



# La física y química en el **tueste** del café

*Durante la transformación del café verde al marrón y aromático café tostado, tienen lugar unos complejos procesos químicos y físicos. Para estudiar y entender estas interrelaciones, profundizaremos en estos cambios.*

## Cambios físicos durante el tueste

**L**os cambios físicos, comparados con las reacciones químicas que se dan durante el tostado, son más sencillos de ver y medir. El estudio científico de esta área de conocimiento lanza cuestiones esenciales sobre el proceso del café: ¿cómo un producto natural con diversas características individuales se convierte en una bebida de lujo con calidad constante y reproducible? ¿Qué ocurre durante la transformación del duro café crudo, con una humedad del 10 al 12%, al café tostado fácil de procesar con su estructura seca y quebradiza?

Los cambios físicos que se dan durante el proceso de tueste se concretan en el color, forma, volumen, masa, humedad y densidad del grano. La carne de un grano de café está formada por aproximadamente un millón de células. La estructura celular tiene numerosas cavernas y se endurece hacia el exterior. Thomas Kozirowski, Jefe de Investigación y Desarrollo de Probat lo explica así: “Los cambios más visibles del grano durante el tostado lo son en términos de color. Se transforma de un verde claro a amarillo, después adquiere un color marrón claro y finalmente obtiene un color marrón casi negro. A primera vista el color da al maestro tostador una impresión de la fase de tostado en la que se encuentra.” En cualquier caso, el valor exacto del color no puede ser juzgado únicamente en base a la experiencia visual. Para ello, el café debe ser molido y analizado utilizando un sistema de medición especial, como el equipo medidor de color Colorotte 3b de Probat, que ofrece información exacta sobre el grado de tostado del café.





## La presión proporciona un “primer crack” y la expansión del grano

Durante el tostado, el vapor de agua y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) generan una alta presión. Esta presión cambia la forma de las células: el volumen se incrementa y las paredes celulares reducen su grosor. La alta presión interna lleva a un “primer crack”, después de un cierto periodo de tiempo a una temperatura de  $180^\circ\text{C}$ . El vapor de agua tiende a escaparse rompiendo partes del grano, provocando finas grietas en la parte plana de esta. El “segundo crack” ocurre después de un tostado largo a una temperatura superior a  $200^\circ\text{C}$ . En este punto, el  $\text{CO}_2$  saliente destruye la estructura celular del grano. En conjunto, la forma no cambia mucho. La situación es muy diferente en cuanto al volumen: la presión que tiene lugar en el interior del grano durante el tostado hace que se hinche e incremente su volumen. El grado de expansión depende de varios factores como la estructura del grano, la humedad del grano verde y el perfil de temperatura. Dependiendo del tipo, tiempo de tostado y grado de tostado el volumen puede llegar a duplicarse. Algunos estudios han mostrado volúmenes diferentes para granos tostados del mismo tipo: con el mismo grado de tostado pero con tiempos diferentes, los granos con mayor tiempo de exposición tienen un volumen inferior.



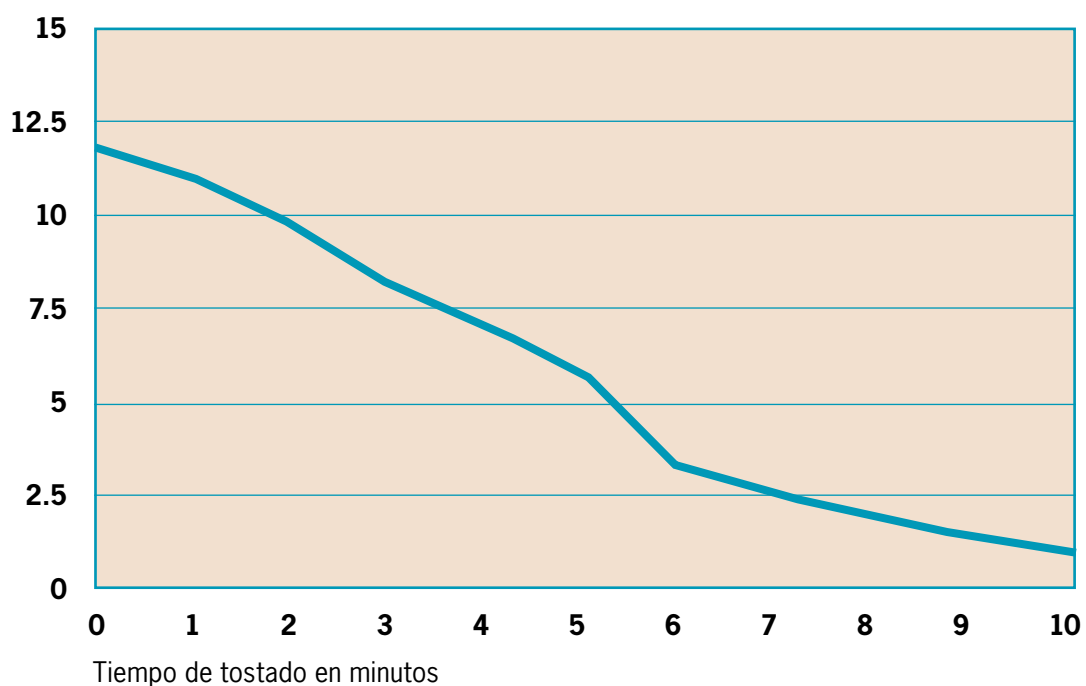
## Pérdida de peso derivada de la pérdida de agua

