

Chemistry on your plate: coffee

LA QUÍMICA EN NUESTROS PLATOS: EL CAFÉ

Alfredo M. Angeles-Boza^{1, a}

El consumo global de café ha experimentado un notable incremento en la última década. El elevado consumo de café a nivel mundial se atribuye principalmente a sus efectos psicoestimulantes, influenciados por factores genéticos, y la percepción de sus beneficios para la salud, aunque también se reconocen efectos adversos en algunos individuos. La compleja química del café, influenciada por el grano, el tostado y la preparación, impacta tanto su sabor como sus propiedades. Este artículo explora la química del café, desde las especies Arábica y Robusta y su origen, hasta los procesos de beneficio (húmedo/seco) que modifican el grano verde. Se analizan las transformaciones durante el tostado (reacción de Maillard) y cómo el tueste y la extracción afectan a compuestos como los diterpenos y la cafeína, y a las características sensoriales del café. Finalmente, se destaca el uso de algunas técnicas químicas para determinar el origen y la pureza del café, subrayando la relevancia de la química para comprender integralmente esta bebida.

Palabras clave: Café, Coffea arabica, Coffea canephora, terpenos, cafeína, procesos de beneficio.

The global consumption of coffee has experienced a notable increase in the last decade. The high global consumption of coffee is mainly attributed to its psycho-stimulant effects, influenced by genetic factors, and the perceived health benefits, although adverse effects are also recognized in some individuals. The complex chemistry of coffee, influenced by the bean, roasting, and preparation, impacts its flavor and properties. This article explores the chemistry of coffee, from the Arabica and Robusta species and their origin, to the processing methods (wet/dry) that modify the green bean. Transformations during roasting (Maillard reaction) are analyzed, as well as how roasting and extraction affect compounds like diterpenes and caffeine, and the sensory characteristics of coffee. Finally, the use of chemical techniques to determine the origin and purity of coffee is highlighted, underscoring the relevance of chemistry for a comprehensive understanding of this beverage.

Keywords: Coffee, Coffea arabica, Coffea canephora, terpenes, caffeine, processing methods.

Recibido: 19 de abril 2025

Aceptado en forma final: 18 de junio 2025

Cómo citar este artículo: Angeles-Boza, A.M.: "La química en nuestros platos: el café". Revista de Química, 2025, 39 (1) 37-47

DOI: <https://doi.org/10.18800/quimica.202501.003>

¹ Department of Chemistry and Institute of Materials Science, University of Connecticut, Storrs, CT, 06269, USA

^a  <https://orcid.org/0000-0002-5560-4405> (alfredo.angeles-boza@uconn.edu).



El consumo de café en el mundo llegó a un total de 174.9 millones de sacos de 60 kg en el año 2024.¹ Eso es un incremento de 14.8 % en la última década. Brasil ha sido el mayor productor de café en los últimos diez años, produciendo en promedio 36% del total global, llegando a un máximo en el 2020, año en el que produjo casi el 40% del café consumido en el mundo (**Figura 1a**). Aunque Perú produce sólo un poco más de cuatro millones de sacos, está entre los diez productores más importantes en el mundo, no sólo por su nivel de exportación, sino también por la calidad de su producto. Aproximadamente, el 95% de la producción peruana de café es destinada a la exportación y sólo el 5% es reservado para el consumo interno.² La principal razón es que el consumo per cápita peruano es de sólo 950 gramos al año. Esta cantidad es baja comparada con el consumo per cápita en Colombia (2,5 kg) y Brasil (6 kg). Por supuesto, los europeos se cuentan entre los mayores consumidores y en algunos países como Finlandia se llega a consumir hasta más de 10 kg por persona al año.

El alto consumo de café se debe principalmente a la habilidad psicoestimulante de la bebida. Muchos consumidores de café indican que beben este elixir porque han escuchado hablar de sus beneficios. Por ejemplo, se sabe que el consumo de café tiene un impacto en el sistema nervioso central y nos pone alerta, nos da mayor atención y aumenta la habilidad de concentrarse. También reduce la fatiga y da un alivio a aquellos que sufren de migrañas o dolores de cabeza.³ También se ha reportado su contribución en la prevención de enfermedades como Alzheimer y Parkinson, aunque los resultados parecen ser más claros en el último caso.³⁻⁵ Otros beneficios fuera del sistema nervioso central incluyen la protección contra accidentes cerebrovasculares y un número reducido de incidencias de piedras en los riñones.⁶ Sin embargo, hay muchas personas que no beben café porque su consumo les produce ansiedad, altera su habilidad para

conciliar el sueño, o conduce a un incremento de la presión arterial.³ Por supuesto, hay muchos que sólo beben café por el sabor. Cabe resaltar que hay un componente importante de determinantes genéticos que inducen a parte de la población a pasar por alto el amargor del café y poder disfrutar mejor de los otros sabores.⁷

La gran variedad de respuestas al café se debe a la diversidad entre individuos, pero también a la mezcla de más de mil sustancias químicas en el café.⁸ A esto hay que añadir los diferentes tipos de grano, el grado de tostado del grano y cómo es preparado el café. En este artículo, revisaremos la química del café, desde sus componentes, hasta los métodos analíticos usados para determinar el origen de los granos. También revisaremos cómo el tostado y los métodos usados para preparar esta bebida en casa, o en su cafetería favorita, afectan la composición química del contenido de una taza de café.

DEL CULTIVO AL GRANO VERDE

Uno de los primeros pasos en la producción de esa taza de café, es la selección del grano. Hoy en día se conocen más de 120 especies del género *Coffea*.^{9,10} Casi la mitad de esas especies tienen como hogar el país insular de Madagascar.¹⁰ Aunque muchas de estas especies son usadas localmente para preparar café, sólo tres son importantes en el cultivo global, y sólo dos son comercializadas a gran escala. Las dos especies usadas en el comercio son Arábica (*Coffea arabica*) y Robusta (*Coffea canephora*). Aproximadamente el 60% del café comercializado es de la especie Arábica, mientras que el 40% del mercado pertenece a Robusta, que es principalmente usado en café instantáneo y producido mayoritariamente por Vietnam.¹ La tercera especie en importancia es Libérica (*Coffea liberica*), que es cultivada a nivel mundial y usada como porta injerto en combinación con

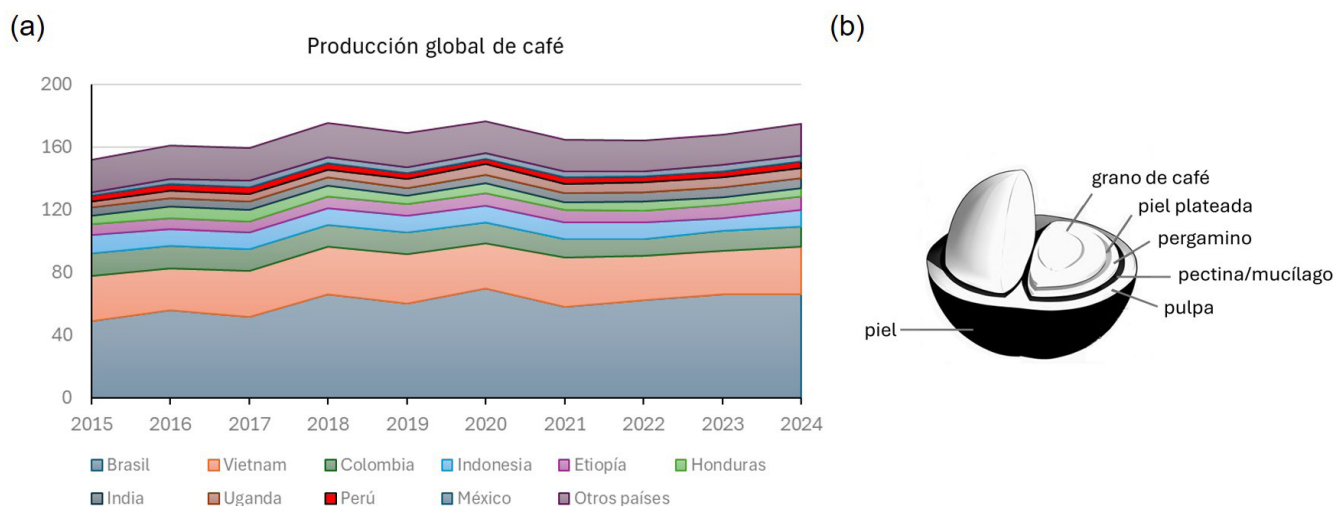


Figura 1. (a) Principales productores mundiales de café. **(b)** Partes del fruto de café.

