



## La modificación del aroma del café - revisión de conceptos

**Carlos Rolz**

Centro de Ingeniería Bioquímica, Instituto de Investigaciones  
carlosrolz@uvg.edu.gt

### Introducción

La calidad de una taza de café la determina el gusto y satisfacción de los consumidores hacia el sabor y aroma que posea. Ha sido difícil definir la calidad en otros términos, y continua siendo esquivada, a pesar de los avances científicos que han permitido, por un lado, un entendimiento mayor de los efectos ambientales, agrícolas y de proceso sobre la misma, por el otro lado, un conocimiento más profundo de la composición química del café verde y tostado, la génesis y la identificación de la numerosa y amplia gama de compuestos generados durante el proceso de tostación, y la relación entre la composición química del aroma y del sabor de las diferentes bebidas de café con las pruebas sensoriales practicadas por la industria comercial (Folmer, 2014)

En fechas recientes se han llevado a cabo experimentos en los cuales se ha intentado modificar el aroma del café tostado, acentuando sabores y aromas, algunos de ellos inusuales y característicos, por medio de un mayor control en el proceso de fermentación en el cual se elimina el mucílago que embebe a las semillas del café. Los resultados preliminares a la fecha han llamado la atención internacional, y los productores ven en ello la posibilidad de ofrecer cafés únicos y especializados con un mayor valor agregado.

En los países productores la experiencia en el cultivo y la investigación agrícola se han enfocado a lograr variedades de café productivas, resistentes a plagas, y a la promoción del prestigio de nichos regionales con cafés de calidad. Además, se ha logrado desarrollar espacios en el comercio mundial, aunque relativamente pequeños, de producto especializado,

como cafés orgánicos y plantaciones sostenibles, aunque algunos autores indiquen que lo anterior no ha sido suficiente para garantizar un *fair-trade* en el comercio del café (Weber, 2011) Por otro lado, el programa *Cup of Excellence* ha sido un mecanismo exitoso en países productores para seleccionar cafés de origen con atributos sensoriales sobresalientes (Wilson et al. 2012).

El propósito de este estudio es el de opinar sobre las investigaciones publicadas en donde se ha buscado alterar el llamado *beneficiado de café* con el objetivo primordial de modificar el aroma y realzar sensaciones organolépticas nuevas. Debe especificarse, desde el principio, que en los ensayos publicados se han reportado datos para los tres principales esquemas de *beneficio* empleados en la actualidad en los países productores: el proceso en seco, el proceso húmedo, y el proceso semi-seco. Descripciones de los mismos y de su relación con la calidad de la bebida se encuentran en publicaciones recientes de revisión (Buffo y Cardelli Freire, 2004; Sunarhum et al. 2014; Lee et al. 2015; Poltronieri y Rossi, 2016; Toledo et al. 2016; Waters et al. 2017; de Melo Pereira et al. 2017; 2019; Haile y Kang, 2019; Zhang et al. 2019a,b).

---

El propósito de este estudio es el de opinar sobre las investigaciones publicadas en donde se ha buscado alterar el llamado *beneficiado de café* con el objetivo primordial de *modificar el aroma y realzar sensaciones organolépticas nuevas*.

---

El contenido del artículo es extenso, iniciándose con un resumen del conocimiento actual sobre el proceso de beneficiado de café y de su relación con la calidad final de la bebida. Se discuten a continuación la fermentación del café despulpado, los microorganismos que intervienen en la remoción del mucílago, los compuestos químicos que se producen por dicha intervención, los efectos del beneficiado en húmedo sobre la calidad de la bebida, la generación del aroma durante la etapa de tostación, la composición química del aroma, y el análisis organoléptico o sensorial de la bebida. Con esta base de información, y en forma detallada, se comentan, finalmente, los resultados de las pruebas preliminares que se han realizado para modificar el aroma por medio de cambios estratégicos durante la fermentación del café y lo que se ha logrado.

## Fermentación del café despulpado

En el proceso húmedo la etapa de fermentación ha tenido como objetivo único eliminar completamente el mucílago que embebe a las semillas del café. En el país, generalmente se emplean tanques rectangulares de concreto, protegidos de la luz solar, en los cuales se amontona el café sin la adición de agua, ni agitación o control de temperatura. El final de la fermentación lo determina, en base a su experiencia, los operarios encargados por una observación directa del café. Luego se lava con agua en canales en donde fluye continuamente agua, llamados correteos, y se deshidrata con energía solar en patios abiertos hasta lograr una humedad entre 10-12 %. En los procesos secos y semi-secos, los cuales no se emplean en el país, la fermentación toma lugar en la cereza entera, en el primero de los casos, y en la cereza sin pulpa, la cual no se lava al finalizar, sino se deshidrata directamente, en el segundo de ellos.

Las investigaciones recientes se han centrado en esta etapa del beneficio con el objetivo de acentuar sabores y aromas por medio de la adición de un cultivo de microorganismos seleccionados al inicio de la fermentación. Sin embargo, antes de comentar los resultados obtenidos es necesario explicar el conocimiento científico actual sobre el rol que los microorganismos tienen en la fermentación del café y su relación con la calidad.

## Microorganismos en la fermentación natural del café despulpado

Se han reportado trabajos desde mediados del siglo pasado con la descripción de los microorganismos presentes en el proceso de fermentación y que son responsables de la degradación del mucílago a compuestos solubles. En ellos se identificaron principalmente bacterias productoras de ácido láctico y levaduras utilizando metodología clásica de taxonomía y bioquímica. Por ejemplo, Agate y Bhat (1966) identificaron levaduras durante la fermentación, como también, en la superficie del fruto maduro o café en cereza, de manera que, correctamente concluyeron, que la fermentación estaba controlada por la

diversidad microbiológica natural del fruto del café. Por otro lado, Avallone et al. (2001a) identificaron, por un lado, bacterias productoras de ácidos láctico y acético, y por el otro, levaduras; el primer grupo causa la disminución del pH al final de la fermentación a valores cercanos a 4.0, y el segundo grupo, es el productor principal de etanol y otros compuestos. En el proceso de beneficio en seco, Silva et al. (2000; 2008) encontraron una abundante y diversa flora microbiana, incluyendo bacterias y levaduras fermentativas, y hongos filamentosos capaces enzimáticamente de degradar celulosa y pectina y producir ácidos orgánicos. Concluyeron que en el beneficio en seco la población microbiana era más variada y compleja que en el beneficio húmedo; lo cual, a nuestro criterio, es lógico ya que en el proceso en seco se emplea la cereza entera sin la separación previa de la pulpa. En el beneficio seco las bacterias Gram-positivas predominantes fueron del género *Bacillus*; entre las Gram-negativas, *Serratia*, *Enterobacter* y *Acinetobacter*. Entre las levaduras, los géneros *Debaromyces*, *Pichia* y *Candida*. Finalmente entre los hongos filamentosos, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Cladosporium*.

Ha sido recientemente que se ha logrado una descripción más detallada de la diversidad microbiológica debido a que en el análisis se han empleado métodos de biología molecular. Varias publicaciones discuten los resultados obtenidos, en los diferentes procesos: a) en húmedo (Masoud et al. 2004; de Melo Pereira et al. 2014; Evangelista et al. 2014; Feng et al. 2016; Ribeiro et al. 2018; de Oliveira Junqueira et al. 2019; Zhang et al. 2019b; Elhalis et al. 2020a) b) en el proceso semi-seco (Marques-Vilela et al. 2010) y c) estudios en donde se comparan resultados entre el proceso húmedo y el proceso seco (Hamdouche et al. 2016; De Bruyn et al. 2017). Por otro lado, Leong et al. (2014) aislaron e identificaron más de cien bacterias lácticas presentes en la superficie del café cereza.

• **Proceso húmedo.** Masoud et al. (2004) obtuvieron muestras de café cereza, despulpado y fermentado de dos unidades procesadoras en Arusha, Tanzania. Encontraron el predominio de tres levaduras, *Pichia anomala*, *Pichia kluyveri* y *Hanseniaspora uvarum*. de Melo Pereira et al. (2014) procesaron café cereza, variedad Mundo Novo, proveniente de una plantación en Lavras, Minas Gerais. La fermentación se llevó a cabo en forma sumergida por 48 h. Las levaduras presentes inicialmente crecieron durante el proceso, *Pichia guillermondi*, *Pichia caribbica* y *Hanseniaspora opuntiae* se detectaron con más frecuencia al inicio de la fermentación; en cambio, *Pichia fermentans*, *Pichia kluyveri*, *Candida glabrata* predominaron al final de la fermentación. Las levaduras produjeron un grupo amplio de compuestos, entre los que estaban etanol, acetaldehído, acetato de etilo, y acetato de isoamilo, los cuales tienen un papel en la generación del aroma del café. Evangelista et al. (2014) procesaron café de dos plantaciones, Monte Carmelo a 870<sup>1</sup>m y en Lavras a 919m. Las fermentaciones de café despulpado se llevaron a cabo en

