas (en lugar de cualitativas) en el precursor del sabor y del contenido de polifenoles. El contenido de azúcares y la ruptura enzimática de los polisacáridos constituyen una fuente importante de precursores. Sin embargo, los procesos post-cosecha (fermentación y secado), y el tostado tienen una fuerte influencia en el aroma y en el sabor finales.<sup>50</sup> Los tres

principales tipos de cacao: forastero (de grado corriente u ordinario), criollo (grado fino), y el híbrido, trinitario (grado fino) muestran grandes variaciones en el aroma y en el sabor finales.<sup>51</sup> El cacao Nacional (Ecuador) es visto como una tercera variedad fina: la producción de este es caracterizado por un distintivo aroma floral y notas picantes en el sabor y en el aroma.<sup>49</sup>

Estas diferencias en el sabor y aroma se pueden atribuir a la variación de la composición del grano, desde el origen botánico, lugar de crecimiento y condiciones agrícolas. Las variedades voluminosas dominan las mezclas mientras que las de grado fino, usadas en menores cantidades, son seleccionadas para hacer contribuciones específicas al perfil general del aroma.<sup>26</sup>

Cros y Jeanjean (1998)<sup>52</sup> elaboraron un esquema general del desarrollo del aroma a cacao que permitió poner en evidencia, en las almendras de forastero y trinitario, la presencia de un aroma constitutivo y de un aroma de origen poscosecha. Sin embargo, establecido a partir de cacaos secados, este esquema no permite distinguir los papeles respectivos de la fermentación y del secado. Así mismo, con el objetivo de caracterizar la influencia de las condiciones de fermentación sobre el desarrollo del aroma y la calidad del cacao criollo Venezolano en función del tratamiento poscosecha, en especial el rol de la fermentación, secado y tostado, Portillo *et al.* (2009)<sup>53</sup> condujeron una serie de experimentos concernientes a la calidad aromática del cacao criollo. En éstos se concluyó que también existen compuestos constitutivos del grano fresco y otros, de origen químico, bioquímico y térmico, formados durante los procesos de fermentación, secado y tostado.<sup>53</sup>

Como ha sido mencionado, cada variedad de grano tiene un potencial único en la formación del carácter aromático. La tabla 1 resume cómo las diferencias en origen genético, la variedad de cacao, y la duración de la fermentación influyen en el perfil del sabor y aroma, pero las diferentes condiciones pueden dar lugar a diferencias significativas en el sabor y en el aroma de una

TABLA 1

**Efecto del origen, variedad de cacao y duración de la fermentación en la formación del carácter aromático.**

Origen	Tipo de cacao	Duración (Días)	Carácter aromático especial
Ecuador	Nacional (Arriba)	2 cortos	Aromático, floral, picante y verde
Ecuador	Criollo (CCN51)	2	Ácido, fuerte, bajo en cacao
Ceilán	Trinitario	1.5	Floral, afrutado, ácido
Venezuela	Trinitario	2	Bajo en cacao, ácido
Venezuela	Criollo	2	Afrutado, frutos secos
Zanzíbar	Criollo	6 y medio	Floral, afrutado
Venezuela	Forastero	5	Afrutado, pasas, caramelo
Ghana	Forastero	5	Cacao básico fuerte, notas frutales
Malasia	Forastero/Trinitario	6	Ácido, fenólicos
Trinidad	Trinitario	7-8 Largos	Vinoso, pasas, melaza
Granada	Trinitario	8-10	Ácido, afrutado, melaza
Congo	Criollo/Forastero	7-10	Ácido, a cacao fuerte
Papúa Nueva Guinea	Trinitario	7-8	Afrutado, Ácido

Fuente: Afoakwa *et al.*, 2008.<sup>44</sup>

sola variedad de cacao. Un buen ejemplo es la diferencia en el perfil de sabor y aroma dentro de una misma variedad.<sup>44,54</sup>

El cacao corriente u ordinario suele mostrar un carácter aromático fuerte, cacaos finos son percibidos como aromáticos o más suaves.<sup>49</sup> Clapperton *et al.* (1994)<sup>54</sup> observaron, según el origen del grano, diferencias consistentes en los atributos del aroma y sabor, específicamente en la intensidad aromática a cacao en general, acidez, grado de acidez, amargura, y astringencia. Así mismo, el carácter aromático en trinitarios no identificados (UIT1) obtenidos en Sabah (Malasia), difieren de la variedad de África Occidental Amelonado, que se caracteriza por un intenso amargor y astringencia asociados con la cafeína y con el contenido de polifenoles. Granos fermentados del sudeste asiático y el Pacífico Sur se caracterizan por una acidez más alta (más láctico y ácido acético) que los granos del oeste de África debido a las diferencias varietales, al área de fermentación (caja), y al secado rápido artificial.<sup>54</sup>

Los licores de cacao se diferencian en las características sensoriales. El grupo Occidental africano (Ghana, Costa de Marfil y Nigeria) son generalmente considerados como fuentes estándar del sabor y del aroma del cacao (de referencia) con un cacao equilibrado pero pronunciado carácter de cacao con sutiles matices moderados a nuez. Los Licores de Camerún son conocidos por la amargura, los de Ecuador por notas florales especiadas. Las variedades Americanas y del Oeste de la India van desde notas vinosas y aromáticas del cacao trinitario hasta notas frutales o florales de los cultivos del Ecuador, realizando contribuciones únicas a las mezclas. Los granos Asiáticos y de Oceanía exhiben una amplia gama del perfil del aroma y sabor, que van desde notas sutiles de cacao y nuez dulce en granos de Java hasta intensas notas a ácido fenólico en los de Malasia<sup>55</sup>. Counet *et al.* (2004)<sup>56</sup> reportaron sobre variedades finas con corto proceso fermentativo que tenían un alto contenido de procianidinas, mientras que el trinitario de Nueva Guinea y los granos forastero fueron específicamente superiores en aroma total. Se encontró que compuestos aromáticos formados durante el tostado varían en forma directamente proporcional con el tiempo de fermentación, y de forma inversa con el contenido de procianidina en el licor de cacao.

De productos de Maillard, Reineccius (2006)<sup>4</sup> reportó un mayor rendimiento en el tostado de los granos bien fermentados (Ghana, Bahía), con mayores niveles de pirazinas, que en los granos menos fermentados (Arriba) o sin fermentar de Sánchez (República Dominicana) o de Tabasco (México). La menor astringencia y amargura impartidas por los polifenoles en los granos criollos, donde las antocianinas están ausentes, son a menudo menos fermentados que los del forastero.<sup>49,54</sup>

## Tratamiento postcosecha

### - Proceso de fermentación

La fermentación es esencial para el desarrollo de apropiados aromas a partir de precursores. Después de la cosecha del fruto, el grano y la pulpa adherida se transfieren a pilas, cajas o cestas para la fermentación que dura de 5 a 6 días para los granos forasteros, pero para el criollo sólo 1 a 3 días. En el primer día, la pulpa adherida se licua y se escurre, con aumentos constantes de la temperatura. Bajo condiciones anaeróbicas, los microorganismos producen ácido acético y etanol que migran lentamente al grano causando el hinchamiento que inhibe, a su vez, la germinación y contribuye a los cambios estructurales, como la eliminación de la compartimentación de enzimas y sustratos, con movimientos de los componentes citoplasmáticos a través de los cotiledones del cacao por lo general entre 24 y 48 h de la fermentación del grano. Al tercer día, la masa de granos se ha calentado típicamente alrededor de 45°C, manteniéndose a 45-50°C hasta que la fermentación se ha completado (Fowler, 1999).<sup>57</sup>

Los granos de pH más alto (5,5 a 5,8) se consideran no fermentados, con un bajo índice de fermentación y puntuación en la prueba de corte, y aquellos de pH más bajo (4,75-5,19), bien fermentados. Las técnicas de fermentación pueden reducir las notas ácidas y maximizar el sabor y el aroma del chocolate.<sup>58</sup> Ziegler (1991)<sup>59</sup> comparó los extractos de cacao, ácido natural (pH 5,5-6,5) y alcalino (pH 8), obtenidos por extracción; el primero poseía un aroma a chocolate más intenso que el segundo, atribuido al alto contenido de ácidos aromáticos y a los productos de la degradación del azúcar, con persistentes notas dulces aromáticas y a caramelo. Los granos de cacao de bajo (4,75 a 5,19) y alto pH (5,50-5,80) obtuvieron puntuaciones bajas para el aroma a chocolate y altos para las notas de malos aromas, respectivamente, y los granos de pH intermedio (5,20-5,49) fueron los de mayor puntuación para el aroma a chocolate.