Arábica (usada como vástago del injerto). *C. liberica* es usada como porta injerto debido a que sus raíces crecen más rápido que las de *C. arabica* y es más resistente a la infección por *Hemileia vastatrix*, que causa la enfermedad conocida como la roya o CLR (siglas que corresponden a *coffee leaf rust*, el nombre en inglés de esta enfermedad). La posibilidad de usar la variante excelsa de *C. liberica* en el futuro, no sólo como injerto sino como planta de cultivo, está siendo analizada, ya que podría ayudar a prevenir epidemias que afecten los cultivos de café dada su limitada diversidad genética.¹¹

El origen del consumo del café y su expansión por el mundo es muy interesante. Según la leyenda de Kaldi, una historia apócrifa reportada por primera vez por Antonio Fausto Naironi,¹² todo inició con Kaldi, un pastor de cabras de Etiopía, quien observó que sus animales se tornaban eufóricos luego de consumir los frutos del arbusto del café. Los animales mostraban más agilidad, tenían mayor resistencia y podían correr por mucho más tiempo de lo normal. Kaldi, como los buenos científicos de décadas pasadas, confirmó los efectos de este fruto en sí mismo y propagó el consumo de este grano.

En un estudio reciente que secuenció 46 muestras de café, 41 de Arábica, 3 de Robusta, y 2 de Eugenioides (ancestros de las actuales *Coffea eugenioides* y *C. canephora* dieron origen a *C. arabica*), tanto silvestres como cultivadas, incluyendo un espécimen que data del siglo XVIII, no se pudo identificar el lugar de origen de *C. arabica* con precisión.¹³ Sin embargo, en este estudio se halló que la población silvestre de Arábica se remonta a 350–610 miles de años atrás, a una zona no identificada del Gran Valle del Rift, una región del este de África que se extiende, principalmente, entre los países de Etiopía, Kenia, Uganda y Tanzania. Además, los investigadores encontraron que hubo una reducción en la diversidad hace casi 5 000 años. No fue posible deducir a partir de estos resultados si la reducción corresponde a cultivo del café o un fenómeno natural. Lo que sí comprobó es que Arábica fue el producto de una hibridación entre *C. canephora* y *Coffea eugenioides*, y se encuentra de manera natural en Etiopía y Sudán del Sur.

Los granos más apreciados de *C. arabica* pertenecen a los cultivares Borbón, Típica y sus híbridos.¹⁴ El cultivo comercial de Arábica a gran escala se inició en Yemén durante los siglos XV y XVI. Para mantener el monopolio del café, los granos se exportaban sin pergamino (**Figura 1b**) o parcialmente tostados desde el puerto yemení de Moca (en árabe *Al-Mukhā*).¹⁵ Y aquí se introduce otra posible leyenda, la del peregrino sufista Baba Budan, quien se dice llevó al sur de India, a las montañas de Mysore, siete legendarias semillas con las cuales se comenzó a cultivar café fuera del imperio otomano.¹⁶ No pasó mucho tiempo para que los holandeses se llevaran arbustos de Arábica a Holanda, Ceilán (hoy conocida como Sri Lanka) y sus otras colonias asiáticas, incluyendo Java. Los holandeses también llevaron Arábica al Caribe en 1723. Pero, volviendo al famoso cultivar Borbón, su origen está en el cultivo de Arábica en la isla Borbón (hoy llamada La Réunion por los franceses).¹⁷ El cultivar que se desarrolló en esta isla tenía la forma de un árbol de navidad y

era resistente a sequías. El cultivar Típica tiene su origen en plantas que se llevaron de Holanda a Surinam en 1718 y de ahí a Martinica. Debido a que la mayoría de cultivares desciende de estos dos linajes, Típica y Borbón, los cultivos tienen muy poca diversidad genética y son susceptibles a muchas enfermedades, en especial la roya. Felizmente, un nuevo híbrido espontáneo de *C. canephora* y *C. arabica* resistente a *Hemileia vastatrix* fue identificado en 1927 en Timor.¹⁸ Hoy en día se usan híbridos de este último cultivar con Típica y Borbón dado que son resistentes a la roya, aunque poseen un sabor distinto a los de los cultivares originales. Esta es una alternativa al uso de injertos con *C. liberica*.

Una vez recogidos los cerezos, estos son procesados lo más pronto posible para evitar la fermentación descontrolada y un grano de café con perfil diferente a lo esperado.¹⁹ Cabe recalcar que la fermentación controlada es necesaria y es parte del “beneficio”. En el caso de Arábica, se usan comúnmente dos tipos de procesos, o beneficios, para obtener el grano de café: el método húmedo y el método seco. El método húmedo es más costoso dado que los cerezos se seleccionan manualmente. Ambos métodos tienen como función remover las capas que cubren al grano de café y reducir el contenido de agua del grano a un rango que varía entre 10 y 12%. El grano verde que resulta del método húmedo es conocido como **lavado** (*washed*) y el del método seco es llamado **natural** (*unwashed*). Estos métodos producen, luego del tostado, bebidas con aromas y sabores distintos.²⁰ En un inicio se sugirió que las diferencias se debían a que en el método húmedo los cerezos usados son más homogéneos y de mejor calidad dado que se escogen manualmente sólo aquellos cerezos que flotan en agua mientras que en el método seco se usan todos los cerezos sin proceso de selección. Sin embargo, algunos estudios usando cerezos de la misma calidad y origen pero procesados de las dos distintas maneras muestran que los granos resultantes tienen una composición química diferente.²¹ Esto sucede porque los procesos metabólicos, tanto internos como externos continúan durante el beneficio.²² Muchos microorganismos (hongos y bacterias) juegan un papel importante en este paso y ya se está pensando en cómo explotar económicamente estos organismos.²³ Usando cerezos procedentes de Tanzania, Brasil y México, se observó que el ácido glutámico es transformado en ácido γ -aminobutírico (GABA) en mayores cantidades usando el método seco. Los autores inclusive sugieren que la relación entre ácido glutámico y GABA podría ser usado como un indicador del método usado para producir el grano verde.²² En un estudio subsecuente, usando, nuevamente, cerezos de los tres países nombrados anteriormente, se observó que el método seco conservaba mayores cantidades de fructosa y glucosa (**Figura 2**) que el método húmedo. Sin embargo, los niveles de otros azúcares, como sacarosa, galactosa, arabinosa y manosa, no mostraron variaciones al comparar los dos métodos. Los autores también analizaron muestras comerciales de café verde para determinar si las diferencias entre azúcares observadas podrían ser usadas para determinar el método de proceso. Los resultados mostraron gran variabilidad. Por ejemplo, los granos Arábica supuestamente procesados por