<sup>1</sup> Las alturas de las diferentes plantaciones mencionadas en el artículo están dadas en metros sobre el nivel del mar e identificadas como m

forma sumergida en agua por 48 h. En la primera plantación predominaron la levadura *Torulaspora delbrueckii* y las bacterias *Enterobacter asburiae* y *Leuconostoc mesenteroides*; en cambio en la segunda plantación, resaltaron las levaduras *Meyerozyma caribbica* y *Hanseniaspora uvarum* y las bacterias *Staphylococcus warneri* y *Erwinia persicina*. El ácido láctico fue el producto más abundante. Feng et al. (2016) identificaron bacterias y levaduras con actividad pectinolítica. Entre las levaduras predominantes estaban *P. kluyveri*, *P. fermentans* y *H. uvarum*. de Carvalho Neto et al. (2017) procesaron café de la región de Cerrado Mineiro; durante la fermentación de 48 h encontraron que la población de levaduras estaba representada principalmente de *Saccharomyces* sp., *T. delbrueckii*, *P. kluyveri*, *H. uvarum* y *Hanseniaspora vinea* y *M. caribbica*; con la producción de ácidos orgánicos, láctico y acético. Ribeiro et al. (2018) procesaron café cereza de una plantación a 970-1200 m localizada en Patrocínio, Estado de Minas Gerais, Brasil en el pico de la cosecha en el mes de Junio. Utilizaron tres variedades de café, *Ouro Amarelo*, *Mundo Novo*, y *Catuai Vermelho*. Las fermentaciones de café despulpado se llevaron a cabo en forma sumergida en agua por 18, 19 y 23 h respectivamente según la variedad. En todos los casos el pH final estuvo alrededor de 4.0. Se identificaron 36 bacterias mesófilas y seis bacterias lácticas; *Lactobacillus plantarum* y *L. mesenteroides* estuvieron presentes en las fermentaciones de las tres variedades de café. de Carvalho et al. (2018a) procesaron café de la Fazenda Apuracana, en la región de Cerrado Mineiro, Minas Gerais. La fermentación se llevó a cabo en tanques de cemento por 24 h, con el café sumergido en agua. Luego se secaron al sol por 20 días. Detectaron más de 80 géneros de bacterias, incluyendo algunas nunca antes reportadas, como *Fructobacillus*, *Pseudonocardia*, *Pedobacter*, *Sphingomonas* e *Hymenobacter*. Al final de la fermentación predominaban las bacterias lácticas, representadas por *Leuconostoc* y *Lactococcus*. de Oliveira Junqueira et al. (2019) procesaron café de una plantación a 1959 m localizada en Buesaco, Nariño, Colombia. Las fermentaciones se llevaron a cabo en forma sumergida, 4 litros de agua por 10 kg de café despulpado, por un tiempo de 48 h. Las bacterias productoras de ácido láctico, *Leuconostoc* y *Lactobacillus* predominaron en el proceso fermentativo. De las levaduras, *Pichia nakasei* dominó el proceso generando acetaldehído. La acción microbiana produjo 20 compuestos volátiles incluyendo alcoholes, ácidos orgánicos, aldehídos, ésteres, fenoles e hidrocarburos. Zhang et al. (2019b) procesaron café proveniente de la estación experimental cerca de Jinghong en Yunna, China localizada a una altitud de 1,300 m. Las fermentaciones se hicieron en forma sumergida empleando café despulpado y café despulpado y desmucilaginado, por tiempos cortos, 36, 48 h y 12 h respectivamente, como también por espacios más largos, 72 y 84 h, respectivamente. Durante la fermentación se observó una interacción dinámica entre los compuestos formados por la degradación del mucílago solubles en el agua y la actividad microbiana de bacterias lácticas, especialmente *Leuconostoc* y *Lactococcus*. La comunidad

microbiana fue influenciada por el tipo de proceso y la duración de la fermentación. Al mismo tiempo, el metabolismo endógeno del grano de café permaneció activo durante todo el proceso. Elhalis et al. (2020a) procesaron café de la plantación estatal de Kahawa, Teven, Nueva Gales del Sur, Australia, localizada a 6.6 m. El periodo de la fermentación fue de 36 h y se llevó a cabo en forma sumergida. La comunidad bacteriana identificada estuvo dominada por bacterias aeróbicas mesófilas, siendo *Citrobacter* el género más abundante. Por otro lado, *L. mesenteroides* y *Lactococcus lactis* fueron las bacterias lácticas observadas con mayor frecuencia; lo mismo que las levaduras *H. uvarum* y *Pichia kudriavzevii*. Los principales productos de la acción microbiana sobre el mucílago fueron ácido láctico, glicerol y manitol.

---

#### Levaduras y bacterias lácticas predominan en la fermentación del beneficio húmedo

---

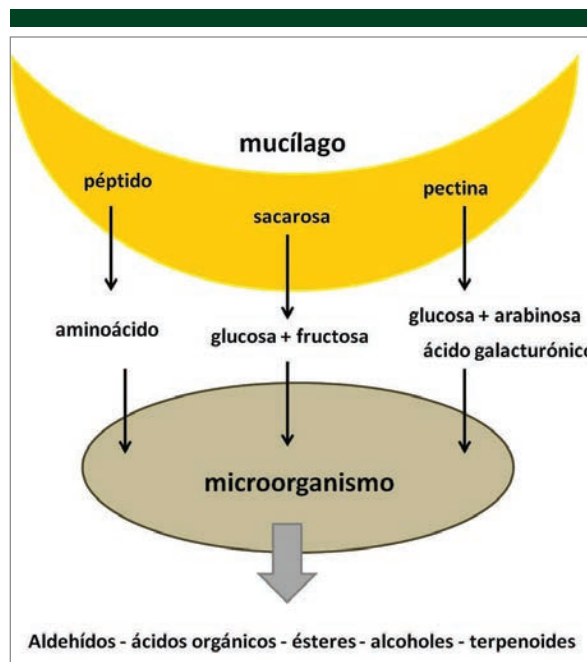
- **Proceso semi-seco.** Marques-Vilela et al. (2010) procesaron café cereza variedad Bourbon de una plantación en Lavras, Minas Gerais. Luego de remover la pulpa, el café fermentó y se secó hasta una humedad de 11-12 % en una plataforma de concreto en un tiempo de 9 días. Durante la fermentación predominaron las bacterias, luego las levaduras y finalmente los hongos filamentosos. Las bacterias predominantes fueron *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Enterobacter agglomerans*, *Bacillus cereus*, y *Klebsiella pneumoniae*; las levaduras *Pichia anomala*, *T. delbrueckii*, y *Rhodotorula mucilaginosa*.
- **Proceso seco.** Hamdouche et al. (2016) emplearon muestras de café de Camerún procesadas por el proceso seco y por el proceso húmedo. Identificaron bacterias lácticas únicamente en las muestras procesadas en húmedo, entre ellas, *Lactobacillus*, *Weissella*, y *L. mesenteroides*. Por el contrario, y solo en el proceso seco, identificaron genes de *Chriseobacterium*. Sugirieron que estos patrones podrían servir de modelo para discriminar muestras de acuerdo al proceso empleado. Previamente, empleando el mismo procedimiento, se había sugerido también que patrones de hongos filamentosos pudieran identificar el lugar geográfico de origen dentro de un país de la muestra de café (Nganou et al. 2012). De Bruyn et al. (2017) procesaron muestras de café cereza de una plantación en Nanegal, Ecuador a una altura de 1,329 m. La fermentación en el proceso húmedo se llevó a cabo en recipientes plásticos sin agua, un grupo por 16 h, y otro grupo por 36 h. El café fermentado se lavó con agua y se dejó sumergido por 24. Luego se secó en patios de cemento hasta llegar a 12 % de humedad. En el proceso seco, la fermentación y el secado simultáneo se llevaron a cabo en bandejas expuestas al sol. En unas bandejas las cerezas se colocaron en una capa, en otras, en múltiples capas, con agitación diaria, hasta que la humedad llegó a 12 %. Se identificó en el proceso húmedo una cohorte de bacterias lácticas



(*Leuconostoc*, *Lactococcus* y *Lactobacilos*) y levaduras, en las que dominaron *P. kluveris* y *P. fermentans*. Varios compuestos producidos por las bacterias lácticas, entre ellos, ácidos láctico y acético y manitol fueron detectados en el endospermo. En el proceso seco predominaron las bacterias acéticas, *Acetobacter* y *Gluconabacter* y las levaduras, *Pichia*, *Candida*, *Starmerella* y *Saccharomycopsis*. Los compuestos que se acumularon fueron los ácidos, láctico, glucónico,, glucurónico y acético, y los alcoholes glicerol, manitol, arabitol, sorbitol y xilitol. Consecuentemente, los métodos de procesamiento influyeron sobre la comunidad microbiana. Machado-Martins et al. (2020) trabajaron café de Serra do Caparaó, Espírito Santo, Brazil, de diferentes alturas, por el proceso húmedo y el proceso seco. Encontraron una mayor cantidad de bacterias mesófilicas y lácticas al inicio de la fermentación y levaduras al final. Interesantemente la población de levaduras fue escasa en el proceso húmedo a una altitud alta. Una mayor distribución de bacterias fue encontrada para ambos procesos a una altitud alta. Las bacterias predominantes fueron *L. mesenteroides*, *Weissella paramesenteroides*, y *Pantoea agglomerans*. Las levaduras más abundantes fueron *Cystofilobasidium ferigula*, *R. mucilaginosa*, y *M. caribbica*.

