



Efecto del tostado en la composición química de los granos de café

Dr. Zorba Josué Hernández Estrada
M. en C. Melissa Rodríguez España
M. en C. Samuel de Jesús Ángel Juárez
Dra. Mirna L. Suárez-Quiroz
Dr. Oscar González-Ríos

*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz,
Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos*

Dra. Claudia Figueroa-Hernández
*CONACYT—Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico
de Veracruz, Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos*

Abstract

The coffee drink is one of the most popular beverages worldwide due to its aroma and flavor. This infusion is prepared by extracting hot water—soluble compounds from the roasted and ground coffee beans. Of the 100 species of the *Coffea* genus, only three are commercialized *Coffea arabica* L., *C. canephora*, and *C. liberica*, the *Coffea arabica* L. the most commercialized. To obtain the flavor and aroma compounds characteristic of the coffee drink, the coffee cherry must be subjected to postharvest operations, which allow its chemical composition to be transformed. The main processes involved in this complex group of chemical transformations are fermentation, drying, and roasting. This review aims to provide an overview of the main changes in the chemical composition of arabica and robusta coffee during the benefit and roasting, as well as its possible effects on its quality attributes.

Keywords: Coffee, *Coffea arabica*, *Coffea robusta*, Maillard reactions, roasting

Resumen

La bebida de café es una de las bebidas más populares a nivel mundial debido a su aroma y sabor característico. Esta infusión se prepara mediante la extracción de compuestos solubles en agua caliente a partir de los granos tostados y molidos de la cereza del café. Existen 100 especies del género *Coffea*, sin embargo, solo tres especies son comercializadas: *Coffea arabica* L., *C. canephora* y *C. liberica*, siendo la especie *C. arabica* L. la más comercializada. Para que se formen los compuestos de sabor y aroma característicos de la bebida del café se requiere que la cereza del cafeto sea sometida a una serie de operaciones postcosecha que permitan transformar su composición química. Los

principales procesos implicados en este complejo de transformaciones químicas son la fermentación, el secado y el tostado. El objetivo de esta revisión es brindar un panorama sobre los principales cambios en la composición química del café arábica y robusta durante el beneficio y el tostado, así como su posible efecto en sus atributos de calidad.

Palabras claves: Café, *Coffea arabica*, *Coffea robusta*, reacciones de Maillard, tostado

1. La importancia del cultivo de café

Se entiende por café a la bebida preparada mediante la extracción de la materia soluble con agua caliente a partir de los granos tostados y molidos procedentes del fruto de la planta tropical cafeto (*Coffea*) (Desrosier, 1987). Esta bebida es una de las más consumidas a nivel mundial y es el segundo producto más comercializado después del petróleo. De acuerdo con lo reportado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, se estima una producción mundial de café durante el ciclo 2022/2023 de 171 millones de sacos de 60 kg. La popularidad de la bebida se debe a sus atributos sensoriales, propiedades estimulantes de la cafeína y otros efectos deseables asociados con su consumo, como su potencial antioxidante (De Melo Pereira *et al.*, 2019, Kulapichitr *et al.*, 2019).

El cafeto es una planta perteneciente a la familia de las Rubiáceas y al género *Coffea*. Es de origen africano y está conformado por más de 100 especies, sin embargo, solo una pequeña parte son utilizadas para la comercialización, siendo las tres más importantes: *Coffea arabica* L., *C. canephora* y *C. liberica*. Actualmente solo se cultivan Arábica (53 % del volumen total de producción) y Robusta (47 % del volumen total de producción),

| Café Arábica | Café Robusta |
|---|---|
| Grano forma alargada | Grano forma redondeada |
| Calidad superior en taza | Menor tamaño de grano |
| Atributos sensoriales más apreciados | Más económico |
| Menor contenido de sólidos totales | Mayor contenido de sólidos solubles |
| Más susceptible a plagas y enfermedades | Más resistente a plagas y enfermedades |
| Menos concentración de cafeína (1.2 — 1.5 %) | Mayor concentración de cafeína (2.2 — 2.7 %) |

Tabla 1. Principales características de los granos de café Arábica y Robusta (Adaptado de Alves et al., 2017)

esto debido a las principales características que presentan (Tabla 1).