Durante la fermentación, la sacarosa y los componentes proteicos son parcialmente hidrolizados, los compuestos fenólicos oxidados y la glucosa es convertida en alcoholes y oxidada a ácido acético y ácido láctico. Los granos posteriormente sufren una fase anaeróbica hidrolítica, seguida por una condensación aeróbica. En el tiempo, la secuencia de eventos, y el grado de hidrólisis y oxidación varía entre las fermentaciones. La concentración de los precursores del aroma depende de los mecanismos enzimáticos. Los cambios de color también se producen con la hidrólisis de compuestos fenólicos por glicosidasas acompañado por el blanqueo, influyendo en el carácter del aroma final.<sup>44</sup>

Los precursores nitrogenados de aroma, formados durante la fases anaeróbicas, están dominados por los aminoácidos y péptidos disponibles por reacciones de

condensación, amino-carbonilo, no oxidativas promovidas en las fases de temperatura elevada, como la fermentación, el secado, el tostado y la molienda. Aunque degradada a precursores de aromas, la proteína residual también es disminuida por las interacciones fenol-proteínas. Durante las fases aeróbicas, ocurren reacciones mediadas por el oxígeno, tales como la oxidación de los complejos proteína-polifenol formados anaeróbicamente. Estos procesos reducen la astringencia y la amargura: los polifenoles oxidados influyen posteriormente en las reacciones de degradación.<sup>39</sup> El método de fermentación determina la calidad final de los productos elaborados, especialmente en su sabor y aroma. Estudios previos sobre post-cosecha, almacenamiento del fruto y esparcimiento del grano, han demostrado una marcada mejoría en el sabor y el aroma del chocolate y una reducción de la acidez, la amargura y la astringencia. En la producción comercial, efectos similares se obtuvieron mediante la combinación de almacenamiento del fruto, presión, y aireación.<sup>60</sup> Las variaciones en factores tales como la duración del almacenamiento del fruto, afectan el pH, la acidez y la temperatura alcanzada durante la fermentación, lo que influye en la actividad enzimática y en el desarrollo del sabor y del aroma.<sup>42</sup>

Granos inmaduros y sin fermentar desarrollan poco sabor y aroma a chocolate luego del tostado, y la fermentación excesiva rinde aromas a jamón y pútridos no deseados.<sup>4</sup> El aroma afrutado en el cacao está fuertemente correlacionado con la acidez, y como se ha planteado aumenta en la etapa de fermentación. Además, según Wood y Lass (1985)<sup>61</sup>, los granos de cacao contienen, de forma natural, pequeñas cantidades de ácido cítrico (0,5% después de la fermentación y secado), que puede ser suficiente para proporcionar notas cítricas. Dicho aroma a fruta (y flores) también puede venir en forma de alcoholes superiores, producidos por las levaduras durante la fermentación.

#### **- Proceso de secado**

El desarrollo del aroma a partir de los precursores de los granos de cacao continúa durante el secado con el desarrollo de un color marrón característico. Las principales reacciones de oxidación de los polifenoles son catalizadas por polifenol oxidasas, dando lugar a nuevos componentes del aroma, y la pérdida de la integridad de la membrana, induce la formación del color marrón.<sup>62</sup>

Después de la fermentación y el secado, el objetivo en los granos de cacao es el contenido de humedad de 6-8% aproximadamente. Para el almacenamiento y transporte el contenido de humedad debe ser <8% o puede darse crecimiento de mohos.<sup>51</sup> Los indicadores de un buen secado y de la calidad de los granos son un buen color marrón, baja astringencia y amargura y la ausencia de aromas y sabores no deseados como notas ahumadas y acidez excesiva.<sup>63</sup>

El pH de los granos recién cosechados es de alrededor

de 6,3. Al final de la fermentación y del secado, los granos son más ácidos, con un pH más bajo de alrededor de 4,5 a 5,8. La excesiva acidez en el grano de cacao seco es causada con mayor frecuencia por la fuerza de secado de los granos con demasiada rapidez, a una temperatura demasiado alta como ocurre en el secado artificial. Esto hace que las conchas se sequen y endurezcan rápidamente y, por lo tanto, se vuelvan impermeables al ácido acético, el cual queda atrapado en el interior del grano.<sup>64</sup>

La evaluación sensorial de granos de cacao secados de distintas formas, es decir, secado al sol, secado con inyección de aire, secado en sombra y secado al horno, sugirió que el secado al sol de los granos fue el mejor calificado en el desarrollo del chocolate con menos notas desagradables.<sup>39,51</sup>

Frauendorfer y Schieberle (2006)<sup>65</sup> identificaron componentes de sabor y aroma similares en el polvo de cacao usando una correlación sensorial molecular. Las notas desagradables a partir del secado incompleto o remojo por lluvia puede resultar en altos niveles de actividad de agua y contaminación por mohos, produciendo una alta concentración de carbonilos fuertemente aromatisados, que conducen a alteraciones en el aroma del grano, la producción de aromas a jamón, no deseados, lo cual también se correlaciona con el exceso de fermentación.<sup>28,64</sup> La teoría más aceptada en relación a la formación de aromas a jamón, es explicado por la estabilidad de la endoproteasa, lo que significa que no se desactiva durante la fermentación. Por lo tanto, en los granos con una fermentación durante demasiado tiempo, la endoproteasa (y otra enzima, la carboxipeptidasa) eventualmente rompen también las proteínas de almacenamiento de la albúmina. Cuando estas proteínas se descomponen en sus partes constituyentes, se libera principalmente los aminoácidos siguientes: el ácido aspártico, ácido glutámico, y asparagina, los cuales tienen un sabor umami.<sup>64</sup>

#### **- Proceso de tostado**

El tostado del cacao es un paso esencial para seguir desarrollando el sabor y el aroma a chocolate, a partir de los precursores formados durante la fermentación y el secado. El tostado del grano completo libera la cáscara que luego se extrae fácilmente durante el aventado. Antes del tostado, los granos de cacao tienen aroma y sabores amargo, ácido, astringente, y a nueces. El tostado además disminuye la acidez reduciendo las concentraciones de ácidos volátiles tales como el ácido acético<sup>19,66</sup>, pero no los no-volátiles tales como los ácidos oxálico, cítrico, tartárico, succínico y láctico.<sup>51</sup> Asimismo, notas amargas son evocadas por la teobromina y la cafeína, junto con diketopiperizinas formadas a partir del tostado, a través de la descomposición térmica de las proteínas.<sup>4</sup> El grado de tostado del cacao muestra una relación tiem-

po / temperatura dependiente, durante períodos de 5 a 120 minutos y en el rango de 120 a 150°C. El tostado a baja temperatura se emplea para los chocolates de leche y ciertos chocolates oscuros. Una práctica alternativa es el tostado de *nibs*, en el cual los granos enteros son precalentados, justo por debajo de 100°C, para aflojar la cáscara que luego es eliminada. Los *nibs* son entonces tratados (por ejemplo, alcalinizados) y tostados.<sup>51</sup>

Las reacciones de Maillard, fundamentales para el desarrollo de sabor y aroma del cacao, son importantes en el tostado, participan aminoácidos libres, péptidos, y azúcares reductores.<sup>67</sup> Voigt *et al.* (1994)<sup>45</sup> señalaron que los aminoácidos hidrofóbicos leucina, alanina, fenilalanina y tirosina, liberados por la actividad de la proteinasa en la fermentación, son importantes contribuidores, así como lo son los azúcares reductores fructosa y glucosa derivados de la hidrólisis de la sacarosa. Los aldehídos y pirazinas son sustancias químicas volátiles que se producen en el cacao durante el tostado, como resultado de las reacciones de Maillard. Los clásicos aromas a chocolate y a nueces en el cacao son producidos principalmente por los aldehídos y pirazinas, respectivamente.<sup>67</sup>

La naturaleza de los componentes "amino" es crucial para la formación del aroma y del sabor del chocolate pero no sólo los aldehídos formados activan el aroma y el sabor sino que reacciones adicionales generan compuestos heterocíclicos importantes para el carácter final. La leucina y la glucosa generan notas aromáticas que se describen como "chocolate dulce", la treonina y la glutamina y la glucosa forman notas de "chocolate", cuando se calienta a 100°C y la valina y la glucosa, calentadas a 180°C proporcionan notas descritas como "chocolate penetrante".<sup>62</sup> Tales notas aromáticas indican que las reacciones han procedido más allá de la etapa inicial.

Las etapas finales de las reacciones de Maillard son probablemente menos comprendidas, pero se acepta generalmente que la condensación aldólica y la ciclación conducen a la formación de volátiles aromáticos heterocíclicos como las pirazinas, mientras que la polimerización produce pigmentos melanoidínicos. El pirivaldehído y la valina, por ejemplo, generan productos finales que contribuyen al sabor y al aroma a nuez.<sup>68</sup> Varias síntesis bibliográficas concernientes a la caracterización de los compuestos volátiles y de los compuestos del sabor y aroma han sido efectuadas por Ramli, *et al.*, (2006)<sup>66</sup>. Las pirazinas son los compuestos predominantes (el 20 % del número de compuestos identificado en el aroma), seguidos por los ésteres (13 %), hidrocarburos (13 %) y los ácidos (11 %).<sup>66</sup>

El tostado puede desempeñar un papel en la producción de notas florales (por ejemplo, el compuesto aromático fenilacetaldehído se forma durante el tostado, y tiene un aroma floral / miel. Pero indudablemente hay otros factores que contribuyen en la producción de aro-

mas florales en el cacao. Precisamente estos factores siguen siendo un misterio.<sup>69</sup>

Uno de los más comunes compuestos químicos con olores florales que se encuentran en el cacao es el linalol, un terpeno presente de forma natural en muchas flores y frutos. Exactamente no se conoce hasta el momento de dónde proviene el linalol en los granos de cacao fermentado, pero es sin duda entre la fermentación, y antes del tostado.<sup>70</sup> Aunque, algunos se lo atribuyen al proceso de fermentación en sí, al ser producido por algunas levaduras presentes en esta etapa.<sup>71</sup>