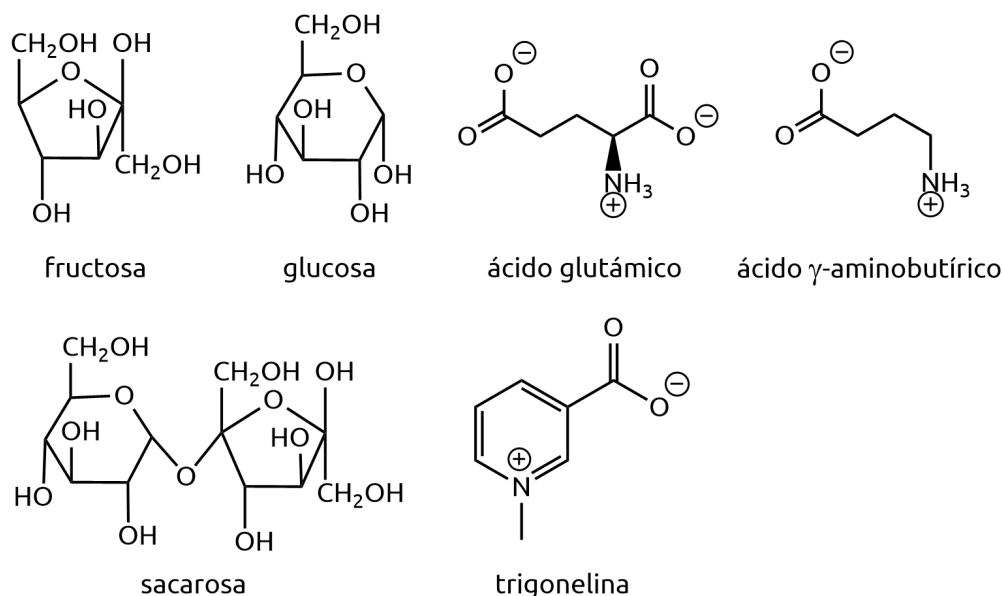


Figura 2. Compuestos importantes presentes en los granos verdes.

el método seco tenían valores de fructosa que iban desde 0.008 % (materia seca) a 0.165 %, mientras que los granos comerciales etiquetados como procesados por el proceso húmedo contenían esta hexosa en el rango 0.009 – 0.085 %. Esta diferencia podría estar relacionada con el hecho de que los granos comerciales no hayan sido procesados conforme a la etiqueta,^{23, 24} sin embargo, esta idea no fue discutida por los autores del artículo original. Los granos de café verde de Robusta, provenientes de cuatro países diferentes, contenían fructosa en el rango 0.108 – 0.183%. Cabe recalcar que los granos de Robusta en todo el mundo sólo son procesados por el método seco dado su menor valor comercial.

Los granos verdes de *Coffea* contienen dos compuestos importantes que son precursores de moléculas que dan sabor al café después del tostado.²⁶ Estos son la trigonelina y la sacarosa (**Figura 2**), que producen compuestos como pirazina, furanos, pirroles y piridinas alquiladas. Cuando se compararon 16 especies de *Coffea* después de ser procesadas usando el método húmedo, se encontró que *C. arábica* contenía más trigonelina que *C. canephora*. También se reportaron diferencias en la cantidad de sacarosa: *C. arábica* contiene un poco más de 50% más de este disacárido con respecto a *C. canephora*. Hay que tener en cuenta que estas muestras fueron crecidas en el laboratorio bajo condiciones parecidas y fueron procesadas de la misma manera. Los granos de café que crecen en diferentes condiciones y que son procesados de diferentes formas probablemente tengan concentraciones diferentes de estos compuestos.

Los conocedores del café saben muy bien que los granos verdes de Arábica y Robusta presentan muchas diferencias organolépticas. Mas allá de las diferencias físicas, es fácil percibir que el aroma también difiere entre estos granos. Por supuesto, una diferencia de aromas significa diferentes compuestos volátiles, algo que los químicos saben muy

bien cómo analizar. Procida *et al.* analizaron los compuestos volátiles de 19 tipos de granos verdes de café Arábica provenientes de 18 países, así como también 14 granos de Robusta originados en 13 países usando cromatografía de gases acoplada a un detector de espectrometría de masas (GC-MS, por sus siglas en inglés).²⁷ El análisis de los volátiles identificó 68 compuestos que pueden ser agrupados en alcoholes, aldehídos, cetonas, furanos, compuestos de azufre, ésteres, pirroles, pirazinas, terpenos, e hidrocarburos. Algunos de estos compuestos se muestran en la **Figura 3**. Uno de los resultados más interesantes de este trabajo es que es posible diferenciar los granos de Robusta de los de Arábica analizando los volátiles, dado que los primeros contienen una mayor cantidad de acetato de metilo, isobutanal, tiofeno, 4-metil-2,3-dihidrofurano, 2-heptanona, 2-heptanol, y etilpirazina. En los granos de Arábica, por otro lado, se encontraron formiato de amilo y n-hexanol en mayores cantidades.

DEL TOSTADO A LA TAZA

El siguiente paso al que se somete el grano de café es el tostado. El tostado, no debe confundirse con el torrado. En el tostado del grano verde de café, no se añade azúcar, mientras que el torrado del café, que no es tan común estos días, consiste en añadir azúcar al grano verde durante la tostadura (Nota: el proceso de torrado fue patentado por el español José Gómez Tejedor al inicio del siglo XX después de observar a los mineros en México haciendo uso de este proceso para conservar el café por meses. Recordemos que preservar los alimentos antes del uso generalizado de la refrigeración y de los preservantes modernos no era una tarea fácil.²⁸). La principal reacción durante el tostado es la llamada reacción de Maillard. Esta reacción es también responsable de los sabores complejos cuando tostamos el pan, freímos la carne, o preparamos el aderezo peruano. Brevemente, en la etapa inicial de la reacción de Maillard, se produce

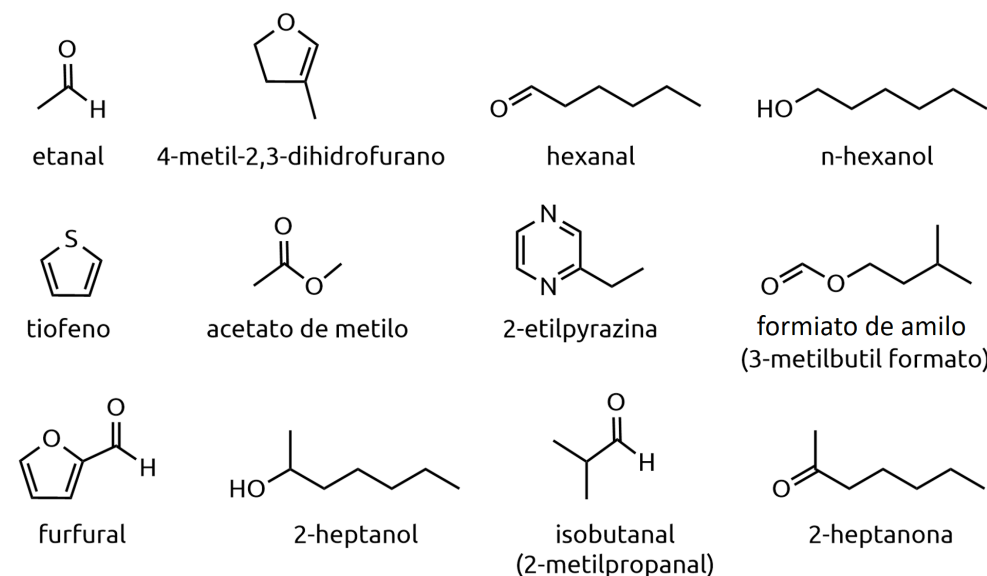


Figura 3. Algunos de los compuestos volátiles encontrados en cantidades significativas en granos verdes de café Arábica y Robusta.