2. El fruto del café

El fruto del cafeto es denominado cereza. Las cerezas de café son de forma redonda, suaves, levemente agrios, con una corteza lisa y un intenso perfume. Cuando la cereza de café ha alcanzado su madurez, presenta una coloración roja o amarilla. Cada una de las cerezas posee una piel exterior (exocarpio) que envuelve a una película plateada o silver skin) y estas membranas envuelven las dos semillas (endospermo) de café (Figura 1). Las semillas de café, conocidas como café verde o café oro en ciertos países, son sometidas a un proceso de tostado para lograr la elaboración de la infusión que todos conocemos.

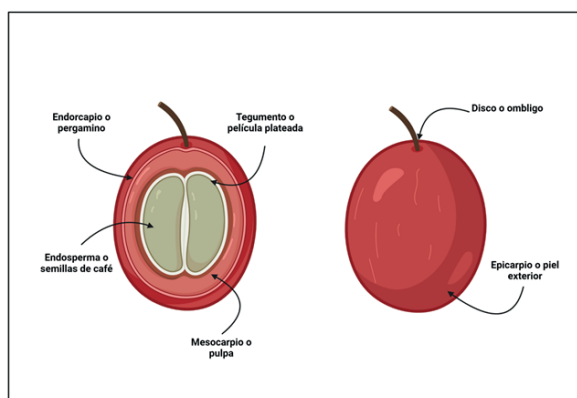


Figura 1. Partes de la cereza de café

3. Composición química del café

Los granos de café presentan una composición química rica en aminoácidos y otros compuestos nitrogenados, polisacáridos, lípidos, ácidos (clorogénico, cafeico, ferúlico, gálico, láctico, protocatéquico), compuestos fenólicos (catequinas y antocianinas), melanoidinas, cafeína, vitaminas y minerales. En la Tabla 2 se muestra la distribución de la composición química en la cereza, pulpa y el mucilago del café, la cual es afectada por la variedad, región geográfica, clima y labores de cultivo, cambia por la variedad, región geográfica, clima.

El grano de café es la parte del fruto de café que se utiliza para la preparación de las bebidas de café debido a sus compuestos volátiles que resultan en precursores de los aromas característicos de la bebida, y los cuales se desarrollan durante el tostado.

4. Operaciones postcosecha del café

Las operaciones postcosecha en la cadena del café, las cuales también se conocen como beneficio, tienen como objetivo la remoción de los componentes que rodean al grano para que estos puedan ser secados hasta alcanzar un contenido de humedad menor al 12 %, lo cual permita transportar y almacenar el grano sin riesgo al deterioro microbiano. El beneficio comienza a partir de la recolección

| Compuestos (% de peso seco) | Parte del café | | |
|--------------------------------|----------------|-----------|----------|
| | Cereza | Pulpa | Mucilago |
| Peso Seco | 81 | 29 | 5 |
| Proteína | 7.5 | 10 | 8.9 |
| Fibra cruda | 19 | 21 | 18 |
| Cenizas | 5 — 6 | 8 | 0.7 |
| Extracto crudo de nitrógeno | 1.2 — 8 | 44 | 35.8 |
| Taninos | 7.7 | 1.8 — 8.6 | 0 |
| Sustancias pépticas totales | 0.88 | 6.5 | 35.8 |
| Azúcares no reductores | 8 | 2 | 20 |
| Azúcares reductores | 0.05 — 0.20 | 12.4 | 30 |
| Cafeína | 0.73 | 1.3 | 0 |
| Ácidos clorogénicos | 6 — 7 | 2.6 | — |
| Celulosa | 19.4 | 27.7 | 19.4 |

Tabla 2. Composición química de las cerezas pulpa y mucilago de café antes del beneficiado (Schwan y Fleet, 2015)

de las cerezas maduras de café. Estas prácticas varían de acuerdo con el país, el tipo de cultivo y la especie de café, y permiten transformar a la cereza de café en un producto seco y listo para el proceso de trilla. Durante estas operaciones suceden transformaciones fisicoquímicas en la pulpa, el mucilago y la semilla del café que tienen un efecto en la calidad final de la bebida.

Estas operaciones postcosecha se dividen en dos principales vías: la vía seca y la vía húmeda.