#### - Proceso de alcalinización.

La alcalinización (tratamiento de semillas de cacao o licor con soluciones alcalinas) se lleva a cabo principalmente para cambiar el color, pero también influye en el aroma y en el sabor del cacao en polvo. La alcalinización es común en los productos de cacao, tales como bebidas para mejorar la solubilidad o en la cocción o coberturas.<sup>51</sup> Dimick y Hoskin (1999)<sup>62</sup> sugirieron que los granos de cacao de Malasia y Brasil están caracterizados por su alta acidez y bajo sabor y aroma a chocolate, lo que limita el posible desarrollo del carácter en el procesamiento, y Sharif (1997) mostró que se podrían lograr mejoras en la calidad de los granos y licores de cacao de estos orígenes con tratamientos alcalinos que reducen la acidez antes del tostado del grano. Sharif (1997) señaló que la alcalinización de los granos de cacao de Malasia a pH 6,0 no generó cambios significativos ( $p \leq 0,05$ ) de sabor y aroma respecto de los controles, pero los chocolates de granos alcalinizados a pH 7,2 y 8,1 fueron significativamente diferentes y el chocolate negro preparado a partir de cacao de Costa de Marfil, Malasia y Brasil presentó notas agrias, amargas, y mohosas cambiadas de manera significativa mediante el tratamiento alcalino. La conclusión fue que los chocolates de licor de cacao alcalinado y procesado por capa fina tienen mejor sabor y aroma que los chocolates de granos tostados no alcalinizados.<sup>72</sup>

La alcalinización reduce la acidez así como la astringencia, mejorando e intensificando los rasgos típicos aromáticos del cacao. La reducción de la astringencia se efectúa por más polimerizaciones de flavonoides durante los tratamientos alcalinos.<sup>64</sup> Además, la modificación por adición de álcali a los granos, *nibs* o licor (granos de cacao tostados y molidos) se utiliza principalmente para la producción de cacao en polvo y con menos frecuencia para el chocolate de consumo. La acidez producida se reduce (aumenta el pH 5,2 a 5,6), con el pH del producto final cercano a la neutralidad, el sabor y aroma es más suave y el color es más oscuro por lo general, pero los productores de cacao en polvo pueden modificar el color de acuerdo con las necesidades del producto final.<sup>68</sup> Según las condiciones del proceso y el álcali utilizado, el color marrón amarillento inicial se convierte en



una gran variedad de matices que van desde marrón claro a rojo o incluso negro.<sup>64</sup>

### **Manufactura del chocolate - Molienda y refinación**

Después del tostado, los granos de cacao se rompen fácilmente en partículas grandes llamados "nibs". La molienda de los nibs y la posterior refinación del chocolate reducen las partículas del grano y otros ingredientes en el producto terminado.<sup>7</sup> El control del tamaño de las partículas es difícil, pero necesario para permitir una suave sensación en la boca a partir de la fundición de la manteca de cacao sin partículas perceptibles. Debido a que la molienda genera calor, el pardeamiento Maillard puede continuar durante este proceso, aunque reactivos tales como los azúcares pueden no estar disponibles.<sup>49</sup>

Un proceso común para la reducción de tamaño de partículas es el sistema de refinación en dos etapas. Las dos etapas de refinación son muy populares debido a la capacidad para utilizar azúcar grueso granulado en la refinación de la pasta. El azúcar granulado tiene una distribución de tamaño de partícula más uniforme que el azúcar en polvo molido. El aumento de la superficie del azúcar en polvo a las partículas pequeñas, requiere más manteca de cacao para humedecer las partículas de azúcar antes de la refinación que resulta en un mayor porcentaje de grasa total después de la refinación para una determinada viscosidad en el chocolate final.<sup>7</sup> Con menos partículas pequeñas en el azúcar granulado (más uniforme) en la pasta de pre-refinación, se necesita menos manteca de cacao para cubrir las partículas de azúcar y consecuentemente menos manteca de cacao es necesaria después de la refinación para lograr una viscosidad deseada en el chocolate final. Dado que la pasta que contiene el azúcar granulado es demasiado gruesa para cinco rodillos refinadores, para reducir el tamaño de las partículas a las especificaciones de recubrimiento con una sola pasada, la pasta es pre-molida (Primera etapa) a un tamaño de micras que es manejable por los cinco rodillos refinadores y, posteriormente, se reduce en micras hasta el tamaño de partícula deseado (segunda etapa). Además del tamaño de partícula de la pasta, después de la primera etapa de refinación, los atributos más importantes de la pasta (segunda etapa de refinación) son la humectabilidad y la consistencia.<sup>7,73</sup>

La reducción del tamaño de partícula y la homogeneización durante la refinación también desarrolla ciertos aromas y flujo característico del chocolate. La molienda más fina se traducirá en una mayor viscosidad y en un color más claro, mientras que la molienda más gruesa resultará en una menor viscosidad y en un color más oscuro al igual que el contenido total de grasa. Las partículas más pequeñas en tamaño ofrecen un mayor impacto en el aroma y en el sabor. También, una partícula de un tamaño muy fino puede producir un efecto empalagoso que puede ser desagradable. Las hojuelas

de chocolate refinado son raspadas del último rodillo y se depositan sobre una cinta transportadora que coloca las hojuelas en las conchas. La finura requerida de la mezcla depende de la aplicación en el producto final, la receta y las preferencias del cliente.<sup>64</sup>

### **- Proceso de conchado.**

El conchado permite liberar el máximo de sabor a chocolate durante el consumo. De igual forma, esta etapa produce diferentes efectos como: reducción del contenido de humedad, eliminación de los ácidos volátiles, aromas volátiles indeseables y algunos deseables, ruptura de los aglomerados, redondeo de los bordes de las partículas, reducción de la viscosidad y formación de algunos componentes del sabor.<sup>64</sup>

El conchado se considera esencial para el desarrollo final del sabor, aroma y textura adecuados.<sup>73</sup> Esta es la etapa final para ello en la fabricación del chocolate, ya sea negro o con leche. Los ácidos volátiles residuales y la humedad son removidos, los cristales de azúcar angulares y la viscosidad son modificados, y el color cambia debido a la emulsión y oxidación de taninos.<sup>4,25,51</sup> En general, es un proceso en dos etapas, la primera convierte a hojuelas o polvo hasta formar una pasta por medios mecánicos o energía calórica, conduciendo a la eliminación de la humedad y de los ácidos volátiles indeseables, causa oxidaciones, y distribuye los lípidos a través de una fase continua de grasa. La segunda etapa convierte la pasta espesa en un líquido que fluye libremente a través de la adición de manteca de cacao y lecitina.<sup>64</sup> Las condiciones de conchado muestran interacciones entre el tiempo y la temperatura, de modo que a temperaturas más altas se reduce el tiempo de procesamiento.

Los espacios de aire alrededor de una concha en la operación tienen olor a ácido acético, lo que sugiere una pérdida inicial de compuestos altamente volátiles, como el propio ácido acético y ácidos grasos volátiles de cadena corta, formados durante el proceso de fermentación. Esto fue confirmado por estudios cuantitativos.<sup>62</sup> Los fenoles volátiles muestran una reducción del 80% en las concentraciones de espacio libre a las pocas horas del conchado.<sup>19</sup> Dimick y Hoskin (1999)<sup>62</sup> concluyeron que los polifenoles, a través de la oxidación y los mecanismos enzimáticos, forman complejos con aminoácidos, péptidos y proteínas. El resultado es la retracción de volátiles activos para el sabor y aroma del espacio de cabeza y la reducción en la percepción de astringencia a través de interacciones irreversibles del fenol, y sabores y aromas finales más suaves.<sup>64</sup>

Hoskin y Dimick (1983)<sup>74</sup> sugirieron que en el conchado del chocolate oscuro, las concentraciones de aminoácidos no caen, como la temperatura y/o las concentraciones de los aminoácidos y los azúcares, sino que están por debajo de umbrales térmicos para las reacciones de Maillard. Heinzler y Eichner (1991)<sup>75</sup>, sin embargo, repor-

taron que los compuestos de Amadori formados en el secado y tostado disminuyen durante el conchado, y Pontillon (1995)<sup>76</sup> propuso la caramelización de la lactosa y las reacciones de Maillard con proteínas de la leche (en el chocolate de leche). El consenso es que los chocolates muestran una disminución marcada en el conjunto de aroma y sabores desagradables después de conchado.<sup>19</sup> Hay otras causas importantes de la baja acidez que pueden impedir la producción de chocolate de baja acidez, tales como: el secado suave de los granos después de la fermentación (nombrado) y la práctica de almacenamiento de las vainas cosechadas durante un máximo de dos semanas antes de la fermentación.<sup>64</sup>

Además, se ha encontrado que durante el conchado se incrementan en forma sustancial los niveles de algunos productos químicos aromáticos, incluyendo el furanol, en el chocolate. El furanol tiene un aroma a caramelo y, curiosamente, también es conocido como strawberry furanona, ya que se produce de forma natural en las fresas, y es un factor importante que contribuye al clásico aroma a fresa.<sup>71</sup> Se dice que algunos chocolates premium tienen un carácter de fresas con crema. La extensión del conchado es probablemente el principal contribuyente de esta característica en particular. Un carácter cremoso puede ser producido por un extenso conchado.<sup>64</sup>

La distribución del tamaño de la partícula influye en la estructura del chocolate (específicamente las interacciones entre las partículas y la microestructura de la red), la reología y la textura. El área de superficie específica y el tamaño medio de las partículas influyen en la fluencia, la viscosidad plástica, la propagación y la dureza del producto.<sup>26</sup> Genovese, Lozano, y Rao (2007)<sup>77</sup> sugieren que los parámetros no-hidrodinámicos como, por ejemplo, la forma, el tamaño de las partículas y la distribución del tamaño, la "deformabilidad" de las partículas y la polaridad de líquidos, influyen en la estructura y en el comportamiento fluido del chocolate.