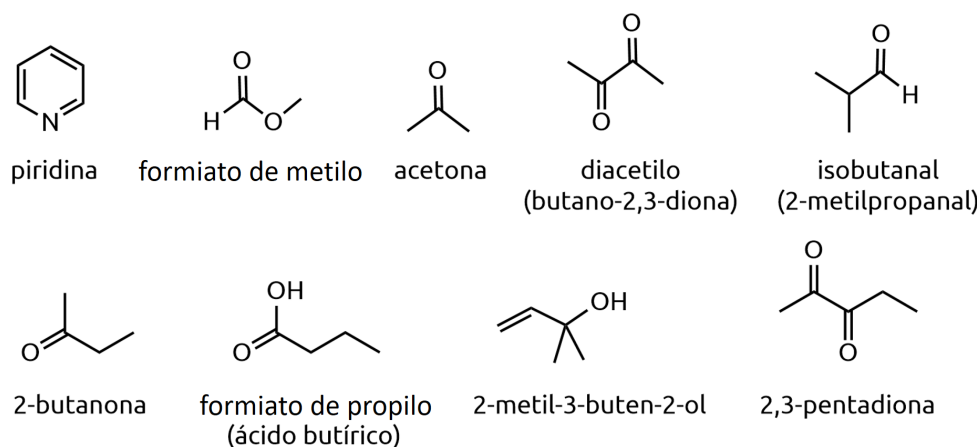


Figura 4. Algunos de los compuestos volátiles encontrados en cantidades significativas en granos tostados de café Arábica y Robusta.

una base de Schiff a partir de la reacción entre un grupo carbonilo proveniente de los azúcares presentes en el grano verde y un grupo amino presente en los aminoácidos. Estas bases de Schiff sufren un rearreglo de Amadori para formar cetosaminas o compuestos de Amadori. Estas sustancias se descomponen en una variedad de otros compuestos que dan mucho sabor a las comidas, aunque en el proceso también se pueden generar especies cancerígenas como la acrilamida.²⁹ La gran cantidad de posibilidades de la reacción de Maillard hace que sin duda merezca un artículo entero.³⁰

El tostado del grano de café produce nuevos compuestos (**Figura 4**) y sus concentraciones, así como la de los compuestos que ya estaban presentes en el grano verde, dependen del tipo de tostado.³¹ Comúnmente, se utilizan tres tipos de tostado o tueste: claro, medio y oscuro. Algunos expertos diferencian un tostado medio-oscuro que es más cercano al tostado francés, mientras que el tostado oscuro se reserva para el tueste italiano. El grano producto del tueste italiano es de color muy oscuro, casi negro, y tiene

una textura aceitosa. Este tostado se logra exponiendo al grano a temperaturas entre 200 – 235 °C. El tueste francés da un color marrón oscuro al grano y la bebida que produce no es tan amarga como la del tueste italiano. Cabe resaltar que en la mayoría de artículos científicos sólo se diferencian los tres tipos de tostado mencionados inicialmente. El tostado no sólo cambia el color, sino que también ocurre un incremento en la porosidad, que depende del tiempo de tueste, tal como se ha podido observar en imágenes usando un microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés).³² También hay un cambio de sabor debido a los diferentes compuestos y sus cantidades resultantes del tostado. Son muchos los compuestos que dan sabor a esa taza de café,³³ y aquellos interesados en conocer más pueden iniciar su estudio leyendo el artículo de Seninde and Chambers IV.³⁴ En la **Figura 5** se muestra el uso del análisis de componentes principales para determinar las diferencias en los contenidos de los compuestos polifenólicos en muestras de *C. arabica*. Como se puede observar, no sólo el tostado conduce a diferencias, sino también el tiempo de almacenado del café

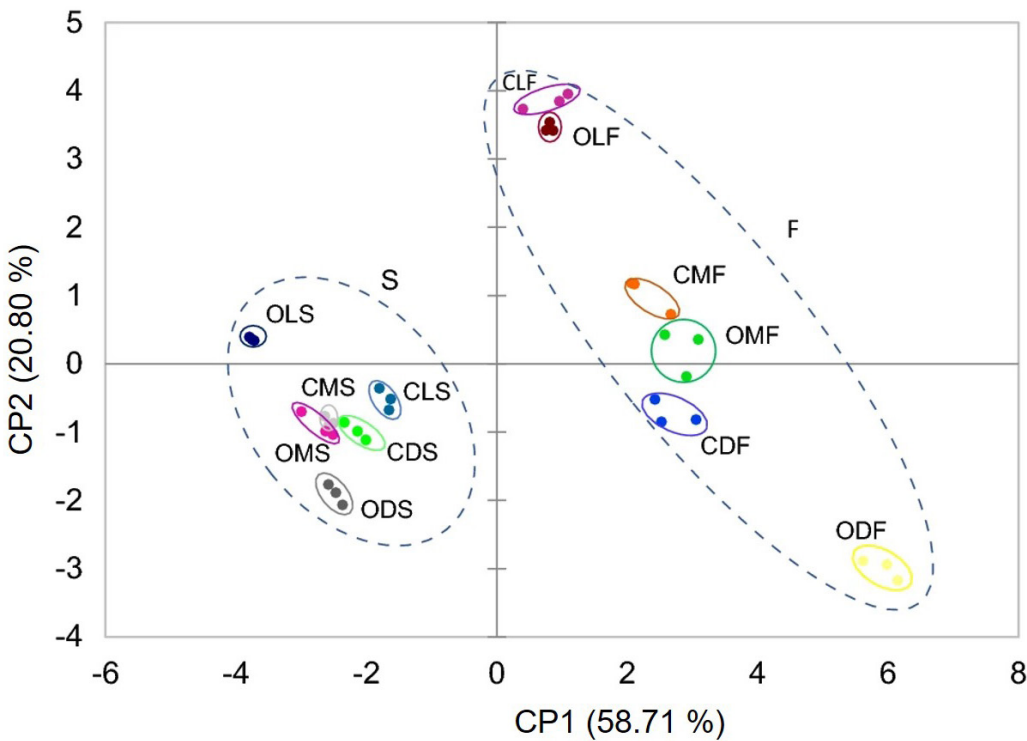


Figura 5. Análisis de componentes principales del contenido de fenoles en granos de café dependiendo de su origen, tipo de tostado y tiempo de almacenado. Etiquetas: C convencional, O orgánico, L tostado claro, M tostado medio, D tostado oscuro, F granos frescos, S granos almacenados (por ejemplo, ODF—orgánico, tostado oscuro de granos frescos). Figura reproducida con permiso de Lund, M. N.; Ray, C. A. *Control of Maillard Reactions in Foods: Strategies and Chemical Mechanisms*. *J. Agric. Food Chem.* **2017**, *65* (23), 4537–4552. © The American Chemical Society.

Tabla 1. Algunas de las propiedades sensoriales usadas en estudios para diferenciar muestras de café (ref. ³⁴).

ATRIBUTOS SENSORIALES DESCRIPTIVOS	DEFINICIÓN
Acidez	Una sensación agria, aguda y astringente en la boca causada por ácidos.
Acre	Los aromáticos punzantes, amargos y ácidos asociados con productos que han sido excesivamente tostados o dorados.
Afrutado	Una mezcla aromática dulce y floral de una variedad de frutas maduras.
Cenizo	Aromáticos secos, polvorientos, sucios y ahumados asociados con el residuo de productos quemados.
Chocolate/Chocolate Negro	Una mezcla de alta intensidad de cacao y manteca de cacao que puede incluir notas de tueste oscuro, especiadas, quemadas y mohosas, lo que incluye mayor astringencia y amargor.
Cuerpo (Sensación en boca)	La viscosidad del café, la pesadez en la lengua, desde ligero hasta denso.
Especiado marrón	Aromáticos dulces y marrones asociados con especias como canela, clavo, nuez moscada y pimienta de Jamaica.
Floral	Aromático dulce, ligero y ligeramente fragante asociado con flores (frescas).
Leñoso	Los aromáticos dulces, marrones, mohosos y oscuros asociados con la corteza de un árbol.
Quemado	La impresión marrón oscuro de un producto sobrecocinado o sobretostado que puede ser punzante, amargo y ácido.
Retrogusto amargo	El factor de sabor fundamental asociado con una solución de cafeína.
Vinoso	Aromático punzante, algo afrutado y similar al alcohol asociado con el vino tinto.

una vez tostado.³¹ Dada la gran variedad de compuestos, no sorprende que la bebida es normalmente descrita por sus propiedades sensoriales, algunas de las cuales se muestran en la **Tabla 1**.