4.1 Vía o beneficio seco

La vía seca, también conocido como beneficio seco, representa la forma tradicional del procesamiento de café y consiste en secar toda la cereza (pulpa, pergamino y grano) hasta alcanzar una humedad del 12 — 14 %, a través de la limpieza, secado y descascarillado. Como se muestra en la Figura 2, el proceso de esta vía consiste en recolectar las cerezas maduras de la planta para posteriormente secarlas hasta por 20 días de manera natural (sol) o por secado mecánico. Posteriormente se realiza el desprendi-

miento de la cascara del grano y mucilago para obtener el café pergamino.

El café obtenido mediante esta vía suele ser amarillo o café y produce una bebida menos ácida y con mayor cuerpo que la producida por la vía húmeda. Este procesamiento es usado en la mayoría de los cafés arábigos cultivados en Brasil, Etiopía y Yemen y para todos los cafés Robusta del mundo. Dentro de los efectos que tiene este método sobre los granos es la impregnación de la semilla con los azúcares y otros compuestos presentes en el mucilago del café, lo cual provoca que se tenga una bebida final con los sabores característicos de los cafés beneficiados por esta vía.

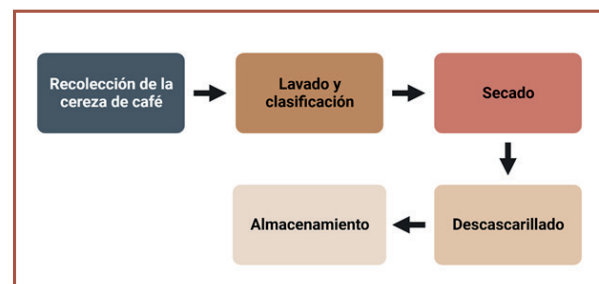


Figura 2. Operaciones básicas del beneficio seco del café



Figura 3. Operaciones básicas del beneficio húmedo del café

4.2 Vía o Beneficio húmedo

La vía o beneficio húmedo utiliza equipos específicos y una gran cantidad de agua. Este método bien realizado asegura que las cualidades intrínsecas de los granos de café se conserven mejor, produciendo un café verde más homogéneo. El café producido por este método se considera de mejor calidad y se comercializa con un precio mayor. Este método es utilizado en la gran mayoría de los cafés Arábicas con excepción de los producidos en Brasil, Yemen y Etiopía, así como en un pequeño porcentaje de café robusta.

Las operaciones básicas del procesamiento húmedo del café se muestran en la Figura 3. El lavado de las cerezas se realiza en tanques de agua. Una vez que las cerezas hayan sido clasificadas y lavadas, se retira la pulpa de la cereza. Los granos despulpados son fermentados por la microbiota autóctona del grano de café, La eliminación del mucílago se realiza entre las 24 y 36 h de fermentación, dependiendo de la temperatura, grosor de la capa del mucílago y concentración microbiana. El final de la fermentación se da cuando los granos pierden su textura viscosa y adquieren una textura más áspera. Finalmente,

cuando termina este proceso, el café es lavado con agua en tanques o en máquinas. El café en esta etapa tiene aproximadamente un contenido de humedad entre el 55 — 57 %. Posteriormente, para reducir su humedad a un valor máximo del 12.5 %, el café pergamino es secado al sol, en secadores o por una combinación de los dos. Este último paso resulta de gran importancia porque de él depende la calidad del producto final.

Después del secado, el café procesado en húmedo, o café pergamino, como es comúnmente conocido, se almacena y permanece en esta forma hasta su exportación (Batista *et al.*, 2016).

Una vez terminados los procesos de beneficio en ambas vías, el café se somete a un nuevo proceso denominado “trilla de café”, con el objetivo de obtener el café almendra o café verde. Una vez trillado, el grano verde se selecciona y clasifica cuidadosamente, teniendo en cuenta su tamaño, peso, color y apariencia física (defectos). Este café verde o almendra es el insumo para la elaboración del café tostado, del café soluble y de los extractos de café, y se caracteriza por su color verde, olor característico de café fresco y humedad promedio del 10 — 12 %. El almacenamiento de la cereza en bolsas, montones o silos, no debe de ser mayor a ocho horas, ya que se puede producir un proceso de fermentación espontánea no controlada que tiene un impacto negativo en la calidad final del café (Schwan y Fleet, 2015).