Por otra parte, alimentos modernos más saludables (productos bajos en grasa y con menos azúcar) requieren modificaciones en los ingredientes y en la formulación de recetas con impacto en la liberación del sabor y en la reología de los productos, en la estructura y en la textura. El conocimiento de cómo las variaciones del contenido de grasa en la fase continua y en la distribución del tamaño de partícula podría influir en el sabor es muy útil para el desarrollo de productos y su fabricación.<sup>70</sup>

### - Proceso de Temperado

En este punto del proceso de chocolate, un importante procedimiento de enfriamiento y recalentamiento controlado se debe realizar con el fin de obtener un chocolate en un estado líquido para cristalizar en una forma estable. El desarrollo de la matriz cristalina adecuada de la manteca de cacao sólida tiene un impacto dramático en la calidad del acabado de una pieza de chocolate sólida, incluyendo: dureza, brillo, contracción, ritmo de

solidificación, liberación de sabor, resistencia a la floración de la grasa, tolerancia al calor y resistencia a la migración de grasa extraña.<sup>64</sup>

La manteca de cacao exhibe un polimorfismo y, más concretamente, exhibe un polimorfismo monotrópico. Esta es la capacidad de la grasa de existir en más de una estructura cristalina. El polimorfismo monotrópico significa que finalmente todos los polimorfos o tipos de cristales se transforman a la forma más estable. Es esta naturaleza polimórfica la que obliga a la manteca de cacao a solidificar para elaborar procedimientos que controlen la posibilidad de formación de cristales inestables o indeseables, mientras se optimiza el desarrollo de cristales de tipo, tamaño y cantidad apropiados.<sup>26</sup>

Dependiendo de la temperatura y velocidad de enfriamiento, la manteca de cacao puede solidificar en diversas formas cristalinas. Cada polimorfo se distingue sobre la base de la estructura cristalina del empaquetamiento de los triglicéridos, punto de fusión, y calor latente de fusión. Es conocido que en la manteca de cacao existen seis diferentes polimorfos.<sup>64</sup> Los polimorfos alfa y gamma (tipo I y II) constituyen formas inestables, empaquetados libremente, mostrando poca contracción por la gran separación entre los triglicéridos y se funden por debajo de 23°C. Sin embargo, los cristales beta primarios (tipo III y IV) se empaquetan de manera más estrecha y, debido a esto, aumentan la densidad de los triglicéridos, presentando una mejor contracción y un punto de fusión más alto (28°C). Asimismo, estos cristales también pueden transformarse en otras formas beta más estables (tipo V y VI). De estos últimos, el cristal beta V ilustra la estructura con la distancia más cercana entre los triglicéridos, ocasionando la mayor contracción. Estos cristales también se funden a temperaturas más altas, incluso hasta 34°C. Este es el cristal deseado durante el temperado, y el protocolo se establece para alcanzar esta forma. Además de lograr el tipo de cristal adecuado, es también importante crear las condiciones que controlen la cantidad y tamaño de los cristales después del temperado.<sup>36,64,78,79</sup>

Diferentes formulaciones de chocolates actúan negativamente en el temperado afectándose la temperatura de ajuste, el tiempo de residencia, y muchas otras propiedades. Tal es el caso de la grasa de la leche en la fase grasa del chocolate. Esta disminuirá la temperatura a la cual ocurre la cristalización, disminuyendo la temperatura en la que el chocolate se maneja durante el temperado. Muchos otros factores menores afectan al procedimiento de temperado. Algunos de estos factores son: los componentes menores lipídicos, tales como la lecitina, los mono o diglicéridos, que influyen en la cristalización, tamaño de partícula de los sólidos no grasos, y el origen de la manteca de cacao utilizada. Todos estos factores deben ser evaluados y se deben realizar las modificaciones adecuadas en función de su importancia y efecto.<sup>64</sup> Las características distinguibles de muchos chocolates

son atribuibles a estas formas cristalinas y al tamaño de estos cristales. El empaquetamiento estrecho y el pequeño tamaño de los cristales permiten que el chocolate tenga un característico chasquido sólido. Asimismo, le otorgan al chocolate una apariencia más brillante, en donde los cristales sobre la superficie empaquetados estrechamente actúan reflejando la luz, mientras que los cristales más grandes difunden la luz generando una apariencia opaca.<sup>26,79</sup>

#### - Proceso de enfriamiento

El enfriamiento o proceso de solidificación para los productos de chocolate es tan críticos como la fase de temperado. Las condiciones incorrectas de enfriamiento se traducirán en brillo pobre, pegajosidad, contracción mínima y en una vida útil reducida.<sup>64</sup>

Se debe tener mucho cuidado para prevenir el temperado del chocolate en la entrada del túnel de enfriamiento. Esto ocurre cuando la temperatura a la entrada o durante todo su recorrido es demasiado baja debido a la falta de carga de producto. Aunque la velocidad de cristalización de parte de la manteca de cacao, que aún está en estado líquido, es muy rápida, demasiado frío en un túnel puede causar una rápida cristalización y generar la formación de cristales Alfa. Estos cristales inestables serán incorporados como parte de la composición cristalina total antes de la salida del producto revestido del túnel. Durante el almacenamiento, los cristales inestables se transformarán en cristales Beta estables, generando la floración de la grasa en la superficie del recubrimiento.<sup>64,80</sup>

Esta situación se puede evitar mediante la activación del compresor justo antes del revestimiento, en lugar de tener el túnel frío por un período de tiempo prolongado.<sup>64</sup> Las condiciones de enfriamiento para el moldeado dependen de numerosos factores que se deben ajustar a operaciones específicas, al producto y al diseño del túnel. Estos factores incluyen el diseño y el material del molde, el tamaño del molde, la cantidad de chocolate en el molde, la profundidad, el plano del molde, y la inyección en el molde.<sup>64,81</sup>

#### - Embalaje, Almacenamiento y Distribución:

La temperatura ambiente de embalaje suele ser controlada en un rango de 18-20°C con una humedad relativa de menos de 50% para evitar la condensación en los productos revestidos o productos moldeados a la salida del túnel de enfriamiento.<sup>64</sup>

Dado que aproximadamente el 25% de la manteca de cacao (en el recubrimiento) después del enfriamiento todavía está en forma líquida, es preferible que los productos no se envasen directamente. Proviene del túnel, por lo que se almacenan en un empaque con un ambiente frío de hasta 24 horas para completar la disipación del calor latente de cristalización y permitir la solidificación de la manteca de cacao líquida.<sup>82</sup>

Es de suma importancia evitar las fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento. Estas fluctuaciones pueden acelerar la formación de la apariencia opaca y floración de la grasa. Los productos de chocolate también se pueden congelar después de la estabilización por 48 horas para extender su vida útil. Los productos congelados deben ser almacenados de forma progresiva a temperaturas más altas y dejar equilibrar en cada etapa, para evitar la condensación hasta que el producto se estabiliza a temperatura ambiente.<sup>64,82</sup>

Después del almacenamiento, los productos de chocolate debe ser transportados en vehículos con temperatura controlada (10-15,6°C) para evitar el detemperado completo de la cobertura. La práctica común es enviar el producto en transportes refrigerados, a menos que prevalezcan temperaturas exteriores más bajas.<sup>64</sup>

#### - Cambios observados en la calidad durante el almacenamiento

Varias condiciones de almacenamiento pueden conducir a la floración de la grasa o del azúcar, las cuales comprometen la calidad visual y de textura del producto. La floración es la principal causa de pérdida de calidad en la industria del chocolate<sup>83</sup>, y específicamente la floración del azúcar ocurre cuando la humedad se condensa en la superficie del chocolate como resultado de la gran diferencia de temperatura entre la zona de salida del túnel de enfriamiento y la temperatura ambiente. Esta diferencia puede dar lugar a la condensación de la humedad atmosférica en la superficie del chocolate. El azúcar en la cobertura puede disolverse como gotas en la superficie. Cuando la humedad se evapora eventualmente, el azúcar cristaliza en la superficie como una película blanquecina de cristales de azúcar, lo que constituye un proceso irreversible.<sup>83,84</sup>