Entre los compuestos encontrados en la taza de café, un grupo importante son los diterpenos, especialmente

cafestol y caveol (**Figura 6**).^{35,36} Estos compuestos, además de alterar la función del hígado, inducen el incremento de los niveles de colesterol en humanos.³⁷ La cantidad de cafestol, caveol y sus derivados depende del tipo de tostado del café y el tostado oscuro conduce a una menor cantidad de estos compuestos.³⁵ El método usado para preparar el café también tiene una gran influencia en el contenido de terpenos en la

bebida obtenida (**Figura 7**). Así tenemos que, en un estudio que compara cuatro métodos (escandinavo, turco, prensa francesa y espresso), se encontró que el método escandinavo y la prensa francesa están entre los que extraen una mayor cantidad de diterpenos. El mismo estudio encontró que el café preparado usando un papel de filtro contiene la menor cantidad de diterpenos. En ese estudio, el cafestol alcanzó un máximo de sólo 0.5 mg por taza de 150 mL, mientras que la prensa

francesa y el método escandinavo producían tazas de café con más de 9 mg de cafestol (**Figura 7**). En general, parece que preparar el café con papel de filtro disminuye la cantidad de lípidos dañinos a la salud, y mantiene los beneficios de beber café.^{36,38}

El compuesto más famoso en las tazas de café es la cafeína. Aun aquellos que tratan de evitarla consumiendo

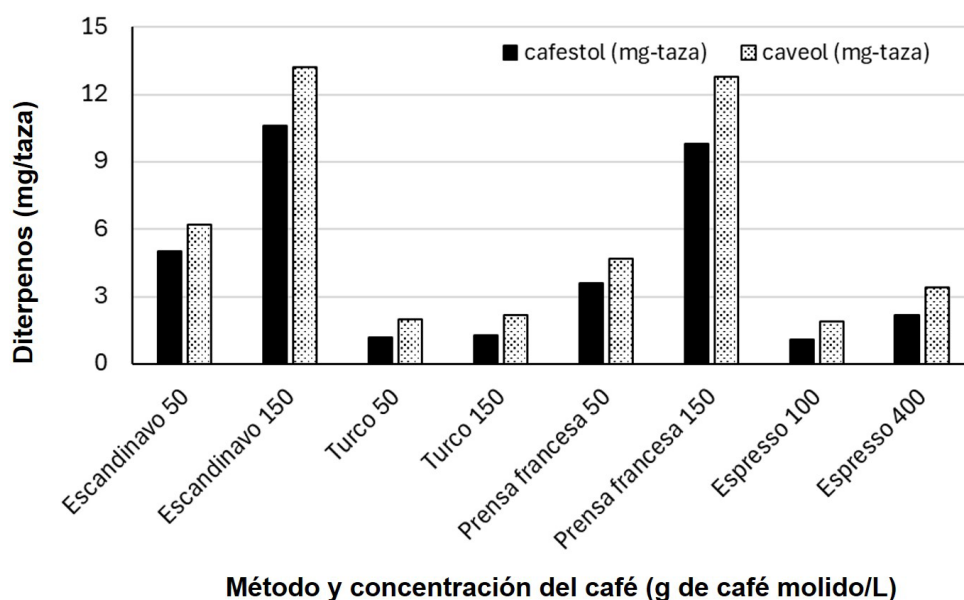
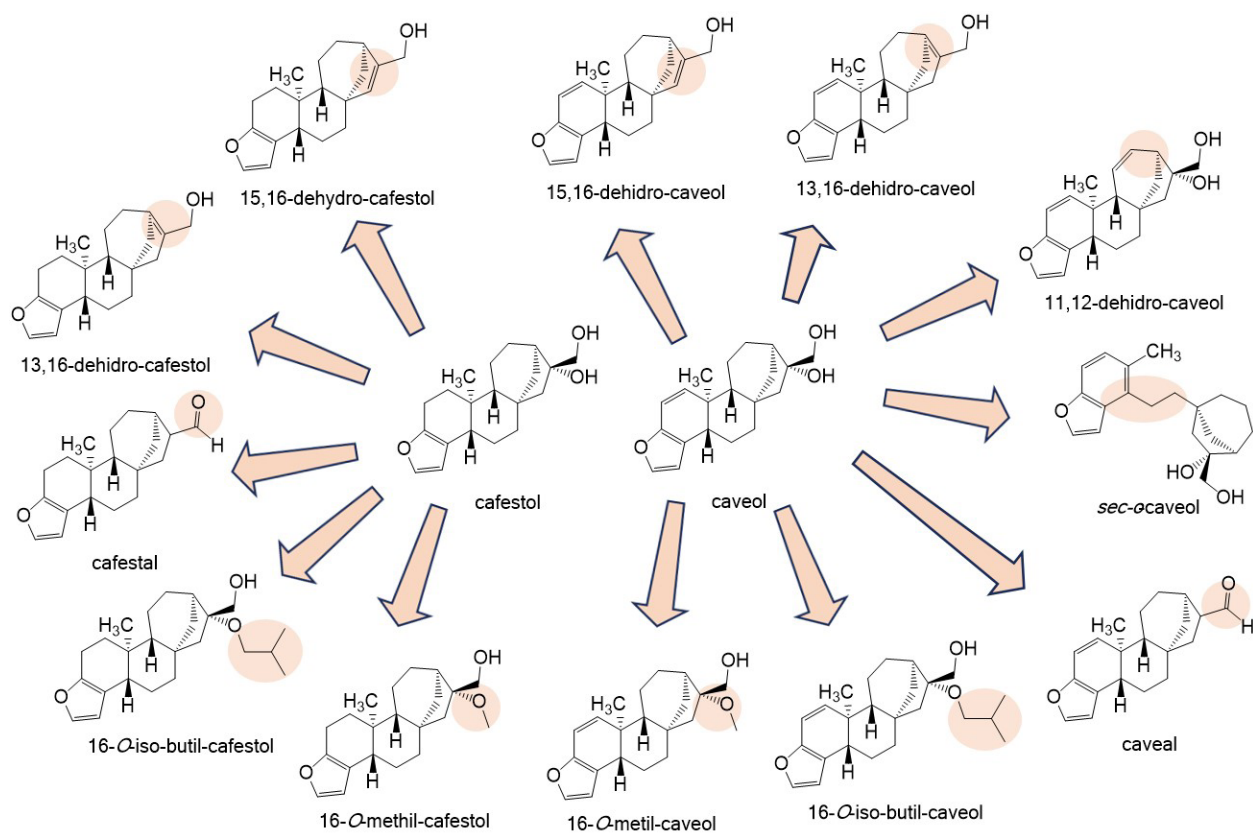


Figura 6. (arriba) Terpenos encontrados en el café. El cafestol y el caveol producen una serie de derivados que depende del tipo de tostado. Los nuevos grupos funcionales son resaltados en los derivados.