Resúmenes más detallados de la descripción de los microorganismos presentes en el proceso de fermentación se encuentran disponibles (Vaughn et al. 2015; de Melo Pereira et al. 2017). De lo anteriormente expuesto se concluye y resalta el rol que desempeñan las bacterias lácticas, bacterias mesófilicas y levaduras, no solo, ocasionando la degradación y consecuente eliminación del mucílago, sino la producción de una serie de compuestos químicos, siendo algunos de ellos los causantes de la acidez final de la mezcla fermentada.

Debe indicarse que Avallone et al. (2002) sugirieron que la acción de los microorganismos en la degradación del mucílago era mínima, y, por el contrario, el mucílago se degradaba por la acidez causada por la producción bacteriana de ácido láctico. Sin embargo, como se describió anteriormente, y en otros, estudios (Juven et al. 1985; Blanco et al. 1999; Sakiyama et al. 2011; Serrat et al. 2011; Massoud y Jespersen, 2006; Haile y Kang, 2019) en la población microbiana predominante en la fermentación del café, se desarrollan bacterias y levaduras capaces de producir enzimas pectinolíticas (liasa péctica, poligalacturonasa, pectin-metil-estearasa) con actividad a pH ácido, que participan en la hidrólisis del mucílago hasta obtener compuestos solubles. Es posible que ambas acciones bioquímicas tomen lugar y se complementen, ya que quedan interrogantes todavía sin confirmación experimental, por ejemplo, aunque se ha reportado que la pectina del mucílago es de bajo peso molecular, existe una controversia en cuanto a su grado de metilación, (García et al. 1990; Avallone et al. 2000, 2001b) factor importante en el mecanismo enzimático, lo cual posiblemente se deba a variaciones de acuerdo al genotipo del café.



**Gráfica 1.** Esquema de la acción de los microorganismos sobre el mucílago del café. Enzimas producidas por los microorganismos rompen las cadenas poliméricas de polisacáridos y proteínas generando compuestos solubles, los cuales son utilizados por los microorganismos para reproducirse, y producir en forma simultánea distintos productos finales.

## Productos principales acumulados durante la fermentación natural del café despulpado

¿Cuáles son los productos relevantes producidos por los microorganismos que degradan el mucílago desde el punto de vista de la calidad final de la bebida? Como se ilustra en la gráfica 1, los microorganismos emplean los carbohidratos y la proteína del mucílago utilizando su herramienta enzimática para aumentar en cantidad durante la fermentación. Como consecuencia del crecimiento, se acumulan en el medio, o sea fuera de la célula, una amplia gama de productos de bajo peso molecular, algunos de ellos volátiles.

Las levaduras producen etanol, acetaldehído y ácido acético como productos primarios, pero también un conjunto de ésteres, acetato de etilo, iso-amilo, propilo y n-butilo, fenil-etil acetato, etil hexanoato, octanoato y decanoato, los cuales se conocen por sus notas sensoriales florales y frutales (Procopio et al., 2011; Garavaglia et al. 2014). Además producen alcoholes de mayor peso molecular, vía la utilización de aminoácidos del mucílago, entre los que se cuentan: n-butanol, iso-butanol, 1-propanol, 2-fenil-etanol, alcohol iso-amílico, 2,3-butanodiol, y 2-metil-1-butanol (de Melo Pereira et al. 2019). Entre las cetonas producidas está la 2,3-butanodiona la cual otorga notas sensoriales de mantequilla (Evangelista et al. (2015). Silva et al. (2013) reportaron la producción de varios terpenoides, linalool, citronelol y geraniol, asociados con notas sensoriales cítricas. Para Elhalis et al. (2020b) la presencia de levaduras en la



fermentación es fundamental para obtener una bebida de mejor calidad.

El metabolismo complejo de las bacterias lácticas produce compuestos con el potencial de influir en la calidad de la bebida (de Melo Pereira et al. 2020). Aparte del ácido láctico que es el compuesto principal acumulado, por medio de metabolismo homo- o hetero-fermentativo, se producen etanol, acetaldehído, benzaldehído, di-acetilo, ácido acético, ácido 3-metil-butanoico, 2,3-butano-diol, nonanal, octanal, 1-octen-3-ol, fenil-acetaldehído, fenil-etil alcohol, limoneno y estireno (de Melo Pereira et al. 2017; de Carvalho Neto et. al, 2018a,b; Ribeiro et al. 2018; de Oliveira Junqueira et al. 2019; Wang et al. 2019)

---

Lo anteriormente descrito indica que actualmente se conoce con bastante certeza los microorganismos predominantes que intervienen en la fermentación del café y los productos principales que se acumulan en el medio de la fermentación.

---

Sin embargo, señalar a estos productos como posible responsables de influir en el aroma de la bebida, como más adelante se ilustrará, es todavía prematuro, debido a que persistentes interrogantes sin respuesta, las cuales requieren de datos experimentales que las corroboren.

---

Pero, no solo en la fermentación ocurren cambios que pueden influir en la calidad de la bebida, sino que también en otras etapas del beneficiado. Por lo tanto, es pertinente resumir al respecto

---

## Beneficiado en húmedo y calidad de la bebida

Con el objetivo de visualizar en forma general los efectos del beneficiado sobre la calidad de la bebida es pertinente definir los hechos siguientes comprobados experimentalmente:

- En el café verde se encuentran los compuestos químicos precursores del aroma de la bebida.
- Los cercanos 900 compuestos químicos presentes en la bebida de café se generan durante el proceso de tostación.
- La mayoría de compuestos volátiles en el café en oro también se detectan en el café tostado.
- De manera que cualquier cambio inducido en la composición del grano verde puede originar una modificación del aroma de la bebida.

En el cuadro 1 se listan referencias que identifican factores ambientales que influyen en forma positiva en la calidad de la bebida durante el desarrollo de la fruta en el árbol. Debe indicarse que existe una interacción entre el genotipo de la variedad de café y los factores ambientales que afecta la calidad de la bebida, debido a los cambios químicos de algunos compuestos como la trigonelina, la cafeína, los ácidos clorogénicos, los lípidos y la sacarosa (Chen et al. 2016).

La primera variable mencionada es la altitud de la plantación. Se sabe que una mayor altura significa un mejor precio de venta del grano en oro. Como lo aseveraron Wilson et al. (2012) en su análisis de los factores que influyeron a seleccionar los mejores cafés de Centroamérica en las subastas conocidas como *Cup of Excellence*, si otros factores son iguales, la altitud otorga un precio de US\$2.00 por 500 m de altura de la plantación. Estos cafés se distinguen por una aroma compleja con notas florales y frutales como de cereza, manzana, naranja, limón, uva, miel y de jazmín. El factor de la altitud está asociado a una menor temperatura durante el proceso de desarrollo del fruto. La temperatura baja influye en la composición química del grano, por ejemplo, Joët et al. (2006) demostraron que alteraba la ruta metabólica de los ácidos clorogénicos; aumentando el componente 5-CQA. A temperaturas altas, por el contrario aumentaban los componentes 3-CQA y 4-CQA. También las temperaturas bajas alteraban la ruta biosintética de los ácidos grasos; el contenido de ácidos linoleico y palmítico en el aceite del grano aumentaban significativamente. Villareal et al. (2009) también encontraron una correlación significativa entre la temperatura baja durante el desarrollo de la fruta y la composición de los ácidos grasos del aceite del café. Tanto los ácidos clorogénicos como los ácidos grasos son importantes precursores del aroma generada durante la tostación. Por otro lado, Bertrand et al. (2006) encontraron que el aldehído etanal aumentaba en el café en oro de altura. El etanal se forma también durante la tostación a partir de azúcares y aminoácidos y le imparte a la bebida notas frutales muy apreciadas. Por su parte, Bodner et al. (2019) mostró que las bajas temperaturas en plantaciones de altura inducían en el café tostado mayores concentraciones de los volátiles aromáticos siguientes: acetaldehído, acetona, furan, furan-metanol, acetil-furan, metil-pirrol, dimetil-pirazina, 2-etil-5-metilpirazina, y metil-furfuril-alcohol.