Sin embargo, la floración de la grasa es una coloración grisácea en la superficie de barras de chocolate, caramelos recubiertos de chocolate y barras de chocolate con frutos secos.<sup>64</sup> El chocolate a 30-35°C se derrite y la grasa líquida aparecerá sobre la superficie. Posteriormente cuando se enfría, esta grasa cristaliza ocasionando también una apariencia grisácea. No obstante, otras causas pueden ocasionar esta apariencia como la migración de grasa incompatible desde el centro o de ciertos ingredientes tales como frutos secos ricos en grasas. La floración de la grasa también puede ocurrir después de largos períodos de almacenamiento, donde la manteca de cacao se transforma en una forma cristalina más estable que aparecerá como floración sobre la superficie de las piezas.<sup>84</sup> El mecanismo más aceptado para explicar el proceso de floración de la grasa involucra una fase de separación de los triglicéridos en la manteca de cacao, lo que conduce a la re-cristalización, causando la difusión de la luz y la decoloración.<sup>36,78</sup>

Otros de los cambios observados son grietas o poros. Estos

son causados por falta de elasticidad en la cobertura para expandirse y contraerse durante los cambios de temperatura o pequeños cambios en el contenido de humedad.<sup>84</sup>

### Efecto de algunos ingredientes añadidos

La leche, incorporada como un ingrediente en el chocolate, actúa sobre el sabor, el aroma y sobre el color y, sobre todo, genera aromas a caramelo, malta, láctea, cocido y cremoso. Para el chocolate con leche, la leche en forma líquida, cremosa o sólida seca se agrega con modificaciones de procesamiento adicionales que son necesarias para reducir la humedad y cumplir con los requisitos legales para el chocolate. Las variables de procesamiento de los productos lácteos, calentamiento y tratamiento enzimático, determinan si el producto final tiene una leche en polvo, leche caramelizada u otro sabor de la leche. Todos los componentes añadidos deben ser de calidad comprobada para evitar sabores y aromas no deseados.<sup>85</sup>

La principal función de la manteca de cacao añadida en la fabricación del chocolate es la reducción de la viscosidad. Además, la manteca de cacao influye en el sabor, en el color (especialmente en el chocolate blanco) y en la funcionalidad. El origen y la composición de la manteca de cacao pueden afectar el temperado y el perfil de enfriamiento del chocolate, así como ejercer influencia en la contracción, la dureza, el brillo y la vida útil del producto.<sup>36,64,82</sup>

La lecitina (emulsionante), con mayor frecuencia en el mercado, deriva de la soja, es una mezcla de fosfolípidos cuyo objetivo principal en el chocolate es reducir la tensión interfacial entre la manteca de cacao y todas las partículas no-grasas de azúcar, licor de cacao y leche. El

efecto es reducir la cantidad de manteca de cacao requerida para cubrir la enorme área superficial de las partículas sólidas, liberando así más manteca de cacao que actúe como medio flotante y por ende reduzca la viscosidad de la cobertura. Existe, por supuesto, un límite en el que la lecitina funcionará en esta manera.<sup>64,86</sup>

El azúcar contribuye al sabor y el cambio de su contenido entre 1-2% tiene una gran influencia en la dulzura del chocolate. También puede tener un efecto sobre las técnicas de procesamiento, como en la caramelización del chocolate con leche.<sup>85</sup> La amargura inherente a los granos de cacao tostados (licor o licor de chocolate) requiere el uso de edulcorante, normalmente sacarosa (excepto para el chocolate destinado a personas con diabetes). La adición de vainilla natural o vainillina artificial ayuda a completar el sabor y aroma del chocolate.<sup>64</sup>

### Características organolépticas y atributos sensoriales evaluados en la calidad del chocolate

La evaluación sensorial es una herramienta que permite evaluar, medir, analizar e interpretar la percepción de los atributos de un producto. Los atributos sensoriales son el conjunto de características de un alimento que conforman su percepción sensorial (textura, olor, color, flavor, etcétera).<sup>87</sup> Vale destacar, que las muestras de chocolates son evaluadas siguiendo el orden de presentación: aspecto, olor, textura y sabor del mismo. En general, las características sensoriales y atributos evaluados en un producto de chocolate son las citadas en la tabla 2.<sup>88</sup> Asimismo, existen ciertos calificativos asociados a la evaluación de la calidad sensorial del chocolate, los cuales son definidos en la tabla 3.

TABLA 2

#### Características sensoriales y atributos usados en la evaluación de la calidad sensorial de chocolates

Tipo de chocolate	Característica sensorial	Atributos
<b>Chocolates macizos</b>	Aspecto	Forma del molde, Integridad y uniformidad, Superficie (superficie superior y piso), brillo y color.
	Olor	Tipicidad del aroma (calidad e intensidad).
	Textura	Fragilidad y dureza, derretimiento en la boca (velocidad, cremosidad, percepción de grasa), suavidad, fundición al tacto.
	Sabor	Tipicidad del sabor (calidad e intensidad), dulzor, amargor.
<b>Chocolates rellenos</b>	Aspecto externo	Forma y superficie. (Integridad y uniformidad). Brillo y color.
	Aspecto interno	Grosor de la cobertura. Apariencia del relleno.
	Olor	Tipicidad (calidad, intensidad, combinación cobertura-relleno)
	Textura	Dureza. Derretimiento en la boca. Suavidad. Consistencia del relleno.
	Sabor	Tipicidad (calidad, intensidad, combinación cobertura-relleno).
<b>Figuras bañadas</b>	Aspecto externo	Forma y superficie. (Integridad y uniformidad). Brillo y color.
	Aspecto interno	Grosor de la cobertura. Apariencia del centro.
	Olor	Tipicidad (calidad, intensidad, combinación cobertura-relleno)
	Textura	Dureza. Suavidad, derretimiento y adhesividad de la cobertura. Crujido y fragilidad o suavidad, gomosidad y elasticidad del centro.
	Sabor	Tipicidad (calidad, intensidad, combinación cobertura-centro).

Fuente: Zamora, 2007.<sup>88</sup>

TABLA 3

**Definiciones usualmente utilizadas en la evaluación de la calidad sensorial del chocolate.**

Características sensoriales	Conceptualización	Referencias	
Aspecto	<b>Apariencia del relleno o centro:</b> Atributo visual que se propone evaluar en los bombones rellenos y figuras bañadas. Entre los defectos más comunes a encontrar para este tipo de producto se encuentran la apariencia seca o reseca del relleno provocado por la migración de la humedad a la superficie, la separación de grasa en el relleno por la no selección de grasa apropiada o los defectos en el color por problemas tecnológicos o por defectos en el aromatizante empleado.	Zamora, 2007. <sup>88</sup> Cuamba, 2008. <sup>73</sup> Capdevila et. al., 2005. <sup>90</sup>	
	<b>Bloom:</b> Defecto en la apariencia del producto. Aparece como una mancha blanca en la superficie del mismo. Existen dos tipos: Bloom de grasa, correspondiente a las fracciones líquidas de la fase grasa que si emigran por acción capilar a la superficie se solubilizan y recristalizan, formando los grandes cristales de grasa. Bloom de azúcar, generalmente ocurre cuando dentro del túnel se presentan problemas de condensación, debido a deficiencias en el sistema de enfriamiento, esta humedad disuelve el azúcar de la cobertura y se forman manchas blancas que muchas veces el consumidor confunde con enmohecimiento.	Zamora, 2007. <sup>88</sup> Montoya, 2003. <sup>91</sup> Rossi, 2011. <sup>92</sup> Beckett, 2008. <sup>73</sup> Lonchamp et. al., 2004. <sup>94</sup>	
	<b>Deformaciones:</b> Variaciones no acordes al formato.	Zamora, 2007. <sup>88</sup>	
	<b>Impresión borrosa o incompleta:</b> Troquelado no completo, las figuras que forman el marcado no están bien definidas o están deformadas, bordes deformados.	Zamora, 2007. <sup>88</sup>	
	<b>Oquedades:</b> Presencia de poros o grietas, debido a una deficiente vibración, exceso de humedad en la masa, etc.	Zamora, 2007. <sup>88</sup> Cuamba, 2008. <sup>73</sup>	
	<b>Orificios:</b> Agujeros generalmente del tamaño de la cabeza de un alfiler.	Zamora, 2007. <sup>88</sup>	
	<b>Rebordes:</b> Borde que sobresale de la muestra, puede ocurrir en el moldeado del producto cuando no se llenan bien los moldes o cuando se utiliza un molde mayor que el que se requiere.	Zamora, 2007. <sup>88</sup>	
	Olor-sabor	<b>Sabor y olor envejecidos:</b> Olor y sabor característico a moho, debido a un almacenamiento inadecuado de las materias primas o del producto terminado.	Zamora, 2007. <sup>88</sup> Beckett, 2008. <sup>73</sup> Cuamba, 2008. <sup>73</sup>
		<b>Sabor y olor extraños:</b> Presencia de olores y sabores ajenos al producto, tales como sustancias carbonizadas, lubricantes, cloro y otros.	Zamora, 2007. <sup>88</sup> Beckett, 2008. <sup>73</sup> Cuamba, 2008. <sup>73</sup>
		<b>Típico:</b> Característica general del olor o sabor que define la línea sensorial del producto de acuerdo a los patrones establecidos	Zamora, 2007. <sup>88</sup> Vázquez, et. al. 2008. <sup>95</sup>
Textura		<b>Adhesividad:</b> Atributo mecánico textural relacionado con la fuerza requerida para eliminar un material que se adhiere a la boca o a un sustrato.	Zamora, 2007. <sup>88</sup> Espinosa, 2007. <sup>96</sup> Cuamba, 2008. <sup>73</sup>
	<b>Cerosidad:</b> Defecto textural que se puede presentar durante la fusión en la boca y que puede ser provocado por el empleo de grasas alternativas no compatibles con la manteca de cacao.	Zamora, 2007. <sup>88</sup> Cuamba, 2008. <sup>73</sup>	
	<b>Consistencia del relleno:</b> Atributo relacionado con las características de textura, específicamente del relleno. En dependencia del tipo de relleno, será su consistencia. Por ejemplo son diferentes las consistencias de las trufas, fondant, praliné, etc., cada uno se diseña con una textura diferente. Entre los defectos posibles a encontrar en este atributo están el endurecimiento del relleno, común en los rellenos de base azúcar provocado por la absorción de humedad, la cual se concentra en la superficie del bombón.	Zamora, 2007. <sup>88</sup>	
	<b>Cremosidad:</b> Propiedad buco-táctil relacionada con la sensación de suavidad, espesor y llenura de la cavidad bucal. Se evalúa durante el paladeo por la forma con la que el producto llena la boca, estimando el parecido a la crema.	Zamora, 2007. <sup>88</sup> Cuamba, 2008. <sup>73</sup>	
	<b>Dureza:</b> Atributo mecánico textural relacionado con la fuerza requerida para lograr una deformación o penetración de un producto. En la boca se percibe por la compresión del producto entre los dientes (sólidos) o entre la lengua y el paladar (semisólido). Se evalúa en la primera mordida, comprimiendo el producto entre los molares y estimando la fuerza necesaria para deformarlo.	Zamora, 2007. <sup>88</sup> Espinosa, 2007. <sup>96</sup> Torricella et. al. 2008. <sup>97</sup> Cuamba, 2008. <sup>73</sup>	
	<b>Fragilidad:</b> Atributo mecánico textural relacionado con la cohesión, la dureza y la fuerza necesaria para romper el producto en pedazos. En las tabletas se evalúa partiendo la muestra con los dedos y estimando la intensidad del sonido al partir, en los bombones y rellenos grasos se evalúa en la boca, durante la primera mordida, estimando la facilidad con la que el producto se rompe en piezas o pedazos.	Zamora, 2007. <sup>88</sup> Espinosa, 2007. <sup>96</sup> Torricella et. al. 2008. <sup>97</sup>	