Figura 7. (abajo) Influencia del método usado y la cantidad de café molido en la concentración de diterpenos en una taza de café. Los datos fueron extraídos de la ref.³⁶.

café descafeinado se sorprenderán al saber que un estudio de diez muestras comerciales de café etiquetado como descafeinado encontró cafeína en un rango de 0 – 13 mg por taza de 475 mL.³⁹ Como comparación, una taza de espresso (30 mL) contiene cerca de 60 mg, mientras que una taza de café americano (350 mL) contiene cerca de 150 mg de este compuesto.³ El contenido de cafeína no cambia mucho con el tostado claro y medio, que tienen contenidos parecidos al del grano verde,^{31,32} pero el tostado oscuro sí tiene un efecto y disminuye la cantidad de este compuesto.³¹ La mayor cantidad de cafeína parece ser obtenida usando el método espresso y el grano Arábica,⁴⁰ aunque se requiere realizar más estudios en los que todos los métodos sean comparados bajo las mismas condiciones. La absorción de cafeína en el cuerpo se completa en casi 45 minutos después de su consumo, y los picos de cafeína ocurren entre los 15 minutos y las dos horas.⁴¹ El tiempo de vida media en un adulto sano es de 2.5 – 4.5 horas, mientras que para un recién nacido la vida media alcanza las 80 horas.^{42,43} El embarazo también disminuye la habilidad de metabolizar cafeína y este compuesto puede permanecer hasta 15 horas en el cuerpo.³ Durante este tiempo, una serie de reacciones convierten a la cafeína en compuestos que son excretados por la orina (**Figura 8**). La

cafeína puede cruzar la barrera hematoencefálica y es por eso que muchos de sus efectos ocurren en el sistema nervioso.^{3,41} Entre los beneficios de consumir cafeína se pueden contar el aumento de la atención y de la concentración, tiempos de reacción más rápidos, disminución de dolores de cabeza y prevención de las enfermedades de Parkinson y Alzheimer.⁴¹

ORIGEN GEOGRÁFICO Y PUREZA DEL CAFÉ

Dado los altos precios del café, especialmente de aquellos provenientes de lugares que tradicionalmente producen café de alta calidad, es inevitable que se intente engañar al consumidor. Por ejemplo, en el año 1999, los productores de café de Kona (área del lado oeste de la Isla Grande en Hawái) recibieron 12 millones de dólares después de resolver un litigio con distribuidores inescrupulosos. Por esos años se vendían aproximadamente 9 millones de kilogramos del famoso café de Kona, cuando Kona sólo producía menos de un millón de kilogramos.²⁵ En este sentido, la química tiene mucho que aportar y el uso de quimiometría

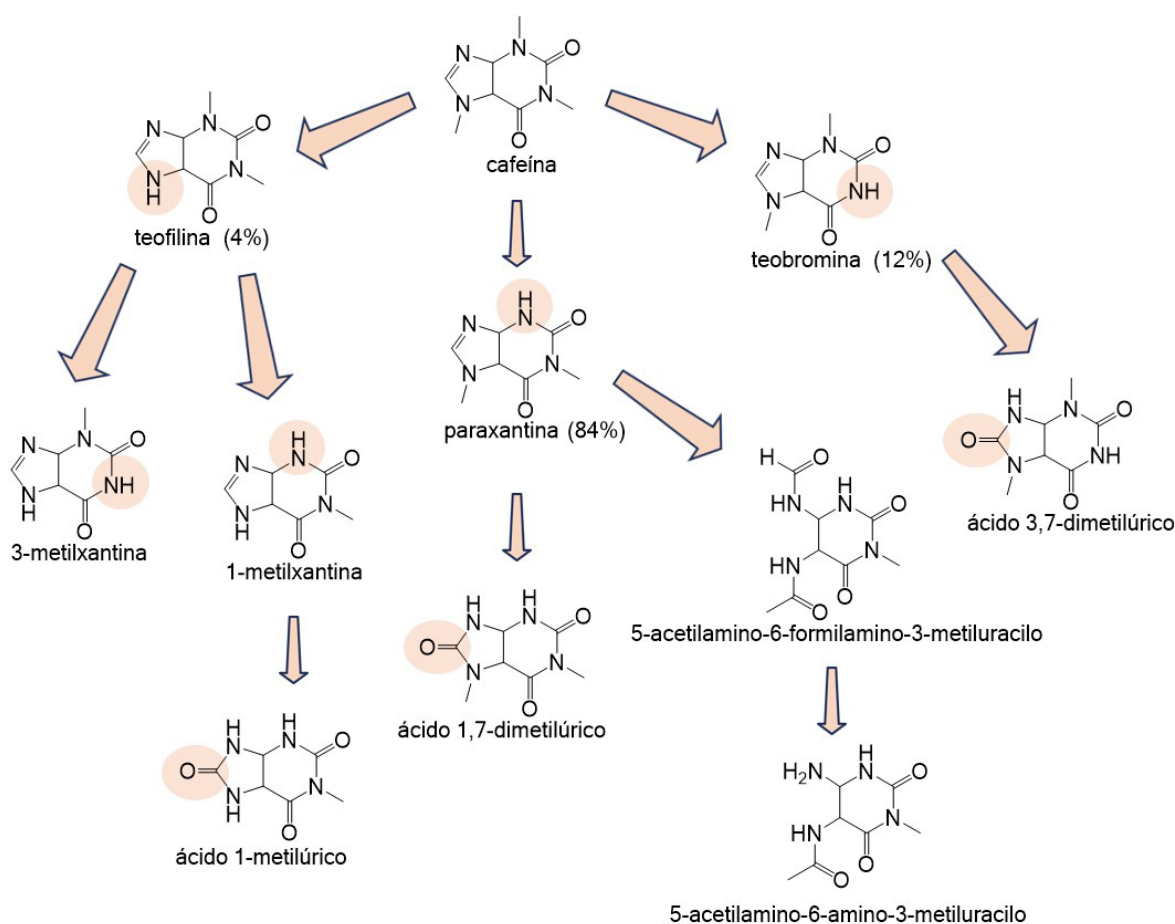


Figura 8. Compuestos formados a partir de la degradación de cafeína en el cuerpo. Los nuevos grupos funcionales están resaltados en los derivados.

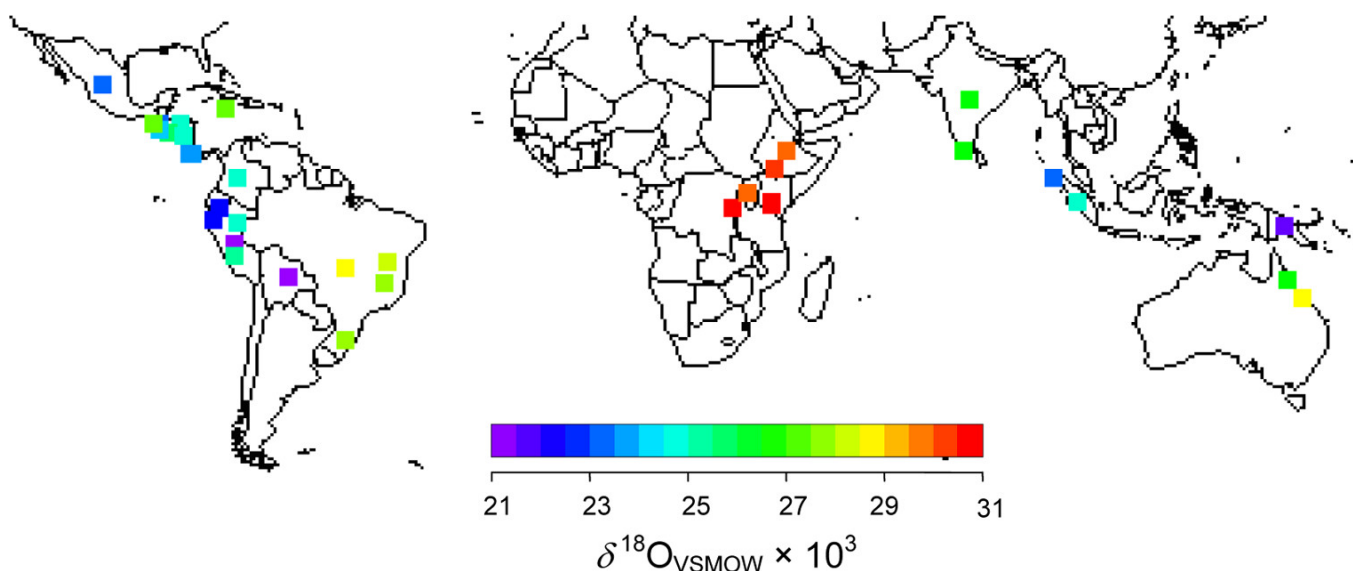


Figura 9. Isopaisaje de la composición isotópica de oxígeno en muestras de café. La composición refleja la composición isotópica de oxígeno en agua de lluvias. Figura reproducida con permiso de Carter, J. F.; Yates, H. S. A.; Tinggi, U. *Isotopic and Elemental Composition of Roasted Coffee as a Guide to Authenticity and Origin*. *J. Agric. Food Chem.* **2015**, *63* (24), 5771–5779. © The American Chemical Society.

puede ayudar a determinar el área geográfica de donde se originan los granos.^{44,45} El análisis de K, Mg, Ca, Na, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, S, Cd, Pb, y P usando espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICPAES, por sus siglas en inglés) mostró que los granos provenientes de Indonesia, África, y las Américas pueden ser diferenciados usando el perfil químico de estos elementos.²⁵ Eso sí, todos esos elementos tienen que ser usados en conjunto, dado que usar los elementos individualmente no permite determinar el origen de los granos.