---

Una mayor altura significa una bebida con notas aromáticas apreciadas

---

Otra factor ambiental que influye en el desarrollo de la fruta es la presencia de sombra en la plantación. El enfoque tradicional en el pasado fue entender como dicha variable ambiental afectaba el rendimiento del fruto (DaMatta, 2014) sin embargo, estudios recientes se han enfocado hacia la calidad. Vaast et al (2006) reportaron contenidos mayores de cafeína y aceite en el café de árboles bajo sombra y una

**Cuadro 1.** Factores ambientales que influyen en el desarrollo del café en el árbol relacionados con la calidad de la bebida

Fruto del café en el árbol			
Variable	Efecto sobre calidad	Evaluación	Referencia
Altitud de plantación	Positivo	Sensorial	Decazy et al. (2003)
Altitud de plantación	Positivo	Sensorial	Avelino et al. (2005)
Altitud de plantación	Positivo	Sensorial	Bertrand et al. (2006)
Altitud de plantación	Positivo	Sensorial	Barbosa et al. (2012)
Altitud de plantación	Positivo	Volátiles	Bodner et al. (2019)
Altitud de plantación	Positivo	Química-Sensorial	Machado-Martins et al. (2020)
Sombra	Positivo	Sensorial	Muschler (2001)
Sombra	Positivo	Química-Sensorial	Vaast et al. (2006)
Sombra	Positivo	Química	Geromel et al. (2008)
Altitud y sombra	Interacción	Sensorial	Bosselmann et al. (2009)
Altitud y sombra	Positivo	Sensorial	Tolessa et al. (2017)
Altitud y sombra	Interacción	Química-Sensorial	Worku et al. (2018)
Menor temperatura	Positivo	Sensorial	da Silva et al. (2005)
Menor temperatura	Positivo	Química	Villareal et al. (2009)
Menor temperatura	Positivo	Química	Joët et al. (2010)
Menor temperatura	Positivo	Sensorial-Volátiles	Bertrand et al. (2012)

mejor calidad de la bebida. Por el contrario, en el café de árboles bajo el sol, los contenidos de sacarosa, ácidos clorogénicos y trigonelina fueron mayores. La calidad de la bebida fue mejor en las muestras de café bajo sombra. En un estudio más detallado se ha informado que el café en oro desarrollado bajo sombra contiene una menor cantidad de sacarosa y mayores cantidades de glucosa y fructosa, azúcares precursores de compuestos aromáticos durante la tostación (Geromel et al. (2008).

Worku et al. (2018) publicaron datos experimentales en plantaciones de Etiopia en donde encontraron interacciones significativas entre la altitud de la plantación y el uso de sombra, diferentes para el proceso húmedo y para el proceso seco. Sin embargo, algunos de los datos de la composición química son contradictorios con los de otros investigadores. Por ejemplo encontraron que la sacarosa aumentaba con la altitud, pero no llevaron a cabo análisis de glucosa y fructosa. Lo anterior implica que es posible un efecto de la variedad del café y de sus respuestas a los cambios de los factores ambientales y de cultivo.

---

Es pertinente, entonces, recalcar que es necesario de experimentar en el lugar de los hechos con las variedades de café empleadas, tal como se ha sugerido (Bosselmann et al. 2009)

---

Estudios como el de Ovalle-Rivera et al. (2015) deberían alertar el posible efecto del cambio climático sobre el aspecto tratado anteriormente, ya que predicen que regiones de baja altitud relativa, actualmente empleadas para producir café, no serán adecuadas en el futuro para tal fin, debido a que la temperatura media aumentará y por ende, la calidad de la bebida se verá perjudicada. Además, advierten que el rango de altitudes disponibles para el cultivo disminuirá debido al límite máximo de altura permisible.

Se ha documentado en suficiencia que el tipo de proceso empleado en el beneficio es un factor significativo sobre la calidad de la bebida (Knopp et al. 2006; Selmar et al. 2006; Bytof et al. 2007; Duarte et al. 2010; Tarzia et al. 2010; Lyman et al. 2011; Arruda et al. 2012; Tadesse et al. 2015; Hamdouche et al. 2016; Partida-Selas et al. 2019; Rodríguez et al. 2020) sin embargo, en este trabajo, no se entrará a enumerar las diferencias encontradas, puesto que la atención estará dirigida hacia el proceso húmedo de beneficio como se practica en el país.

---

Es conocido que el café cereza maduro dará siempre una bebida de la mejor calidad

---



**Gráfica 2.** Esquema del beneficio empleado en Guatemala. La pulpa se elimina en el pulpero, el cual puede operar con o sin la adición de agua. El mucilago se elimina por fermentación, la cual se lleva a cabo sin la adición de agua, sin embargo, en otros países ocurre bajo agua. El café fermentado se lava y luego se deshidrata. El café en pergamino se elimina manualmente en instalaciones que en el país se denomina beneficio seco. El café en oro se almacena en sacos para su eventual exportación.

De manera que la primera etapa del beneficio húmedo, en donde el café cereza se sumerge en agua, es trascendental, al separar por flotación, café inmaduro y dañado. En el proceso seco, en donde se recolecta mayor cantidad de café inmaduro o dañado, el efecto del grado de maduración de la cereza sobre la calidad de la bebida resultante se acentúa (Montavon et al. 2003) Es preciso, también, indicar que durante el proceso del beneficio la semilla del café inicia el proceso de germinación. Ha sido demostrado por Bytoff et al. (2007) que el proceso metabólico de germinación induce cambios en la composición de ciertos componentes de la semilla, por ejemplo los azúcares, sacarosa, glucosa y fructosa, y que en el proceso húmedo dicho proceso inicia aproximadamente 2 horas después de que al café cereza se le elimina la pulpa. Estos cambios influyen definitivamente en la calidad de la bebida resultante (Selmar et al. 2006). En el proceso seco, el inicio de la germinación ocurre mas tarde en el proceso.

El café cereza maduro, libre de café inmaduro o dañado, continua con las etapas siguientes en el beneficio húmedo, las cuales tienen como objetivo eliminar gradualmente las estructuras orgánicas que recubren la semilla del café y preparar un producto estable, tal como se muestra en la gráfica 2. No existen, en nuestro conocimiento, estudios que demuestren una variación de la calidad de la bebida asociada a cambios químicos en el café, si este se despulpa, ya sea con la adición de agua o sin ella.

Por otro lado, dos estudios, realizados en México y en Colombia, han reportado que la etapa de fermentación del café, ya sea tal cual, o sumergido en agua, es imprescindible para obtener una bebida de calidad, ya que si se substituye esta etapa por una remoción del mucilago en forma mecánica o por la adición

de enzimas, la calidad de la bebida disminuye (Gonzales-Ríos et al. 2007a,b; Peñuelas-Martínez et al. 2018)

---

La calidad de la bebida disminuye si la remoción del mucilago se realiza en forma mecánica o por la adición de enzimas

---

Lo que está claro es que de ninguna manera deberían emplearse maquinas mecánicas o enzimas comerciales para sustituir el proceso fermentativo. Como anteriormente se describió en detalle, el desarrollo de la compleja mezcla de microorganismos y los compuesto producidos, influyen en la composición química del café, lo que se traduce en la generación de compuestos volátiles que le imparten a la bebida acentos especiales.

Aun es más, la fermentación del café sumergido en agua obtuvo una mejor calificación sensorial; así mismo, se sugirió que el pH final en el tanque de fermentación no debería ser menor de 4.0. (Jackels y Jackels, 2005)

---

Lo anterior es interesante y debería ser confirmado con un mayor número de ensayos puesto que induciría un cambio en la operación de los beneficios

---

¿Se pierden compuestos precursores de aroma volátiles y no volátiles durante el lavado exhaustivo que toma lugar en el correteo? De acuerdo a nuestro conocimiento, no existen estudios publicados al respecto. Si el mecanismo de pérdida fuera por simple difusión gobernada por gradientes de concentración únicamente, la respuesta a la pregunta es afirmativa. Sin embargo, si los compuestos se encuentran adsorbidos a la estructura del café o dentro de compartimientos celulares, la respuesta a la pregunta es negativa. Una fermentación sumergida podría significar una menor cantidad de agua para lavar. El lavado suele ser importante para remover residuos de la degradación del mucilago, los cuales durante el secado y almacenamiento podrían dar origen a sabores extraños en la bebida. Por otro lado, debe enfatizarse que es necesario, desde el punto de la calidad de la bebida, llevar a cabo experimentos para aclarar este aspecto.

Durante el secado del café lavado, este sufre cambios químicos debido al estrés por sequedad provocado por la deshidratación. El compuesto ácido  $\geq$ -aminobutírico (GABA), típico de plantas en estrés de sequedad, se acumula en el café durante el secado (Bytof et al. 2005; Kramer et al. 2010). Una de las consecuencias es la disminución del contenido de glucosa y fructosa importantes precursores de aroma (Kleinwachter y Selmar, 2010) Por otro lado, el secado solar con su secuencia intermitente-día/noche genera un café seco con mayor concentración de aldehídos y ésteres, precursores que causan una intensidad de sabores y



mejor calidad de la bebida (Lyman et al. 2011) Si es necesario, por causas ambientales, utilizar el secado mecánico con aire pre-calentado, no debe emplearse temperaturas cercanas a 60°C ya que la calidad de la bebida resultante disminuye (Coradi et al. 2007; Da Silva Taveira et al. 2015; Alves et al. 2017) Temperaturas de 40°C y un patrón de secado intermitente mejoran el daño anteriormente mencionado (Borem et al. 2014)

---

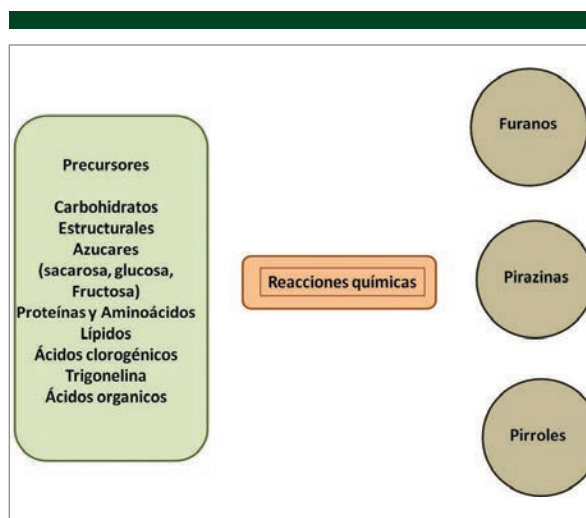
Durante el secado del café lavado el estrés de deshidratación provoca cambios químicos