Fuente: Elaboración propia.

Primeramente se evalúa el aspecto en el envase (para productos envasados). Al evaluar los chocolates macizos y el aspecto externo en los rellenos y figuras bañadas, el evaluador deberá observar si las muestras presentan la forma del molde, su integridad y uniformidad. Si está o no bien definido el dibujo del diseño, si presentan ralladuras, rajaduras, superficie con *bloom*, con migración de grasa o humedad, orificios, manchas de dedos, recortes adheridos, burbujas, abultamiento en el piso, presencia o no de manchas blanquecinas, etc. Se observará si el color y el brillo son los propios del producto.<sup>73,89</sup>

En el aspecto interno, en el caso de los chocolates rellenos y las figuras bañadas, los evaluadores centran su atención en el grosor de la cobertura y en la apariencia del relleno o centro, indican si se percibe resequecedad o separación de grasa y si presenta el color adecuado.<sup>88</sup>

El olor se evalúa al abrir el envase (para productos envasados). Se evalúa la primera impresión con relación a la calidad global del olor, centrando la atención en su tipicidad (calidad e intensidad). En los chocolates rellenos y figuras bañadas se debe evaluar también la armonía de la combinación del olor a chocolate de la cobertura y el olor del relleno o centro. Se evaluará también si las muestras presentan algún olor extraño.<sup>88</sup> Con el análisis olfativo se percibe: la intensidad, la persistencia, la riqueza de los perfumes, los aromas primarios, es decir, los propios del cacao, y los aromas secundarios, los típicos de los cacaos aromáticos, de los ingredientes añadidos y los derivados de la elaboración. Es muy importante la valoración global de todos los aspectos aromáticos.<sup>89</sup>

Los atributos de textura se evalúan tanto al tacto como en la boca. La fragilidad, para los chocolates macizos, se evaluará, si se trata de una tableta, partiendo la misma con los dedos, y se estima por la intensidad del sonido que emite al ser partido. La tableta se coloca entre el índice y el pulgar, y se valora su ductilidad. Si son bombones, se presiona con los molares hasta partirlos, se estima la facilidad con la que el producto se rompe en piezas o pedazos.<sup>88,89</sup>

La dureza se evalúa en la boca, teniendo en cuenta la sensación en la primera mordida, se coloca el producto entre los molares y se presiona ligeramente, se estima la fuerza necesaria para comprimirlo totalmente. El derretimiento en la boca se evalúa paladeando, sin llegar a morder el producto, estimándose la velocidad de derretimiento, la manera con la que el producto llena la boca y la cantidad de grasa percibida. En los productos de chocolate uno de los problemas fundamentales es la sensación de cerosidad en el paladar, atribuida al alto punto de fusión en las grasas utilizadas como reemplazantes parciales o totales de la manteca de cacao.<sup>88</sup>

La suavidad se evalúa en la boca, friccionando la mues-

tra entre la lengua y el cielo de la boca y estimándose la lisura o la aspereza del producto. La fundición al tacto se estima por la cantidad de producto adherido a los dedos durante la manipulación de la muestra. En los chocolates rellenos y figuras bañadas los evaluadores deberán observar tanto la textura de la cobertura como la textura de los rellenos o centros. En el caso de los chocolates rellenos, la consistencia del relleno se evaluará al morder el producto, los evaluadores deben evaluar si el relleno cumple con las características de diseño del producto. En las figuras bañadas, los jueces deben evaluar la suavidad, el derretimiento en la boca y la adhesividad de la cobertura, esta última se puede evaluar de forma visual estimando la cantidad de cobertura adherida al centro. En las figuras bañadas con centros crujientes como galletas o bizcochos, los evaluadores deberán evaluar el crujido de los mismos a partir del sonido al masticarlos y su fragilidad estimando la fuerza necesaria para que el centro se rompa en piezas o pedazos. En las figuras bañadas con centros blandos se deberá estimar la suavidad, gomosidad y elasticidad de los mismos durante el proceso de masticación, la primera a partir de la percepción del tamaño de partículas, la gomosidad evaluando su cohesión a partir del esfuerzo requerido para desintegrar la muestra y la elasticidad por la recuperación a la fuerza ejercida durante la masticación.<sup>88</sup>

Para evaluar el sabor, se tomará una cantidad considerable, de modo que el producto entre en contacto con las diferentes áreas de sensibilidad de la lengua durante la masticación y el paladeo. De esta forma, se alcanza rápidamente la temperatura corporal, y en este punto empieza a fundirse el chocolate. Se centrará la atención en la tipicidad del sabor (calidad e intensidad) y si el amargor o el dulzor (según el producto) son los adecuados.<sup>88,89</sup>

En el caso de los chocolates rellenos y las figuras bañadas, se debe prestar atención a la armonía de la combinación del chocolate de la cobertura y el sabor del relleno o centro. Se evaluará también si las muestras presentan algún sabor extraño.<sup>64,88</sup>

Para los chocolates macizos y rellenos, las características texturales y sabor son consideradas fundamentales para un mayor rigor en la asignación de la calidad correspondiente. En las figuras bañadas, son consideradas como características fundamentales el aspecto externo y la textura.<sup>88,89</sup>

## Conclusiones

La manufactura del chocolate depende de los constituyentes del grano de cacao y asimismo involucra una serie de etapas (tratamiento post-cosecha, acondicionamiento, tostado, alcalinización, conchado, entre otras) que permiten que se formen el sabor y el aroma característicos del chocolate. Por tanto, una composi-

ción inicial (grano) apropiada puede traducirse, a través de tratamientos post-cosecha y subsecuentes tecnologías de procesamiento, en un sabor y aroma de alta calidad. La fermentación del grano es determinante (por la provisión de fracciones volátiles claves y de precursores del sabor y aroma) para el carácter sensorial del chocolate. El secado reduce la acidez y la astringencia en los nibs de cacao. Durante las reacciones de Maillard, en el tostado, se forman dos importantes clases de componentes activos para el sabor y aroma; pirazinas y aldehídos. Por último, el conchado juega un rol determinante para el sabor y aroma del producto final. Otras etapas como el temperado, enfriamiento, moldeado, embalaje y almacenamiento influyen, en mayor medida, en la apariencia y textura del choco-