5. Composición química del café verde

La calidad y la composición química de los granos de café verde son afectados por muchos factores, entre los que destacan la composición del suelo, la fertilización, la

| Compuesto | Concentración ^a (g/100 g) | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| | <i>Coffea arabica</i> | <i>Coffea robusta</i> |
| Carbohidratos solubles | 9 — 2.5 | 6 — 11.5 |
| Sacarosa | 6.0 — 9.0 | 3 — 7 |
| Azúcares reductores | 0.1 | 0.4 |
| Polisacáridos insolubles | 3 — 4 | 3 — 4 |
| Hemicelulosas | 5 — 10 | 3 — 4 |
| Celulosa | 41 — 43 | 32 — 40 |
| Proteínas/péptidos | 10 — 11 | 11 — 15 |
| Cafeína | 0.8 — 1.4 | 1.7 — 4.0 |
| Trigonelina | 0.6 — 1.2 | 0.3 — 0.9 |
| Triacilglicéridos | 15 — 17 | 8 — 12 |
| Diterpenos (libres o esterificados) | 0.5 — 1.2 | 0.2 — 0.8 |
| Minerales | 3 — 4.2 | 4.4 — 4.5 |
| Ácidos clorogénicos | 6.7 — 9.2 | 7.1 — 12.1 |
| Ácido 5-O-afeilquinico | 3.0 — 5.6 | 4.4 — 6.6 |

^a Base seca, contenido de agua en el café verde 7 — 13 %

Tabla 3. Composición química del café verde de los granos de café Arábica y Robusta (g / 100 g)

altitud y el clima y los métodos de procesamiento utilizados.

A continuación, en la Tabla 3, se muestra la composición química del café verde de los granos de café Arábica y Robusta (Cid y Peña, 2016).

Los granos de café verde tienen un sabor mínimo, sin embargo, durante el tostado se desarrollan los compuestos característicos del aroma de café debido a reacciones químicas complejas que suceden en los granos. Para que se desarrollen los atributos aromáticos que se requieren, los granos de café verde son tostados empleando diferentes perfiles de tostado (combinaciones tiempo—temperatura).

6. Tostado del café

El tostado de café implica la transformación de los granos de café verde mediante la aplicación de calor durante cortos periodos de tiempo. Esto implica una serie de transformaciones fisicoquímicas que

permiten desarrollar el sabor y el aroma característicos de la bebida de café. Generalmente, el tostado de los granos de café se realiza en los países consumidores debido a sus características de friabilidad y sabor de los granos tostados, ya que estos no resisten los movimientos implicados en el comercio internacional (Alves *et al.*, 2017).

Los granos de café suelen ser almacenados una vez que se ha confirmado su calidad hasta que se realice el proceso de tostado. Para realizar el tostado del café se pueden emplear diferentes sistemas basados en conceptos térmicos, operacionales o mecánicos, sin embargo, en la actualidad es ampliamente utilizada la tecnología de lecho fluidizado para lograr este objetivo.

Durante el tostado, los granos son calentados a 180 — 250 °C, dependiendo de la técnica de tostado utilizado y del grado de tostado deseado (claro, medio u oscuro). Existen tres fases principales durante el tostado: el secado, pirólisis y enfriamiento.

Durante la fase de secado, la mayor parte del agua libre se evapora manteniendo la temperatura del grano a 100 ° C. Posteriormente se aumenta la temperatura para dar inicio a la segunda fase. Cuando se alcanza una temperatura de aproximadamente 150 °C, comienza a producirse una liberación de productos volátiles (agua, CO y CO₂), lo que resulta en un aumento del 50 — 80 % en el volumen de los granos. Y finalmente, cuando se alcanzan temperaturas entre los 170 — 200 °C, las reacciones pirolíticas modifican drásticamente la composición química del grano mediante la formación de cientos de sustancias que le dan al café su aroma y sabor característicos. Al término del tostado, los granos se revientan debido al aumento de la presión interna, indicando que el tostado se debe detenerse para dejarlos enfriar.

Como se mencionó anteriormente, al tostar el café, los granos sufren modificaciones químicas, esto debido a que durante el tostado están involucradas una serie de transformaciones fisicoquímicas (formación y/o degradación de una gran cantidad de compuestos) que modifican su composición inicial y originan el aroma y el sabor característicos del café. Por ejemplo, uno de los primeros cambios sucede cuando los granos alcanzan una temperatura por encima de los 50 °C, las proteínas en las células del tejido se desnaturalizan. Además de estos cambios químicos, también existen modificaciones en los parámetros físicos como el color (coloración marrón — canela), pérdida de peso (11 — 20 %) y pérdida de la gravedad específica (1.2 — 0.6 debido al aumento de volumen).