También puede ser útil el uso de isótopos y espectrometría de masas de la relación de isótopos estables (IRMS, por sus siglas en inglés).^{46,47} La **figura 9** muestra que la composición isotópica de oxígeno puede diferenciar granos de diversos continentes, así como también de zonas de un mismo continente, como las de las regiones orientales y occidentales de América del Sur. Los granos de café del este de América del Sur tienen un $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ más alto que aquellos producidos al oeste del continente.⁴⁶ Carter y sus colaboradores recomiendan el uso de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^2\text{H}$, y $\delta^{18}\text{O}$ en combinación con la composición elemental de muestras, como en el caso discutido anteriormente, para lograr mejores resultados.⁴⁶

NOTAS FINALES

Se pueden escribir muchos libros sobre la química del café gracias al aporte científico de diversos grupos alrededor del mundo que están interesados en este grano, la bebida, y los compuestos encontrados en esta última. Espero que los lectores decidan aprender más sobre la química y bioquímica de este grano que cambió la historia del mundo. Recuerden

que antes de reunirse a tomar café, la gente se reunía a beber alcohol y, aunque este último conduce a reuniones amenas, no ayuda a producir ideas tan brillantes como el primero.

REFERENCIAS

1. *International Coffee Organization*. (acceso 2025-04-19).
2. MIDAGRI. *Café peruano conquista 52 mercados en el mundo y es el sustento de 223 mil familias*. (acceso 2025-04-19).
3. Dam, R. M. van; Hu, F. B.; Willett, W. C. Coffee, Caffeine, and Health. *N. Engl. J. Med.* **2020**, *383* (4), 369–378.
4. Qi, H.; Li, S. Dose–Response Meta-Analysis on Coffee, Tea and Caffeine Consumption with Risk of Parkinson's Disease. *Geriatr. Gerontol. Int.* **2014**, *14* (2), 430–439.
5. Panza, F.; Solfrizzi, V.; Barulli, M. R.; Bonfiglio, C.; Guerra, V.; Osella, A.; Seripa, D.; Sabbà, C.; Pilotto, A.; Logroscino, G. Coffee, Tea, and Caffeine Consumption and Prevention of Late-Life Cognitive Decline and Dementia: A Systematic Review. *J. Nutr. Health Aging* **2015**, *19* (3), 313–328.
6. Yuan, S.; Larsson, S. C. Coffee and Caffeine Consumption and Risk of Kidney Stones: A Mendelian Randomization Study. *Am. J. Kidney Dis.* **2022**, *79* (1), 9–14.e1.
7. Cornelis, M. C.; van Dam, R. M. Genetic Determinants of Liking and Intake of Coffee and Other Bitter Foods and Beverages. *Sci. Rep.* **2021**, *11* (1), 23845.
8. Je, Y.; Liu, W.; Giovannucci, E. Coffee Consumption and Risk of Colorectal Cancer: A Systematic Review and Meta-analysis of Prospective Cohort Studies. *Int. J. Cancer* **2009**, *124* (7), 1662–1668.
9. Davis, A. P.; Govaerts, R.; Bridson, D. M.; Stoffelen, P. An Annotated Taxonomic Conspectus of the Genus *Coffea* (Rubiaceae). *Bot. J. Linn. Soc.* **2006**, *152* (4), 465–512.
10. Davis, A. P.; Rakotonasolo, F. Six New Species of Coffee (*Coffea*) from Northern Madagascar. *Kew Bull.* **2021**, *76* (3), 497–511.
11. Davis, A. P.; Kiwuka, C.; Faruk, A.; Walubiri, M. J.; Kalema, J. The Re-Emergence of Liberica Coffee as a Major Crop Plant. *Nat. Plants* **2022**, *8* (12), 1322–1328.