late. Durante estas fases, si no se toman las debidas precauciones, se pueden generar defectos sensoriales como la indeseable floración de la grasa y del azúcar. Aunque se conoce cómo las etapas anteriormente citadas inciden en la calidad sensorial del chocolate, quedan aún muchas temáticas por dilucidar. Así, por ejemplo, se hace difícil comparar variedades de grano que crecen bajo diferentes condiciones, y distintos métodos de fermentación. Para la mejor comprensión de las variaciones sensoriales dadas en el chocolate, se requieren más investigaciones que permitan optimizar los tratamientos post-cosechas de los granos de cacao (de diferentes genotipos), los subsecuentes procesos ejecutados en la elaboración del chocolate, y la calidad sensorial del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1- Agencia Venezolana de Noticias (AVN). Cacao representa un rubro estratégico para la economía venezolana. <http://www.avn.info.ve/node/26503> [Consultado: 2 Abril 2012].
- 2- González JE. Denominación de origen: Cacao Chuao. Consultoría realizada para la FAO y el IICA en el marco del estudio conjunto sobre los productos de calidad vinculada al origen. 1997: 1-45.
- 3- Gutiérrez, AM. Chocolate, Polifenoles y Protección a la Salud. *Acta Farm. Bonaerense*. 2002; 21(2): 149-52.
- 4- Reineccius, GA. Flavor Technology. In: *Flavour Chemistry and Technology*. Second edition. CRC Press, Boca Raton, USA, 2006.
- 5- Arciniegas, AL. Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE. Tesis Mag. Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 2005: 1-126.
- 6- Pérez, JZ. Evaluación y caracterización de selecciones clonales de cacao (*Theobroma cacao* L.) del Programa de Mejoramiento del CATIE. Tesis Mag. Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 2009: 1-149.
- 7- Hoskin, JC. Sensory properties of chocolate and their development. *Am Journal of Clinical Nutrition*, 1994; 60 (suppl): 1068-70.
- 8- Schwan, RF., Wheals, AE. The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2004; 44(4): 205-21.
- 9- Nielsen DS. The microbiology of Ghanaian cocoa fermentations. Ph.D. Thesis. Department of Food Science, Food Microbiology. The Royal Veterinary and Agricultural University Denmark. 2006: 1-111.
- 10- Ochse J, Soule M, Dijkman M, Wehlburg C. *Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales*. Editorial Limusa. Primera ed. MX. 2 v. 1974: 912 – 956.
- 11- Martínez JW. Caracterización morfológica y molecular del Cacao Nacional Boliviano y de selecciones élites del Alto Beni, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 2007: 1-88.
- 12- Cook LR, Meursing EH. *Chocolate Production and Use*. Revised edition. Harcourt Brace Johanovich, 1982.
- 13- Laurent V, Risterucci AM, Lanaud C. Genetic diversity in cocoa revealed by cDNA probes *Theor. Appl. Genet.* 1994; 88: 193-198.
- 14- Palomino CC. Utilización de herramientas biotecnológicas para su aplicación en trazabilidad: determinación del origen Geográfico del cacao fermentado de chuao. Proyecto Doctoral. Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Universidad Central de Venezuela. 2011:1-78.
- 15- Barros O. Cacao: Manual de asistencia técnica N° 23. Programa Nacional de Cacao. ICA. Bogotá. 1981: 1-286.
- 16- Reyes H, Reyes LC. Manual técnico para la producción de cacao. Caracas, Chocolates El Rey. 2000:1-350.
- 17- Motamayor JC, Risterucci AM, Lopez PA, Ortiz CF, Moreno A, Lanaud C. Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 2002; 89: 380-386.
- 18- Manual Técnico del Cultivo del Cacao en Venezuela. Fondo Nacional del Cacao, Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental de Miranda. 1998: 1-135.

- 19- Beckett ST. Industrial chocolate manufacture and use. 4th ed. Wiley-Blackwell, York, UK. 2009: 1-192.
- 20- Enríquez GA. Curso sobre el cultivo de cacao. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. CATIE. Costa Rica. 1985: 1-239.
- 21- Mejía LA, Arguello CO. Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. CORPOICA, Bucaramanga, Colombia. 2000:85-90.
- 22- Hurst WJ, Tarka SM, Powis TG, Valdez F, Hester RT. Archaeology: cacao usage by the earliest Maya civilization. *Nature*, 2002, 418: 289–290.
- 23- Pontillon J. Cacao, chocolat, production, utilisation caractéristiques. Coord. Pontillon J. Tec & Doc Lavoisier (Paris). 1998:1-638.
- 24- Elwers S, Zambrano A, Rohsius C, Lieberie R. Differences between the content of phenolic compounds in Criollo, Forastero and Trinitario cocoa seed. *Eur. Food Res. Technol.* 2009; 229: 937-948.
- 25- Afoakwa EO, Paterson A, Fowler M. Factor influencing rheological and textural qualities in chocolate – a review. *Trends in Food Science and Technology*. 2007; 18: 290–298.
- 26- Afoakwa EO, Paterson A, Fowler M. Effects of particle size distribution and composition on rheological properties of dark chocolate. *European Food Research and Technology*. 2008; 226: 1259–1268.
- 27- Misnawi SJ. Effect of cocoa bean drying methods on polycyclic aromatic hydrocarbons contamination in cocoa butter. *International Food Research Journal* 2012; 19(4): 1589-1594.
- 28- Misnawi SJ, Jamilah B, Nazamid S. Effects of incubation and polyphenol oxidase enrichment on colour, fermentation index, procyanidins and astringency of unfermented and partly fermented cocoa beans. *International Journal of Food Science and Technology* 2003; 38: 285–295.
- 29- Kyi TM, Daud WR, Mohammad AB, Samsudin MW, Kadhum AA, Talib MZ. The kinetics of polyphenol degradation during the drying of Malaysian cocoa beans. *International Journal of Food Science and Technology*. 2005; 40:323–331.
- 30- Angulo J, Graziani L, Ortiz L, Parra P. Caracterización física de la semilla de cacao criollo, forastero amazónico y trinitario de la localidad de Cumboto, estado Aragua. *Agronomía Tropical* 2001; 51(2): 203-219.
- 31- Wachter MR. Microorganismos y chocolate. *Revista Digital Universitaria*. 2001; 12(4):3-9.
- 32- Osman H, Nazaruddin R, Lee SL. Extracts of cocoa (*Theobromacacao* L.) leaves and their antioxidation potential. *FoodChem*. 2004; 86:41–45.
- 33- Da Silva A. Avaliação da estabilidade térmica e oxidativa de chocolates amargos. *Mag. Sc. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Brasil*. 2010:109.
- 34- Nazaruddin R, Ayub MY, Mamot S, Heng CH. HPLC Determination of methylxanthines and polyphenols levels in cocoa and chocolate products, *Malaysian Journal Analytical Science*, 2001, 7:377—386.
- 35- Reineccius GA, Andersen DA, Kavanagh TE, Keeney PG. Identification and quantification of the free sugars in cocoa beans. *J. Agric. FoodChem*. 1972; 20:199–202.
- 36- Gutiérrez RB, Lares M. Caracterización y Composición de la Manteca de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Obtenida por dos métodos diferentes y en dos de los Procesos Post Cosecha de la Finca “Mis Poemas”, estado Miranda. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Magíster Scientiarum en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Central de Venezuela. 2010.
- 37- Lecumberri E, Mateos R, Ramos S, Alía M, Rúperez P, Goya L, Izquierdo M, Bravo L. Caracterización de la fibra de cacao y su efecto sobre la capacidad antioxidante en suero de animales de experimentación. *Nutr Hosp*. 2006; 21(5):622-28.
- 38- Hansen C, Manez A, Burri C, and Bousbaine A. Comparison of enzyme activities involved in flavour precursor formation in unfermented beans of different cocoa genotypes. *J. Sci. Food Agric*. 2000; 80:1193–1198.
- 39- Kyi T, Daud W, Mohammad A, Samsudin M, Kadhum A, and Talib M. The kinetics of polyphenol degradation during the drying of Malaysian cocoa beans. *Int. J. FoodSci. Techn*. 2005; 40:323–331.
- 40- Ortiz L, Maldonado H, Parra P, Graziani L. Caracterización electroforética de las globulinas del grano fermentado de tres tipos de cacao. *Interciencias*. 2006; 31(6): 441-445.
- 41- Kirchoff P, Biehl B, and Crone G. Peculiarity of the accumulation of free amino acids during cocoa fermentation. *Food Chem*. 1989; 31:295-311.
- 42- Biehl B, Meyer B, Said M, and Samarakoddy R. Bean spreading: A method of pulp preconditioning to impair strong nib acidification during cocoa fermentation in Malaysian. *J. Food Agric*. 1990; 51:35–45.
- 43- Buyukpamukcu E, Goodall D, Hansen C, Keely B, Kochhar S, and Wille H. Characterization of peptides formed during fermentation of cocoa bean. *J. Agric. Food Chem*. 2001; 49:5822–5827.
- 44- Afoakwa EO, Paterson A, Fowler M, Ryan Angela. Flavor Formation and Character in Cocoa and Chocolate: Critical Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2008; 48:840–857.
- 45- Voigt J, Biehl B, Heinrich H, Kamaruddin S, Gaim, Marsoner G, and Hugi A. In vitro formation of cocoa-specific aroma