Existe también un proceso de tostado en el cual se agrega hasta un 15 % de azúcar al café, generalmente de la especie robusta.

Esta técnica de tostado se le conoce como torrefacción y se utiliza en varios países del sur de Europa y América del Sur, en los cuales algunos segmentos de su población prefieren los cafés con un color marrón oscuro, un aroma intenso y un sabor fuerte con tendencia a la amargura. Este tipo de proceso de tostado se usó inicialmente para enmascarar atributos sensoriales negativos en los cafés robusta. En la actualidad, el café torrefacto se suele mezclar con el café tostado convencional (robusta) para uso comercial.

Para producir granos tostados con alta calidad, mantener el grado de tostado es probablemente el factor más importante. Mientras más tiempo permanezcan los granos de café en el tostador o mayor sea la temperatura de tostado, más oscuros serán los granos de café que se obtengan (Figura 4).



Figura 4. Tipos de tostado y su influencia en el sabor del café

El grado de tostado de un café puede ser medido a través del color del grano a simple vista, con un colorímetro, o por la pérdida de peso en los granos después del tostado. En la tabla 4. Se muestran los principales grados de tostado del café, así como sus porcentajes promedio de pérdida de peso y el valor L (claridad en el espacio de color CIELAB), en donde a menor valor de L mayor será el

| Grado de tostado | Nombre del tostado | Valor de L^a | Pérdida de peso |
|-------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Grado de tostado ligero | Tostado ligero | 30.2 | 10.0 — 14.0 |
| | Tostado canela | 27.3 | |
| | Tostado medio | 24.2 | |
| Grado de tostado medio | Tostado alto | 21.5 | 14.0 — 17.0 |
| | Tostado city | 18.5 | |
| | Tostado full city | 16.8 | |
| Grado de tostado oscuro | Tostado francés | 15.5 | 17.0 — 21.0 |
| | Tostado italiano | 14.2 | |

^a El valor de L varía entre 0 (negro) a 100 (blanco)

Tabla 4. Pérdida de peso y valor L encontrados en los diferentes grados de café tostado (Wei y Tanokura, 2015)

grado de tostado (Wei y Tanokura, 2015). Estos grados o niveles de tostado se adaptan a los gustos y preferencias de diferentes consumidores y mercados. Es así como en ciertos mercados como en Norte América y los países escandinavos prefieren niveles de tostados bajos o medios, y en otros mercados como en la cuenca del Mediterráneo prefieren cafés con tostados altos en los que se tienen una menor presencia de notas ácidas y florales de origen y más cuerpo.

6. Cambios químicos durante el proceso de tostado

Durante el proceso de tostado están involu-

crados una serie de cambios en la composición química de los granos de café, algunos son degradados o modificados, y esto resulta en el desarrollo del color, aroma y sabor característicos del café. Estas transformaciones han sido ampliamente estudiadas, sin embargo, todavía quedan muchas transformaciones sin elucidarse. En la Tabla 5, se muestran los principales compuestos encontrados en el café tostado (Arábica y Robusta). El tostado conduce a cambios profundos en la composición química del café, con una disminución simultánea de las sustancias que naturalmente se encuentran en el café verde, así como también en la genera-

| Compuesto | Concentración ^a (g/100g) | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| | <i>Coffea arabica</i> | <i>Coffee robusta</i> |
| Sacarosa | Trazas — 4.2 | Trazas — 1.6 |
| Azúcares reductores | 0.3 | 0.3 |
| Polisacáridos | 31 — 33 | 37 |
| Proteínas/péptidos | 7.5 — 10 | 7.5 — 10 |
| Cafeína | 1.1 — 1.3 | 2.4 — 2.5 |
| Triacilglicéridos | 17 | 11 |
| Diterpenos (libres o esterificados) | 0.9 | 0.2 |
| Melanoidinas | 25 | 25 |

^a Base seca, contenido de agua en el café tostado 1 — 5%

Tabla 5. Composición química del café verde de las especies Arábica y Robusta (g / 100g)

ción de muchos otros compuestos derivados resultantes de las reacciones de Maillard, la caramelización de carbohidratos y la pirólisis de compuestos orgánicos. Algunos de estos compuestos, que se producen durante el tostado, le pueden conferir sus propiedades biológicas al café, sin embargo, también pueden generarse compuestos cancerígenos potenciales, como la acrilamida y el furano (Alves *et al.*, 2017).