---

El almacenamiento del café en oro por un periodo prolongado disminuye su calidad, como es sabido. Desde los acentos aromáticos atípicos indeseables causados por la oxidación de los lípidos hasta un bajón de tono de la bebida (Scheidig et al. 2007; Selmar et al. 2008; Rendón et al. 2014) En su aspecto físico el café desarrolla un color verde azulado característico debido a la oxidación de los ácidos clorogénicos (Selmar et al. 2008) Se han reportado cambios en el almacenamiento de algunos precursores de aroma, por ejemplo, pérdidas leves de glucosa y fructosa (Coradi et al. 2007; Selmar et al. 2008) y 5-CQA (Rendón et al. 2014) Con respecto a cambios en compuestos volátiles, Scheidig et al. (2007) notaron un aumento de los esteres metílicos de los ácidos 2 y 3-metilbutanoico, con el incremento de acentos frutales, y un aumento de los compuestos 2-metoxi-4-vinilfenol y 2-metoxi-5-vinilfenol, causantes de acentos ahumados y con olor a clavo. Borem et al. (2013) demostró que el almacenamiento en sacos de yute disminuía la calificación sensorial de la bebida en relación al almacenamiento en sacos herméticos con adición de CO<sub>2</sub>.

## Generación del aroma de la bebida durante el proceso de tostado

Como se mencionó anteriormente, en el café verde se encuentran los compuestos químicos precursores del aroma de la bebida; el aroma del café tostado consta de alrededor de 900 compuestos químicos que, en su mayoría, son producto de reacciones llevadas a cabo a temperaturas altas durante el proceso de tostación. Sin embargo, a pesar de múltiples estudios en sistemas modelo, los mecanismos de formación del aroma en el café no se conocen bien; esto se debe, tanto a la composición química compleja del café en oro, como a los cambios físicos y químicos que tiene el café durante la tostación (Poisson et al. 2009) Por ejemplo, durante la tostación se genera un aumento considerable de presión dentro del grano causada por la cantidad de vapor de agua generado y CO<sub>2</sub> producto de las reacciones químicas favorecidas por la alta temperatura, lo cual significa, al final, una pérdida de materia entre 14 y 20 % dependiendo de las condiciones de la tostación (Geiger et al. 2005). Ensayos novedosos se han publicado en donde se han estudiado los cambios químicos que ocurren durante la tostación al considerar



**Gráfica 3.** Esquema general del sistema complejo de reacciones químicas que ocurren durante la tostación del grano en oro y producen los tres grupos más numerosos de compuestos volátiles, los furanos, las pirazinas y los pirroles a partir de compuestos precursores.

a los granos de café como mini-reactores (Mueller et al. 2006; Poisson et al. 2009).

La gráfica 3 muestra un esquema simplificado de la producción de los tres grupos de compuestos volátiles más numerosos que se generan durante la tostación, a saber, los furanos, las pirazinas y los pirroles. Diagramas más explícitos en cuanto al detalle de los mecanismos químicos involucrados han sido publicados por Yeretian et al. (2002), Bufo y Cardelli-Freire, 2004; Ribeiro et al. (2009) y Toledo et al. (2016).

Los compuestos no-volátiles presentes en el café tostado incluyen alcaloides (cafeína y trigonelina) ácidos clorogénicos, ácidos carboxílicos, carbohidratos y polisacáridos, lípidos, proteínas, melanoidinas y minerales (Bufo y Cardelli-Freire, 2004) Varios de estos compuestos contribuyen al sabor de la bebida, impartiendo acentos y notas amargas, astringentes, y dulces (Toledo et al. 2016).

Los ácidos clorogénicos presentes en el café en oro constituyen una mezcla compleja de ácidos cafeoil-quinico, dicafeoil-quinico, feruloilquinico, p-cumaroilquinico y ésters mixtos de los ácidos cafeico y ferúlico con ácido quinico, cada grupo con, por lo menos, tres isómeros (Farah et al. 2008) Durante el tostado dichos compuestos, en parte, se degradan en quinolactonas y melanoidinas.

En los cuadros 2 y 3 se ha resumido la información publicada sobre el destino que tienen los compuestos volátiles del café en oro durante la tostación. En ambos casos, se observa que compuestos volátiles presentes en el café en oro desaparecen por efecto de la tostación; también es de notar, que algunos de ellos se conservan y están presentes también en el café tostado. Existen discrepancias en los listados entre los dos cuadros, indiscutiblemente causadas por el origen geográfico diferente de las muestras analizadas.

**Cuadro 2.** Componentes volátiles en el café en oro y tostado en muestras de México (Gonzales-Ríos et al. 2007a,b)

Compuestos en el café en oro que desaparecen con la tostación (33 compuestos)	Compuestos presentes tanto en el café en oro como tostado (30 compuestos)
Acetaldehído	Acetato de metilo
Sulfuro de di-metilo	2-Metil-furan
2-Propanona	2,4-di-Metil-heptano
4-Metil-octano	Acetato de etilo
Propanal	2-butanona
2-Butanol	2-Metil-butanol
Propanol	3-Metil-butanol
Hexanal	Etanol
Etil-benceno	Tolueno
2-Pentanol	Isovalerato de etilo (Acido butírico-3-metil)
1,3-di-Metil-benceno	Alcohol isobutílico
1-Butanol	1-Metil-pirrol
Alcohol iso-amílico	Piridina
2-Pentil-furan	3-Hidroxi-2-Butanona
1-Pentanol	Acido acético
3-Metil-2-butene-1-ol	Furfural
1-Hexanol	Benzaldehido
Nonanal	5-Metil-furfural
1,3-di-Cloro-benceno	$\gamma$ -Butiro-lactona
1-Octen-3-ol	Acido butanoico
Heptanol	Furfuril alcohol
Acido propiónico	Acido iso-valerico (3-Metil-acido butanoico)
2,3-Butane-diol	Guaiacol (2-Metoxi-fenol)
di-Metil-sulfóxido	Maltol (2-etil-3-hidroxi-4H-piran-4-ona)
$\gamma$ -Valero-lactona	2-Acetil-pirrol
Hexil-hexanoato	Fenol
4-Metil-benzaldehido	$\gamma$ -Deza-lactona
Acido Hexanoico	4-Vinil-guaiacol (2-Metoxi-4-vinil-fenol)
2,4-di-Metil-benzaldehido	Acido benzoico
Alcohol bencílico	5-Hidroxi-2-metil-furfural
2-Fenil-etanol	
$\gamma$ -Undeca-lactona	
Acido decanoico	

**Cuadro 3.** Componentes volátiles en el café en oro y tostado en muestras de Kenia e India (Kim et al. 2019)

Café en oro (24 compuestos)	Ambos (6 compuestos)	Café tostado (58 compuestos)
Hexano	Limoneno ( 1-Metil-4-isopropenil-1-ciclohexeno)	2-Metil-furan
2-Metil-butanol (2-Metil-butiraldehído)	2-Pentil-furan (2-Amil-furan)	2,5-di-Metil-furan
3-Metil-butanol (3-Metil-butiraldehído)	Benzaldehído	2,3-Pentanediona
Tolueno	$\gamma$ - Butiro-lactona	1-Metil-1H-pirrol
Hexanal	Fenil-etil-alcohol	3-Metil-fenol (meta-Cresol)
Etil-benceno	2-Metoxi-4-vinilfenol	Mirceno (1,6-Octadieno)
1,4-di-Metil-benceno		Piridina
1,3-di-Metil-benceno		Pirazina
1,2-di-Metil-benceno		2-(Metoxi-metil)-furan (furfuril-metil-éster)
3-Metil-1-butanol (Alcohol isoamílico)		dihidro-2-Metil-3(2H)-furanona
2,6-dimethyl_piridina		2-Metil-pirazina
1-Pentanol		2,5-di-Metil-pirazina
3-Hexanol		2,6-di-Metil-pirazina
Nonanal		2-Etil-pirazina
Acido acético		2,3-di-Metil-pirazina
1-Octen-3-ol		2-cido-Penten-1-ona
2-Etil-1-hexanol		2-Metil-2-cidopenten-1-ona
2_Metoxi, 3_isobutil-pirazina		1-Hidroxi-2-butanona
2,3_Butanodiol		3-Etil-piridina
di-metil sulfoxido		2-Etil-6-metil-pirazina
1,3_Butanediol		2-Etil-5-metil-pirazina
Benceno acetaldehído		2-Etil-3-metil-pirazina
Acido iso-valérico (Acido butanoico-3_metil)		2-Propil-pirazina
Alcohol bencílico		2,6-di-Etil-pirazina
		3-Etil-2,5-di-metil-pirazina
		Furfural
		1-(Acetil-oxi)-2-propanona (Acetoxi-acetona)
		Oxido de linalool
		2-[(Metil-tio)-metil]-furan (Sulfuro de metil-furfuril)
		2-Etenil-6-metil-pirazina
		Furfuril formato
		1-(2-Furanil)-etanona
		3-Metil-2-cido-penten-1-ona
		2-Butil-furan
		2,3-Pentanediona
		1-(Acetiloxi)-2-Butanona
		Acetato de 2-furan-metanol (2-Acetoxi-metil-furan)
		Linalool (1,6-Octadien-3-ol)
		5-Metil-furfural (5-Metil-2-furan-carboxialdehído)
		1-(2-Furanil)-1-Propanona (Furil-etil-cetona)
		di-hidro-5-metil-2(3H)-Furanona
		Propanoato de-2-furan-metanol
		2-Furfuril-furan
		Acetil-pirazina
		1-Metil-H-pirrol-2-carboxialdehído
		1-(1-Metil-pirrol-2-il)-etanona
		2-Furan-metanol (furfuril alcohol)
		3-Etil-2-hidroxi-2-cido-penten-1-ona
		Pirazina-amida (Pirazina-carboxamida)
		1-Pentil-1H-pirrol
		3-Metil-1,2-ciclo-pentanediona
		2,5-di-hidro-3,5-di-Metil-2-furanona
		2-Metoxi-fenol
		1-(1H-Pirrol-2-il)-etanona
		Maltol (2-etil-3-hidroxi-4H-piran-4-ona)
		1H-Pyrrole-2-carboxialdehyde
		4-Etil-2-metoxi-fenol
		Furaneol (2,5-di-metil-4-hidroxi-3(2H)-furanona)