- precursors: aromarelated peptides generated from cocoa-seed protein by co-operation of an aspartic endoprotease and a carboxypeptidase. *Food Chem.* 1994; 49:173-180.
- 46- Hansen C, Olmo M, Burri C. Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. *J. Sci. Food Agric.* 1998; 77: 273-81.
- 47- Hansen C, Manez A, Burri C, and Bousbaine A. Comparison of enzyme activities involved in flavour precursor formation in unfermented beans of different cocoa genotypes. *J. Sci. Food Agric.* 2000; 80:1193-1198.
- 48- Laloi M, McCarthy J, Morandi O, Gysler C, and Bucheli P. Molecular and biochemical characterization of two protei-nases TcAP1 and TcAP2 from *Theobroma cacao* seeds. *Plant.* 2002; 215:754-762.
- 49- Luna F, Cruzillat D, Cirou L, Bucheli P. Chemical Composition and Flavor of Ecuadorian Cocoa Liquor. *J. Agric. Food Chem.* 2002; 50:3527-3532.
- 50- Counet C, Collin S. Effect of the number of flavanol units on the antioxidant activity of procyanidin fractions isolated from chocolate. *J. Agric. Food Chem.* 2003; 51:6816-6822.
- 51- Awua P. *Cocoa Processing and Chocolate Manufacture in Ghana.* David Jamieson and Associates Press Inc., Essex, UK. 2002.
- 52- Cros E, Jeanjean N. Formation de l'arôme cacao. Cacao etchocolat. Production, utilisation, caractéristiques. J. Pontillon. Paris. Ed. Tec& Doc. 1998;188-206.
- 53- Portillo E, Labarca M, Grazziani L, Cros E, Assemat S, Davrieux F, Boulanger R, Marcano M. Formación del aroma del cacao Criollo en función del tratamiento postcosecha en Venezuela. *Revista UDO Agrícola.* 2009; 9(2): 458-468.
- 54- Clapperton JF. A review of research to identify the origins of cocoaflavour characteristics. *Cocoa Growers' Bull.* 1994; 48:7-16.
- 55- De la Cruz M, Whitkus R, Gomez PA, Mota BL. Origins of cacao cultivation. *Nature.* 1995; 375:542-543.
- 56- Counet C, Ouwerx C, Rosoux D, and Collin S. Relationship between procyanidin and flavor contents of cocoa liquors from different origins. *J. Agric. Food Chem.* 2004; 52:6243-6249.
- 57- Fowler MS. Cocoa beans: from tree to factory. In *Industrial Chocolate Manufacture and Use, 3rd edn.* Beckett, S. T. (Ed.). Oxford: Blackwell Science, 1999; 8-35.
- 58- Biehl B, Voigt J. Biochemistry of cocoa flavour precursors. In *Proceeding of the 12th International Cocoa Research Conference.* Salvador, Brazil. 1996; 929-938.
- 59- Zielgleder G. Composition of flavor extracts of raw and roasted cocoas. *Z. Lebensm. Unter.Forsch.* 1991; 192:512-525.
- 60- Said MB, Jayawardena MP, Samarakoddy RJ, Perera WT. Preconditioning of fresh cocoa beans prior to fermentation to improve quality: A commercial approach. *The Planter.* 1990; 66:332-345.
- 61- Wood G, Lass R. *Cocoa.* 4th Edition. London, Longman. 1985.
- 62- Dimick PS, Hoskin JC. The Chemistry of flavour Development in chocolate. In *Industrial Chocolate manufacture and use.* 3rd edition. 1999; 137-152.
- 63- Owusu M, Petersen M, Heimdal H. Effect of fermentation method, roasting and conching conditions on the aroma volatiles of dark chocolate. *Journal of Food Processing and Preservation.* 2012; 36(5):446-456.
- 64- *Cocoa and Chocolate Manual.* ADM Cocoa International, Switzerland. 2009. [www.adm.com](http://www.adm.com)
- 65- Fraundorfer F, Schieberle P. Identification of the key aroma compound in cocoa powder base on molecular sensory correlations. *J. Agric. Food Chem.* 2006; 54:5521-5529.
- 66- Ramli N, Hassan O, Said M, Samsudin W, Idris N. Influence of roasting condition on volatile flavour of roasted Malaysian cocoa beans. *J. Food Proc. Pres.* 2006; 30 (3):280-298.
- 67- Farah DH, Zaibunisa AH, Misnawi SJ. Optimization of cocoa beans roasting process using Response Surface Methodology based on concentration of pyrazine and acrylamide. *International Food Research Journal.* 2012; 19(4):1355-1359.
- 68- Stark T, Bareuther S, Hofmann T. Sensory-guided decomposition of roasted cocoa nibs (*Theobroma cacao*) and structure determination of tasteactive polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2005; 53: 5407-5418.
- 69- Zielgleder G. Linalool contents as characteristic of some flavour grade cocoas. *Lebensm. Unters.Forsch.* 1990; 191:306-309.
- 70- Afoakwa OE. Matrix effects on flavour volatiles release in dark chocolates varying in particle size distribution and fat content using GC-mass spectrometry and GC-olfactometry. *Food Chemistry.* 2009; 113: 208-215.
- 71- Leal G, Gomes L, Efraim P, de Almeida T, Flavio C, Figueira A. Fermentation of cacao (*Theobroma cacao* L.) seeds with a hybrid *Kluyveromyces marxianus* strain improved product quality attributes. *FEMS Yeast Res.* 2008; 8(5):788-98.
- 72- Sharif S. Effect of alkalization and quality of cocoa liquor from different origins. MSc thesis, Pennsylvania State University. 1997.
- 73- Cuamba RG. Caracterización de grasa alternativa en la manteca de cacao. Tesis en opción al título de Magister. Instituto Politécnico Nacional de México. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. 2008.

- 74- Hoskin JC, Dimick PS. Role of nonenzymatic browning during the processing of chocolates-A review. *Proc. Biochem.* 1983; 11:92-104.
- 75- Heinzler M, Eichner K. Verhalten von Amadori-Verbindungen während der Kakaoverarbeitung. *Z. Lebensm. Unter. Forsch.* 1991; 192:24-29.
- 76- Postillon J. La fabrication du chocolat. *Pour La Science.* Belin. Paris. 1995; 118-126.
- 77- Genovese DB, Lozano JE, Rao MA. The rheology of colloidal and noncolloidal food dispersions. *Journal of Food Science.* 2007; 72(2):11-20.
- 78- Lares M, Pérez E. Evaluación del perfil de ácidos grasos en la manteca de cacao de Chuao en diferentes etapas del beneficio. Trabajo de Ascenso. Escuela de Nutrición y Dietética. Facultad de Medicina. Universidad Central de Venezuela. 2006.
- 79- Debaste F, Kegelaers Y, Liégeois S, Ben Amor H, Halloi V. Contribution to the modelling of chocolate tempering process. *Journal of Food Engineering.* 2008; 88: 568-575.
- 80- Lérévérend B, Smart I, Fryer P, Bakalis S. Modelling the rapid cooling and casting of chocolate to predict phase behaviour. *Chemical Engineering Science* 2011; 66:1077-1086.
- 81- Esther K, Jianshe C, Joselio V. Chocolate demoulding and effects of processing conditions. *Journal of Food Engineering.* 2010; 98:133-140.
- 82- Ali A, Selamat J, CheMana Y, Suria A. Effect of storage temperature on texture, polymorphic structure, bloom formation and sensory attributes of filled dark chocolate. *Food Chemistry.* 2001; 72: 491-497.
- 83- Andrae-Nightingale L, Lee SY, Engeseth N. Textural changes in chocolate characterized by instrumental and sensory techniques. *Journal of Texture Studies.* 2009; 40:427-444.
- 84- Altimiras P, Pyle L, Bouchon P. Structure-fat migration relationships during storage of cocoa butter model bars: Bloom development and possible mechanisms. *Journal of Food Engineering.* 2007; 80:600-610.
- 85- Liang B, Hartel R. Effects of Milk Powders in Milk Chocolate. *Journal of Dairy Science.* 2004; 87 (1): 20-31.
- 86- Ramírez TE. Reingeniería del proceso productivo de chocolate en barra en una industria alimentaria. Tesis de trabajo de grado - Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2011.
- 87- Mestres J. Los atributos sensoriales: posiblemente el atributo emocional de calidad que más valor le aporta a la marca de un alimento. *Revista Silliker Noticias.* 2011; 45:(1).
- 88- Zamora, E. Evaluación Objetiva de la Calidad Sensorial de Alimentos procesados. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia, MINAL, Cuba, Editorial Universitaria, 2007.
- 89- García, F. La cultura del chocolate. 2011. <http://www.un.es/lafem/actividades/cursobiologia/materialayuda/2011-03-22-paco.pdf> [Consultado: 3-10-2012].
- 90- Capdevila Q, Jorge MC. La bombonería artesanal. Conceptos básicos fundamentales. IIIA. 2005.
- 91- Montoya BJ. Estudio de la formación de bloom en el chocolate mediante técnica de difracción de rayos x. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Ingeniería Química, 2003.
- 92- Rossi OA. The impact of nut inclusions on properties and stability of dark chocolate. A Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, The State University of New Jersey. 2011.
- 93- Beckett TS. The Science of Chocolate. 2nd Edition. Formerly Nestlé Product Technology Center, York, UK. 2008.
- 94- Lonchamp P, Hartel WR. Fat bloom in chocolate and compound coatings. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2004; 106:241-274.
- 95- Vázquez AL, Verdú LA, Enguix AL, Carbonell BL. Investigation of aromatic compounds in Alicante and Jijona turrón. *Eur Food Res Technol.* 2008; 227:1139-1147.
- 96- Espinosa JM. Evaluación sensorial de los Alimentos. Ciudad de La Habana, Editorial Universitaria. 2007.
- 97- Torricella MR, Morales T, Espinosa HV. Análisis sensorial aplicado a la restauración. Ciudad de La Habana Cuba, Editorial Universitaria. 2008.