12. Antonio Fausto Naironi. *De Saluberrima Potione Cabue, Seu Cafe*; Typis Michaelis Herculis: Roma, 1671.
13. Salojärvi, J.; Rambani, A.; Yu, Z.; Guyot, R.; Strickler, S.; Lepelley, M.; Wang, C.; Rajaraman, S.; Rastas, P.; Zheng, C.; Muñoz, D. S.; Meidanis, J.; Paschoal, A. R.; Bawin, Y.; Krabbenhoft, T. J.; Wang, Z. Q.; Fleck, S. J.; Aussel, R.; Bellanger, L.; Charpagne, A.; Fournier, C.; Kassam, M.; Lefebvre, G.; Métairon, S.; Moine, D.; Rigoreau, M.; Stoltz, J.; Hamon, P.; Couturon, E.; Tranchant-Dubreuil, C.; Mukherjee, M.; Lan, T.; Engelhardt, J.; Stadler, P.; Correia De Lemos, S. M.; Suzuki, S. I.; Sumirat, U.; Wai, C. M.; Dauchot, N.; Orozco-Arias, S.; Garavito, A.; Kiwuka, C.; Musoli, P.; Nalukenge, A.; Guichoux, E.; Reinout, H.; Smit, M.; Carretero-Paulet, L.; Filho, O. G.; Braghini, M. T.; Padilha, L.; Sera, G. H.; Ruttink, T.; Henry, R.; Marraccini, P.; Van de Peer, Y.; Andrade, A.; Domingues, D.; Giuliano, G.; Mueller, L.; Pereira, L. F.; Plaisance, S.; Poncet, V.; Rombauts, S.; Sankoff, D.; Albert, V. A.; Crouzillat, D.; de Kochko, A.; Descombes, P. *The Genome and Population Genomics of Allopolyploid Coffea Arabica Reveal the Diversification History of Modern Coffee Cultivars. Nat. Genet.* **2024**, *56* (4), 721–731.
14. Carvalho, A.; Krug, C. A.; Mendes, J. E. T.; Antunes Filho, H.; Morais, H. de; Aloisi Sobrinho, J.; Morais, M. V. de; Rocha, T. R. da. *Melhoramento do cafeeiro: IV - Café Mundo Novo. Bragantia* **1952**, *12*, 97–130.
15. Martins, A. L. *História do café*; Editora Contexto: São Paulo, 2015.
16. Pendergrast, M. *Uncommon Grounds: The History of Coffee and How It Transformed Our World*; Basic Books: New York, 2010.
17. Lécotier, A.; Besse, P.; Charrier, A.; Tchakaloff, T.-N.; Noirot, M. *Unraveling the Origin of Coffea Arabica 'Bourbon Pointu' from La Réunion: A Historical and Scientific Perspective. Euphytica* **2009**, *168* (1), 1–10.
18. Clarindo, W. R.; Carvalho, C. R.; Caixeta, E. T.; Koehler, A. D. *Following the Track of "Híbrido de Timor" Origin by Cytogenetic and Flow Cytometry Approaches. Genet. Resour. Crop Evol.* **2013**, *60* (8), 2253–2259.
19. Angélico, C. L.; Pimenta, C. J.; Chalfoun, S. M.; Chagas, S. J. de R.; Pereira, M. C.; Chalfoun, Y. *Different stages of maturity and times of bagging in relation to quality of coffee. Coffee Science.* **2011**, *6*(1), 8–19.
20. Illy, A.; Viani, R. *Espresso Coffee, The Science of Quality*, Second.; Elsevier Academic Press: California, 2005.
21. Bytof, G.; Knopp, S.-E.; Kramer, D.; Breitenstein, B.; Bergervoet, J. H. W.; Groot, S. P. C.; Selmar, D. *Transient Occurrence of Seed Germination Processes during Coffee Post-Harvest Treatment. Ann. Bot.* **2007**, *100* (1), 61–66.
22. Bytof, G.; Knopp, S.-E.; Schieberle, P.; Teutsch, I.; Selmar, D. *Influence of Processing on the Generation of γ -Aminobutyric Acid in Green Coffee Beans. Eur. Food Res. Technol.* **2005**, *220* (3), 245–250.
23. Haile, M.; Kang, W. H. *The Role of Microbes in Coffee Fermentation and Their Impact on Coffee Quality. J. Food Qual.* **2019**, *2019* (1), 4836709.
24. Minten, B.; Assefa, T.; Hirvonen, K. *Can Agricultural Traders Be Trusted? Evidence from Coffee in Ethiopia. World Dev.* **2017**, *90*, 77–88.
25. Anderson, K. A.; Smith, B. W. *Chemical Profiling To Differentiate Geographic Growing Origins of Coffee. J. Agric. Food Chem.* **2002**, *50* (7), 2068–2075.
26. Campa, C.; Ballester, J. F.; Doulebeau, S.; Dussert, S.; Hamon, S.; Noirot, M. *Trigonelline and Sucrose Diversity in Wild Coffea Species. Food Chem.* **2004**, *88* (1), 39–43.
27. Procidia, G.; Lagazio, C.; Catani, F.; Zacchigna, M.; Cichelli, A. *Characterization of Arabica and Robusta Volatile Coffees Composition by Reverse Carrier Gas Headspace Gas Chromatography–Mass Spectrometry Based on a Statistical Approach. Food Sci. Biotechnol.* **2020**, *29* (10), 1319–1330.
28. Angeles-Boza, A. M. *La química en nuestros platos: los preservantes. Rev. Quím.* **2022**, *36* (1), 35–41.
29. Lund, M. N.; Ray, C. A. *Control of Maillard Reactions in Foods: Strategies and Chemical Mechanisms. J. Agric. Food Chem.* **2017**, *65* (23), 4537–4552.
30. Cardoso, W. S.; Dias, S. R.; Coelho, V. S.; Pereira, L. L.; Fiorelli, D. B.; Pinheiro, F. de A. *Maillard Reaction Precursors and Arabica Coffee (Coffea Arabica L.) Beverage Quality. Food Humanity* **2023**, *1*, 1–7.
31. Król, K.; Gantner, M.; Tatarak, A.; Hallmann, E. *The Content of Polyphenols in Coffee Beans as Roasting, Origin and Storage Effect. Eur. Food Res. Technol.* **2020**, *246* (1), 33–39.
32. Lindsey, Z. R.; Williams, J. R.; Burgess, J. S.; Moore, N. T.; Splichal, P. M. *Caffeine Content in Filter Coffee Brews as a Function of Degree of Roast and Extraction Yield. Sci. Rep.* **2024**, *14* (1), 29126.
33. Bolka, M.; Emire, S. *Effects of Coffee Roasting Technologies on Cup Quality and Bioactive Compounds of Specialty Coffee Beans. Food Sci. Nutr.* **2020**, *8* (11), 6120–6130.
34. Seninde, D. R.; Chambers, E. *Coffee Flavor: A Review. Beverages* **2020**, *6* (3), 44.
35. Novaes, F. J. M.; da Silva, M. A. E.; Silva, D. C.; Aquino Neto, F. R. de; Rezende, C. M. *Extraction of Diterpene-Phytochemicals in Raw and Roasted Coffee Beans and Beverage Preparations and Their Relationship. Plants Basel Switz.* **2023**, *12* (8), 1580.
36. Urgert, R.; van der Weg, G.; Kosmeijer-Schuil, T. G.; van de Bovenkamp, P.; Hovenier, R.; Katan, M. B. *Levels of the Cholesterol-Elevating Diterpenes Cafestol and Kahweol in Various Coffee Brews. J. Agric. Food Chem.* **1995**, *43* (8), 2167–2172.
37. Heckers, H.; Göbel, U.; Kleppel, U. *End of the Coffee Mystery: Diterpene Alcohols Raise Serum Low-Density Lipoprotein Cholesterol and Triglyceride Levels. J. Intern. Med.* **1994**, *235* (2), 192–193.
38. Hamer, M. *Coffee and Health: Explaining Conflicting Results in Hypertension. J. Hum. Hypertens.* **2006**, *20* (12), 909–912.
39. McCusker, R. R.; Fuehrlein, B.; Goldberger, B. A.; Gold, M. S.; Cone, E. J. *Caffeine Content of Decaffeinated Coffee. J. Anal. Toxicol.* **2006**, *30* (8), 611–613.
40. Olechno, E.; Puścion-Jakubik, A.; Zujko, M. E.; Socha, K. *Influence of Various Factors on Caffeine Content in Coffee Brews. Foods* **2021**, *10* (6), 1208.
41. Nehlig, A. *Interindividual Differences in Caffeine Metabolism and Factors Driving Caffeine Consumption. Pharmacol. Rev.* **2018**, *70* (2), 384–411.
42. Pons, G.; Blais, J. C.; Rey, E.; Plissonnier, M.; Richard, M. O.; Carrier, O.; d'Athis, P.; Moran, C.; Badoual, J.; Olive, G. *Maturation of Caffeine N-Demethylation in Infancy: A Study Using the ¹³CO₂ Breath Test. Pediatr. Res.* **1988**, *23* (6), 632–636.
43. Bory, C.; Baltassat, P.; Porthault, M.; Bethenod, M.; Frederich, A.; Aranda, J. V. *Metabolism of Theophylline to Caffeine in Premature Newborn Infants. J. Pediatr.* **1979**, *94* (6), 988–993.
44. Anderson, K. A.; Smith, B. W. *Chemical Profiling To Differentiate Geographic Growing Origins of Coffee. J. Agric. Food Chem.* **2002**, *50* (7), 2068–2075.
45. Wei, F.; Furihata, K.; Koda, M.; Hu, F.; Kato, R.; Miyakawa, T.; Tanokura, M. *¹³C NMR-Based Metabolomics for the Classification of Green Coffee Beans According to Variety and Origin. J. Agric. Food Chem.* **2012**, *60* (40), 10118–10125.
46. Carter, J. F.; Yates, H. S. A.; Tinggi, U. *Isotopic and Elemental Composition of Roasted Coffee as a Guide to Authenticity and Origin. J. Agric. Food Chem.* **2015**, *63* (24), 5771–5779.
47. Techer, I.; Lancelot, J.; Descroix, F.; Guyot, B. *About Sr Isotopes in Coffee 'Bourbon Pointu' of the Réunion Island. Food Chem.* **2011**, *126* (2), 718–724.

BIBLIOGRAFÍA ESENCIAL

Clarke, R. J. y Macrae, R. Coffee: Volume I: Chemistry; Elsevier: New York, 2011.

Martins, A. L. História do Café; Contexto: São Paulo, 2008.

Standage, T. A History of the World in 6 Glasses; Bloomsbury: New York, 2006.

Para aprender más sobre efectos isotópicos: Angeles-Boza, A. M. "La importancia del uso de efectos isotópicos de átomos pesados para determinar mecanismos de reacción en la activación de moléculas pequeñas" *Revista de Química* **2017**, 31(1-2), 10-14.