## Composición del aroma del café tostado

El aroma del café tostado es una mezcla compleja de compuestos volátiles. No es el propósito en este estudio profundizar en este aspecto. Sin embargo, se considera pertinente presentar la composición del aroma de algunas muestras de cafés de Guatemala reportados. El cuadro 4 presenta la información de 164 compuestos volátiles, identificados de acuerdo a su estructura química, aldehídos, ácidos, alcoholes, cetonas, ésteres, furanos, hidrocarburos, pirazinas, piridinas, y pirroles. Se comparan dos muestras, un café guatemalteco (Guatemala SHB) analizado en Japón (Akiyama et al. 2008) y nueve muestras de café tostado comercial del país (Mendizábal de Montenegro y Rolz, 2018) Al observar el listado es sencillo deducir que la composición del aroma del café tostado es una mezcla compleja de una cantidad apreciable de compuestos orgánicos. También la información del cuadro indica que las muestras de café, aunque del mismo país de origen, pueden tener diferente composición de su aroma,

aunque debe indicarse que el grado de tostación, en dichas comparaciones, debe ser igual en todas las muestras. Como queda demostrado, el café guatemalteco analizado en Japón, de manera alguna no es representativo de la extensa variación del aroma de los cafés nacionales. La cual, sin embargo y a nuestro criterio, no ha sido estudiada a profundidad. En la literatura existen trabajos que emplean la composición del aroma para diferenciar el origen de la muestra analizada, algunos ejemplos son: a) cafés de Kenia, Colombia y Guatemala (Bichi et al. 1997) b) cafés de Brasil, El Salvador y Costa Rica (Mondello et al. 2005) c) cafés de Brasil y Colombia (Risticvic et al. 2008) y cafés de Brasil, Perú, Guatemala, Costa Rica y Etiopía (Marek et al. 2020) d) cafés comerciales de certificación orgánica con cafés regulares comerciales (Ozdestan et al. 2013) En el país se efectuó un estudio que comparó el aroma de muestras de café tostado de las ocho regiones productoras, encontrando similitudes y diferencias (Mendizábal de Montenegro et al. 2013).

**Cuadro 4.** Componentes volátiles en el café tostado de algunas muestras de Guatemala (Las celdas con color indican presencia del compuesto en el aroma)

	Akiyama et al (2008)	Mendizábal de Montenegro y Rolz (2018)
<b>Aldehídos (15 compuestos)</b>		
2-Metil-butanal		
3-Metil-butanal		
Acetaldehído		
2-Metil-bute-2-enal		
Propanal		
2-Etil-2-butenal		
2-Fenil-buten-2-enal		
Pentanal		
Furfural (2-Furan-carboxialdehído)		
5-Metil-2-furan-carboxialdehído		
1-H-Pirrol-2-carboxialdehído		
1-Metil-1H-pirrol-2-carboxialdehído		
1-Etil-1H-pirrol-2-carboxialdehído		
1-(2-Furanil-metil)-1H-pirrol-2-carboxialdehído		
2-Tiofene-carboxialdehído		
<b>Ácidos (5 compuestos)</b>		
2-Metil-butírico		
3-Metil-butírico		
Acético		
3-Metil-2-butanoico		
3-Metil-pentanoico		

Cuadro 4. Componentes volátiles en el café tostado de algunas muestras de Guatemala (las celdas con color indican presencia del compuesto en el aroma)

	Akiyama et al (2008)	Mendizábal de Montenegro y Rolz (2018)
<b>Alcoholes (16 compuestos)</b>		
Etanol		
3-Metil-3-buten-1-ol		
3-Penten-2-ol		
2-Butanol		
3-Pentanol		
3-Metil-1-penten-3-ol		
2-Metil-3-pentanol		
1-Hexanol		
1-Etil-ciclo-hexanol		
Linalool		
3-Mercapto-3-metil-1-butanol		
2-Furan-metanol		
α-Terpineol		
Geraniol		
1-Dodecanol		
Linalool-oxido		
<b>Cetonas (45 compuestos)</b>		
Acetona		
3-Hidroxi-2-butanona		
1-Hidroxi-2-butanona		
1-Hidroxi-2-propanona		
2,3-Butanediona		
2,3-Pentadiona		
2-Metil-pentanona		
1-(2-Furanil)-2-propanona		
1-(Acetil-oxi)-2-propanona		
1-(5-Metil-2-furanil)-1,2-propanediona		
1-(Acetil-oxi)-2-butanona		
3-Hidroxi-2-butanona		
3-Hidroxi-3-metil-2-butanona		
2-Metil-2-ciclo-penten-1-ona		
2,3-di-Metil-2-ciclo-penten-1-ona		
2-Hidroxi-3-metil-2-ciclo-penten-1-ona		
2-Hidroxi-3,4-di-metil-2-ciclo-penten-1-ona		
3-Etil-2-hidroxi-1,2,3,4-tetra-metil-2-ciclo-penten-4-ona		
2(5H)-furanona		
Dehidro-3-metilen-2(3H)-furanona		
2,5-dihidro-3,5-diMetil-2-furanona		
5-Metil-2(3H)-furanona		
5-Metil-2(5H)-furanona		
3,5-di-Metil-2(5H)-furanona		
3,4-di-Metil-2,5-furanona		
Dehidro-2-Metil-3-(2H)-furanona		
5-(1-Metil-etil)-2-(5H)-furanona		
2,5-di-Metil-4-hidroxi-3(2H)-furanona		
3-Hexanona		
2-ciclo-Hexen-1-ona		
2-Hidro-3-metil-2-ciclo-hexen-1-ona		
1-(1H-Pirrol-1-il)-2-propanona		
1-(1H-Pirrol-1-il)-2-butanona		
1-(2-Furanil)-1-propanona		
1-(2-Furanil)-2-butanona		
1-(5-Metil-2-furanil)-1-propanona		
1-(5-Metil-2-furanil)-1,2-propanediona		
1-(2-Furanil)-etanona		
1-(2-Piridinil)-etanona		
1-(5,6-Metil-pirazinil)-etanona		
1-(1H-Pirrol-2-il)-etanona		
5-Metil-2-furanil-etanona		
(1-Metil-1H-Pirrol-2-il)-etanona		
1-Etil-1H-pirrol-2,5-diona		

**Cuadro 4.** Componentes volátiles en el café tostado de algunas muestras de Guatemala (las celdas con color indican presencia del compuesto en el aroma)