La mayoría de los carbohidratos presentes, como la celulosa y los polisacáridos de manosa, galactosa y arabinosa, son insolubles, no obstante, durante el tostado algunos de ellos se degradan a carbohidratos de bajo peso molecular, que son solubles (Alves *et al.*, 2017). La sacarosa, que es el carbohidrato más abundante en los granos de café verde, se degrada en una etapa temprana durante el tostado y resulta en un precursor de compuestos aromáticos (ej. ácidos carboxílicos, furanos y aldehídos) los cuales tienen un efecto en su sabor. Por otro lado, se ha observado que las concentraciones de ácido cítrico y málico disminuyen durante el tostado mientras que las concentraciones de ácido láctico, acético y fórmico aumentan durante el proceso de tostado. Mediante reacciones modelo, se ha confirmado que la sacarosa es la fuente principal de los ácidos alifáticos como fórmico, acético, glicólico y láctico (Wei y Tanokura, 2015).

Durante el proceso de calentamiento del café, los compuestos fenólicos experimentan grandes cambios debido a su inestabilidad térmica. También el contenido de los ácidos clorogénicos disminuye durante el tostado. Estos ácidos tienen un gran impacto en los atributos de calidad del café tostado y está directamente relacionada con el desarrollo del sabor.

Por otro lado, las reacciones de Maillard implican la condensación del grupo carbonilo de los azúcares reductores con el grupo amino de aminoácidos y proteínas. Estas reacciones generan una gran cantidad de productos con diferentes composiciones químicas, comúnmente conocidos como productos de la reacción de Maillard. Los productos finales poliméricos de color marrón de estas reacciones se llaman melanoidinas y son el resultado de las ciclizaciones, deshidrataciones, reordenamientos, isomerizaciones y condensaciones de otros productos. Las melanoidinas son uno de los componentes principales en el café tostado, y representan hasta el 25 % en base seca. Estos compuestos presentan diferente composición química, y por lo tanto tienen diferentes propiedades pudiendo actuar como sitios de unión de nutrientes o contaminantes, antioxidantes o prooxidantes, y mutagénicos o anti-mutagénicos.

Las reacciones de Maillard además del desarrollo de color desempeñan un papel clave en la producción de compuestos aromáticos como las pirazinas, aldehídos, cetonas, piridinas, oxazoles, tiazoles y tiofenos. En ese aspecto la adición de azúcar al final del proceso de tostado de torrefacción podría intensificar estas reacciones. Las proteínas presentes en el café verde son sometidas a cambios extensos cuando se calienta en presencia de carbohidratos. Asimismo, existen cambios composicionales en el perfil de aminoácidos antes y después del tostado. La concentración de los aminoácidos arginina, ácido aspártico, cisteína, histidina, lisina, serina, treonina y la metionina, disminuyen en el café tostado debido a que son muy reactivos mientras que la alanina, ácido glutámico y la leucina, aumentan su concentración debido a su mayor estabilidad. La degradación de los aminoácidos

azufrados produce mercaptanos, tiofenos, tiazoles, pirroles, piridinas, entre otros.

El contenido de cafeína solo disminuye ligeramente durante el tostado debido a su termoestabilidad. En contraste, la trigonelina, un derivado de la piridina que está presente en el café verde hasta 1.2 %, se degrada hasta un 50 — 80 %, de forma proporcional a la temperatura empleada en el tostado. La trigonelina contribuye de forma indirecta en la generación de sabores deseables durante el tostado del café como los furanos, pirazinas, alquilpiridinas y pirroles (Wei y Tanokura, 2015).

La fracción lipídica también parece mostrar estabilidad durante el tostado y solo sufre pequeños cambios. El ácido linoleico es el ácido graso predominante, seguido por el ácido palmítico. Los principales compuestos en los granos de café tostados (aceite de café) son los triacilglicéridos (78.8 %) y los ésteres de diterpeno (15 %). Los diterpenos más representativos son cafestol, 16-O-etilcafestol y kahweol. El cafestol y el kahweol son parcialmente degradados durante el proceso de tostado, lo cual resulta de gran importancia debido a que se les considera responsables del aumento en los niveles de colesterol total y LDL observados en algunas poblaciones.