	Akiyama et al (2008)	Mendizábal de Montenegro y Rolz (2018)
di-hidro-2-Metil-3(2H)-tiofenona		
<b>Esteres (13 compuestos)</b>		
Etil-formato		
Metil-acetato		
Etenil-acetato		
1-Metil-propil-formato		
Metil-4-oxo-pentanato		
2-tetra-hidro-furfuril-metil-hexanoato		
Etil-hexadecanoato		
Pentil-propil-oxalato		
1,2-Etano-diol-di-acetato		
1,2-Etano-diol-di-propionato		
Furfuril-acetato		
Furfuril-propanoato		
Furfuril-iso-tiocianato		
<b>Furanos (15 compuestos)</b>		
2-Metil-furan		
2-Metoxi-fenil-furan		
2,5-di-Metil-furan		
2-Etil-5-metil-furan		
2,3-di-hidro-4-Metil-furan		
2-Propil-furan		
2-n-Butil-furan		
Vinil-furan		
2-(2-Furan-metil)-5-metil-furan		
2,2'-[oxibis(Metilen)]bis-furan		
2-(Metil-tio)-metil-furan		
2,2-Metilen-bis-furan		
2,3-di-hidro-6-Metil-tieno[2,3-c]furan		
tetra-hidro-2-Metil-furan		
2-Etenil-benzo-furan		
<b>Hidrocarburos (12 compuestos)</b>		
Fenol		
2-Metil-fenol		
3-Metil-fenol		
4-Metil-fenol		
2-Metoxi-fenol		
4-Etil-2-metoxi-fenol		
4-Etenil-2-metoxi-fenol		
Indol		
Limoneno		
1,8-Cineol (Eucaliptol)		
di-Etoxi-metano		
2-Etoxi-propano		
<b>Pirazinas (24 compuestos)</b>		
Pirazina		
2-Metil-pirazina		
2,5-di-Metil-pirazina		
2,6-di-Metil-pirazina		
2,3-di-Metil-pirazina		
2-Etil-pirazina		
2-Etil-6-Metil-pirazina		
2-Etil-5-Metil-pirazina		
tri-Metil-pirazina		
3-Etil-2,5-di-metil-pirazina		
2-Etenil-6-metil-pirazina		
2-(n-Propil)-pirazina		
Etenil-pirazina		
2,6-di-etil-pirazina		
2,5-di-Etil-pirazina		
2-Metil-6-propil-pirazina		



**Cuadro 4.** Componentes volátiles en el café tostado de algunas muestras de Guatemala (las celdas con color indican presencia del compuesto en el aroma)

	Akiyama et al (2008)	Mendizábal de Montenegro y Rolz (2018)
2-Etil-3,5-di-metil-pirazina		
3-Etil-2,5-di-metil-pirazina		
2-Etenil-5-metil-pirazina		
2-Metil-5-(l-propenil)-,(E)-pirazina		
1-(Metil-etencil)-pirazina		
2-Metil-5-propil-pirazina		
2-Acetil-3-metil-pirazina		
2-Acetil-pirazina		
<b>Piridinas (12 compuestos)</b>		
Piridina		
2-Metil-piridina		
3-Metil-piridina		
4-Metil-piridina		
2-Etil-piridina		
3-Etil-piridina		
4-Etil-piridina		
3-Metoxi-piridina		
2,3-di-Metil-piridina		
2,4-di-Metil-piridina		
2,6-di-Metil-piridina		
N-Acetil-(4H)-piridina		
<b>Pirroles (6)</b>		
1-H-Pirrol		
1-(2-Furanil-metil)-1H-pirrol		
1-[(5-Metil-2-furanil)metil]-1H-pirrol		
1-Metil-1H-pirrol		
3-Metil-1H-pirrol		
2-Etil-1H-pirrol		
<b>Otros (1)</b>		
4-Metil-tiazol		

Desde hace unas décadas se ha logrado identificar en el aroma aquellos componentes claves que caracterizan el sabor y aroma de la bebida y que a su vez sobresalen en su aroma particular. La lista de componentes ha ido incrementándose conforme se perfeccionan los métodos analíticos al respecto. Por ejemplo, no basta ya, separar la mezcla compleja, sino también darle una definición del acento o nota aromática a cada componente clave, a través de instrumental como la nariz electrónica. En el cuadro 5 se presenta una versión de esta información (Akiyama

et al. 2007; Misichita et al. 2010; Sunarhum et al. 2014; Toledo et al. 2016; Yeretian et al. 2019) Se han anotado en negrita los compuestos clasificados como odorantes potentes (Mayer et al. 1999; 2000; Mayer y Grosch, 2001) Debe advertirse, sin embargo, que los componentes clave pueden variar según el origen del café, por lo que es necesario, en el caso de Guatemala, profundizar con un estudio más amplio como anteriormente se sugirió.

**Cuadro 5.** Componentes volátiles clave en el café tostado que imparten diferentes acentos y notas a la bebida.

<b>Dulce-caramelo</b>	
	<b>4-Hidroxi-2,5-di-metil-3(2H)-furanona</b>
	4,5-di-Metil-3-hidroxi-2(5H)-furanona
	<b>2-Etil-4-hidroxi-5-metil-3(2H)-furanona</b>
	2-Etil-4-hidroxi-5-metil-4(5H)-furanona
	<b>5-Etil-3-hidroxi-4-metil-2(5H)-furanona</b>
	5-Etil-4-hidroxi-2-metil-3(2H)-furanona
	<b>3-Hidroxi-4,5-di-metil-2(5H)-furanona</b>
	2,5-di-Metil-4-hidroxi-3(2H)-furanona (furaneol)
	2-Hidroxi-3-metil-2-ciclopenten-1-ona
	1,4-di-Metil-ciclopenten-1-ona
	2-Etil-furaneol
	2-Furan-carboxi-aldehido (furfural)
	5-Metil-2-furan-carboxi-aldehido
<b>Dulce-frutal</b>	
	<b>Propanal (Methional)</b>
	<b>2-Metil-propanal</b>
	3-Metil-propanal
	3-Metil-butanal
	Etil-2-metil-butarato
	Etil-3-metil-butarato
	Fenil-acetaldehido
	Linalool
	Limoneno
	Geraniol
	<b>(E)-b-Damascenona</b>
	Bencen-acetaldehido
	<b>Benzaldehido (Vanillin)</b>
	4-Metoxi-benzaldehido
	4-(4-Hidroxi-fenil)-2-butanona
	3-Mercapto-3-metil-butil-formato
	3-Mercapto-3-metil-butil-acetato
<b>Tostado-nuez</b>	
	2,3-di-Metil-pirazina
	2,5-di-Metil-pirazina
	<b>2-Etil-3,5-di-metil-pirazina</b>
	2,3-di-Metil-5-metil-pirazina
	<b>2,3-di-Etil-5-metil-pirazina</b>
	6,7-di-Hidro-5-metil-5H-ciclopenta-pirazina
	6,7-di-Hidro-5H- ciclopenta-pirazina
	1-(3,4-di-Hidro-2H-pirrol-2il)-etanona
	2,4-di-Metil-5-Etil-tiazol
	Pirrol
<b>Tostado-mania</b>	
	2-Etil-pirazina
	2-Etil-6-metil-pirazina

**Cuadro 5.** Componentes volátiles clave en el café tostado que imparten diferentes acentos y notas a la bebida.

<b>Tostado-ahumado</b>	
	3-Metil-2-butane-1-tiol
	<b>2-Furfuril-tiol (2-Furan-metano-tiol)</b>
	2-Furan-metanol
	3,5-di-Hidro-4(2H)-tio-fenona
	2-Metil-furan
	2-[(Metil-tio)-metil]-furan
	3-Mercapto-3-metil-butanol
	2-Metoxi-metil-furan
<b>Fenólicos</b>	
	<b>2-Metoxi-fenol (guaiacol)</b>
	4-Metoxi-fenol
	4-Etil-2-metoxi-fenol
	4-Etenil-2-metoxi-fenol
	3-Metil-1H-indol
<b>Ácidos</b>	
	Acido acético
	Acido-2-metil-butírico
	Acido-3-metil-butírico
<b>Aceitoso</b>	
	<b>2-Metil-propanal</b>
	<b>2-Metil-butanal</b>
	3-Metil-butanal
	<b>2,3-Butanediona</b>
	<b>2,3-Pentanediona</b>
	2,3-Hexadiona
	Hexanal
	trans-2-Nonenal
	2,6-(E,Z)-Nonadienal
	3-Metil-tiofeno
<b>Hierbas-terroso</b>	
	2-Metoxi-3,5-di-metil-pirazina
	2-Metoxi-3-isopropil-pirazina
	<b>2-Metoxi-3-isobutil-pirazina</b>
	2-Metoxi-3-(1-metil-propil)-pirazina
	2-Metoxi-3-(2-metil-propil)-pirazina
	2-Metoxi-3-(1-metil-etil)-pirazina
	2-Etil-3,5-dimetil-pirazina
	3-Etil-2,5-di-metil-pirazina
	<b>2-Etenil-3,5-di-metil-pirazina</b>
	<b>2-Etenil-3-etil-5-metil-pirazina</b>
	6,7-di-Hidro-5H-ciclo-penta-pirazina
	1-Metil-pirrol
<b>Hierbas-frutilla</b>	
	<b>3-Mercapto-3-metil-butil-formato</b>



**Cuadro 5.** Componentes volátiles clave en el café tostado que imparten diferentes acentos y notas a la bebida.

<b>Salsa soya</b>	3-(Metil-tio)-propanal
<b>Hongos</b>	1-Octen-3-ona
<b>Papa cocida</b>	<b>Metano-tiol (mercaptan)</b> <b>3-Metil-2-buteno-1-tiol</b> 4-Metil-2-buteno-1-tiol
<b>Especies</b>	<b>2-Metoxi-4-vinil-fenol (4-Vinil-guaiacol)</b> <b>4-Etil-2-metoxi-fenol (4-Etil-guaiacol)</b> 4,5-di-Metil-3-hidroxi-2(5H)-furanona (sotalon) 5-Etil-3-hidroxi-4-metil-2(5H)-furanona (abhexon)
<b>Azufrado</b>	<b>di-Metil-tri-sulfuro</b> Furfuril-di-sulfuro 2-Metil-3-fural-tiol

## Análisis sensorial

Ahora bien, una cosa es caracterizar los componentes clave en el aroma de cafés de regiones productoras y la nota sensorial que poseen, y otro asunto es el de correlacionar la concentración de los componentes clave en la mezcla y la apreciación sensorial y calidad de la bebida del café resultante

La mezcla de la cantidad elevada de compuestos aromáticos en el café determina un aroma, sabor, y gusto especial que define el producto que se denomina café. La caracterización de esas propiedades requiere la intervención humana por medio de los diferentes métodos del análisis sensorial. Por lo tanto, es de interés poder correlacionar los datos obtenidos del análisis sensorial con la concentración de los componentes aromáticos clave, dado que de esta manera puede establecerse rutas para optimizar la calidad.

Una discusión detallada sobre el tema, específicamente para el café, se encuentra en las referencias recientes en las cuales se discuten los avances logrados (Bhumiratana et al. 2011; Sunarhum et al. 2014; Seisonen et al. 2016; Bressanello et al. 2017, 2018; Mahmud et al. 2019; Seninde and Chambers, 2020)

El método de análisis de los datos experimentales basado en la regresión lineal parcial por cuadrados mínimos ha sido utilizado en varios casos, entre ellos, los de cafés de Brasil (Ribeiro et al.

2009; 2012) Como posibles marcadores de calidad total de la taza se identificaron a los compuestos siguientes: 3-metil-propanal, 2-metil-furan, furfural, furfural formata, 5-metil-2-furan-carboxialdehído, 4-etil-guaiacol, 3-metil-tiofeno, 2-furan-metanol-acetato, 2-etil-3,6-dimetil-pirazina, 1-(2-furanil)-2-butanona y tres compuestos sin identificar. La acidez de la taza, por los compuestos siguientes: 2-metil-butanal, 3-metil-piridazina, 2,3-hexano-diona, y furfural-metil- eter. El sabor amargo de la taza, por los compuestos siguientes: furfural-formato, etil-pirazina, 4-piridazinamida, y n-metil-fenol.

Sin embargo, en la naturaleza es raro encontrar relaciones lineares, mas bien, las dependencias son no-lineares. Brasanello et al. (2018) empleó técnicas del análisis de múltiples variables para correlacionar la concentración de compuestos aromáticos asociados a la nota frutal y tostado-nuez.

El objetivo de lograr correlaciones robustas todavía no se ha alcanzado y el tema está siendo investigado con intensidad, sin embargo, en términos generales, las correlaciones desarrolladas en el ámbito de los alimentos, son difíciles de interpretar y pobres en su naturaleza (Chambers y Koppel, 1973). Por un lado, las bebidas de café disponibles para los consumidores varían de acuerdo con los gustos existentes en los diferentes países consumidores. Es así, que algunos estudios se enfocan en una preparación en particular, por ejemplo, el café expreso (Lindinger et al. 2008) y otros en bebidas de café preparadas para el consumo final de varias maneras (Gloess et al. 2013) Por otro lado, la evaluación organoléptica de la taza posee diversas variantes. Debe entenderse que esta evaluación persigue definir

el aroma, sabor y gusto de la bebida de café, y para eso se necesitan de estándares o normas de referencia que sean aceptadas internacionalmente.

Para determinar las características sensoriales de la bebida de café se han empleado dos criterios: a) las generales y los descriptores específicos (Seninde y Chambers, 2020) El primero de ellos, es practicado en la mayoría de la industria (Feria-Morales, 2002) y se conoce como *cata de café*, en la cual, expertos catadores de café, en las denominadas mesas rotatorias de catado, determinan el aroma, sabor y gusto de la infusión del café tostado y molido, adicionando según su criterio, notas y acentos que resaltan. Para ello, emplean información contenida y definida en las llamadas ruedas sensoriales, ver gráfica 4, y en normas o estándares internacionales (Specialty Coffee Association, 2018) Es común que se empleen términos como *Fragancia/Aroma, Sabor, Regusto, Acidez, Balance, Cuerpo, Dulzura, Defectos, Uniformidad, Limpieza y Punteo Final* (Seninde y Chambers, 2020) Las apreciaciones cualitativas pueden emplearse para definir clasificaciones de calidad, tal el caso de Guatemala, ver cuadro 6. La cata de café, por ejemplo, es la metodología empleada en cada país productor por el programa reciente denominado *Cup of Excellence*.<sup>2</sup> El segundo criterio, lo llevan cabo panelistas expertos que emplean un léxico específicamente diseñado para el café (Chambers et al. 2016; World Coffee Research, 2017) es empleado exclusivamente en la investigación, y llega a ser complejo puesto que contiene alrededor de 110 atributos que deben ser evaluados. Los resultados de estas pruebas sensoriales no son iguales, ni comparables, por el contrario, se complementan (Di Donfrancesco et al. 2014) y la relación entre ambas evaluaciones es compleja (Palczak et al. 2019). El léxico se ha adaptado a la idiosincrasia de diferentes países consumidores, por ejemplo, Corea del Sur (Seo et al. 2009) y Japón (Hayakawa et al. 2010). También se ha adaptado para diferenciar variedades de café del Brasil, Bourbon, Caturra, Híbrido de Timor, Catimor, Mundo Nuovo, Catuai, (Sobreira et al. 2015). Recientemente se han implementado metodologías que evalúan la percepción en forma dinámica con respecto al tiempo de evaluación, las cuales se han aplicado en casos concretos a diversas bebidas de café (Dinella et al. 2013; Charles et al. 2015)

---

Por supuesto, la última palabra en la evaluación la tienen los consumidores.

---

Los consumidores bebedores de café son, en general, capaces de discernir entre los que les gusta y lo que no les gusta, sin embargo, les es particularmente difícil describir el porqué (Stokes et al. 2017)

Los estudios de evaluación por parte de consumidores son complejos en su diseño y análisis (Varela et al. 2014) Algunos

**Cuadro 6.** Apreciaciones cualitativas de los diferentes tipos de café en Guatemala (Feria-Morales, 2002)

Tipo de cafe	Aroma	Sabor
<b>Lavado Prime</b>	Suave muy limpia Trazas de fragancia	Sin acidez y cuerpo
<b>Lavado Extra Prime</b>	Suave muy limpia Trazas de fragancia	Acidez y cuerpo débiles
<b>Semi-duro</b>	Fragancia penetrante	Acidez débil y cuerpo fino
<b>Duro</b>	Fragancia pronunciada penetrante	Fragancia cuerpo y acidez balanceados
<b>Estrictamente duro</b>	Agradable con fragancia limpia y dulzura débil	Fragancia cuerpo y acidez balanceados

ejemplos incluyen el de Stokes et al. (2017) en donde consumidores compararon cafés frescos con cafés instantáneos y los resultados fueron procesados por medio del análisis de variables múltiples encontrándose correlaciones adecuadas; y el de Jervis et al. (2012) en el cual el producto investigado fue la bebida de café mezclado con leche apreciado por consumidores en sus diversas variantes en las concentraciones de sus elementos, café, leche y azúcar.

## Modificación del aroma

En un artículo reciente, Folmer (2014) preguntaba, ¿podría la fermentación o un pre-tratamiento del café en el beneficio, antes de ser tostado, proveer rutas interesantes para un desarrollo del aroma y el sabor? Con visión, se estaba adelantando a los ensayos pioneros realizados en los años subsiguientes en los cuales se adicionaban microorganismos al inicio de la fermentación para lograr ese objetivo. Curiosamente, la adición de levaduras y bacterias lácticas durante la fermentación del café inicialmente tuvo otros objetivos (de Melo Pereira et al. 2017) En uno de los objetivos, se buscaba inhibir el crecimiento de hongos filamentosos productores de la ocratoxina, un compuesto tóxico para el ser humano (Masoud y Kalsoft, 2006; Massawe y Lifa, 2010) el cual se degrada durante la tostación (Castellanos-Onorio et al. 2011) En el otro objetivo, se deseaba acelerar la degradación del mucílago (Agate y Bhat, 1966; Avallone et al. 2002)

En años recientes se han llevado a cabo experimentos, en los cuales, en la etapa de la fermentación del café, en cualquiera de sus tres procesos de beneficiado, se le han adicionado microorganismos. En dichas pruebas se ha comprobado que los microorganismos, a través del metabolismo de los carbohidratos del mucílago, influyen en la fracción volátil del café tostado y en la calidad sensorial de las bebidas. En los cuadros 7, 8 y 9 se enuncian las publicaciones que han empleado

<sup>2</sup> <https://allianceforcoffeexcellence.org/competition-process/>

Gráfica 4. Rueda de sabores<sup>3</sup>



levaduras, bacterias, y hongos filamentosos, respectivamente. En el cuadro 10 se listan dos referencias en las cuales la adición llevada a cabo ha sido un compuesto en particular. Finalmente,

debe señalarse también el proceso del tratamiento a presión del café variedad Robusta, con el objetivo de eliminar defectos aromáticos en la bebida (Kalschne et al. 2018, 2019).

<sup>3</sup> <https://counterculturecoffee.com/learn/resource-center/coffee-tasters-flavor-wheel>