El aroma del café tostado es muy complejo, ya que está compuesto por una gran cantidad de compuestos volátiles con diferentes cualidades de olor: algunos agradables, pero muchos otros probablemente por debajo de su umbral de detección. La concentración, la proporción y los efectos sinérgicos y antagónicos entre los compuestos volátiles influyen en la calidad final del aroma.

La composición volátil del café tostado depende de muchos factores, que incluyen la

variedad / especie de café, las condiciones de cultivo y cosecha, el almacenamiento antes del tostado, el grado de tostado y el tipo de máquina tostadora. La formación de compuestos volátiles depende de la estabilidad de sus precursores y la ubicación dentro de la semilla. Hasta el momento, se han identificado más de 1000 compuestos con una amplia variedad de grupos funcionales después de tostarlos en diferentes tipos de café. Alguna de las clases de compuestos volátiles que se encuentran en el café tostado son: furanos, piranos, pirazinas, pirroles, aldehídos, cetonas, fenólicos, hidrocarburos, alcoholes, ácidos, ésteres, lactonas, tiofenos, oxazoles, tiazoles, piridinas, aminas y diversos compuestos de azufre y nitrógeno. No todos los volátiles en el café son aromáticos, y su contribución al sabor no suele estar directamente relacionada con su abundancia.

En conclusión, se puede decir que el aroma complejo del café es formado durante el tostado por la pirólisis de compuestos solubles en agua (aminoácidos, azúcares, trigonelina). Así mismo, por la producción de precursores de aromas obtenidos a partir de las rutas como: reacciones de Maillard, degradación de Strecker, degradación y formación de pirazinas y oxazoles, y la degradación de la trigonelina, ácidos fenólicos, azúcares y cetonas y lípidos. De forma general, los carbohidratos producen furanos, aldehídos, cetonas y fenoles, las proteínas péptidos y aminoácidos producen cetonas, pirroles y fenoles y pirazinas mientras los lípidos producen pequeñas cantidades de aldehídos y cetonas, debido a su estabilidad (Alves *et al.*, 2017).

Referencias

1. Alves, C., Rodrigues, F., Nunes, M.A., Vinha, Beatriz, M. y Oliveira P.P., *State of*

- the art in coffee processing by-products*. En Handbook of Coffee Processing By-Products. (Galanakis, S., eds), Elsevier, London, 2017, pp.1-2.
2. Batista, L.R., Chalfoun, S. M., Silva, C.F. y Schwan R.F., *Coffee: Types and Production*. En Encyclopedia of Food and Health (Caballero B, Finglas, P.M. y Toldrá, F., eds), Elsevier, Oxford, 2016, pp. 244-251.
 3. Belitz, W. y Grosch, P., *Schieberle Food Chemistry* 4 ed., Springer, Berlin, 2009.
 4. Cid, M.C. y de Peña M.P., *Coffee: Analysis and Composition*. En Encyclopedia of Food and Health (Caballero B, Finglas, P.M. y Toldrá, F., eds), Elsevier, Oxford, 2016, pp.225-231.
 5. Desrosier, N.W., *Elementos de tecnología de alimentos*, Compañía Editorial Continental, S.A., México, 1987.
 6. De Melo Pereira, G.V., de Carvalho Neto D.P., Magalhaes Junior A.I., Vasquez Z.S., Medeiros A.B.P, Vandenberghe L.P.S. y Soccol C.R., Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans—A review. *Food Chem*, 272, pp.441-52, 2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814618314663>
 7. Kulapichitr, F., Borompichaichartkul, C., Suppavorasatit, I. y Cadwallader, K.R., Impact of drying process on chemical composition and key aroma components of Arabica coffee. *Food Chem*, 291, pp.49-58, 2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814619306478>
 8. Schwan R.F. y Fleet, G.H, *Cocoa and coffee fermentations*, CRC Press, Boca Raton, 2015, pp. 614
 9. Wei, F. y Tanokura, M., *Chemical Changes in the Components of Coffee Beans during Roasting*. En Coffee in Health and Disease Prevention (Preedy, V., ed), Elsevier, Oxford, 2015, pp. 83-91