En contraste al aumento de volumen, la masa, o dicho de otra manera, el peso no se incrementa sino que se reduce durante el tostado. El grano pierde masa en forma de agua y cascarilla por un lado y en forma de sustancia seca por otro. Esta pérdida contiene  $\text{CO}_2$ , monóxido de carbono (CO), nitrógeno, ácidos volátiles y compuestos aromáticos volátiles (hidrocarburos, CH). En conjunto, el peso se reduce entre un 12 y un 23%. De hecho cuando se obtiene un color más oscuro en el tueste, mayor resulta la pérdida de masa, que es lo que se conoce como merma. El mayor porcentaje de reducción proviene del agua: la dehidrólisis (reducción de agua) —de una humedad original del 10 al 12% se pasa a una humedad residual del 0,5 al 3,5%— tiene lugar en dos pasos durante el proceso de tueste: hasta  $100^\circ\text{C}$  el agua no contenida en la superficie se evapora. Por encima de  $100^\circ\text{C}$  empieza la primera fase de evaporación.

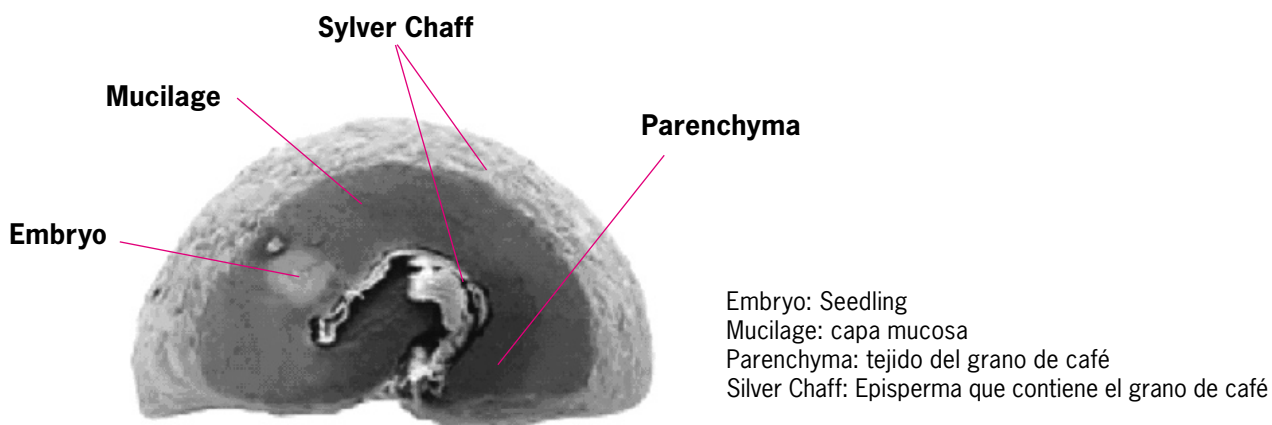
Debido a las altas temperaturas constantes y al comportamiento del agua, se desarrolla una situación especial de presión. Transitoriamente, esta fase se retrasa para empezar de nuevo justo después. Debido a este proceso, el grano pierde casi toda

### Ilustración de la reducción de agua (dehidrólisis) de un café arábica durante el tostado

Coefficiente de humedad en porcentaje



## Corte transversal de un grano de café antes del tostado



el agua no contenida en las células. El agua contenida en las células se convierte después en la humedad residual del café tostado. En principio, se puede considerar la máxima de que cuanto más oscuro es el color del grano y más largo es el periodo de tostado, más agua ha sido liberada de los granos. La posible adición planificada de agua, también llamada "quenching" (en inglés, quench es apagar, sofocar, N del T) termina el proceso de tostado de acuerdo a lo planificado. El sofocado hace posible un ajuste de los niveles de humedad en el café tostado. Este proceso compensa en parte la pérdida de masa. Tras el tostado, así como durante el almacenaje, el café pierde de media un 0,8% de su peso por la desgasificación de CO<sub>2</sub>.



## Corte transversal de un grano de café después del tostado

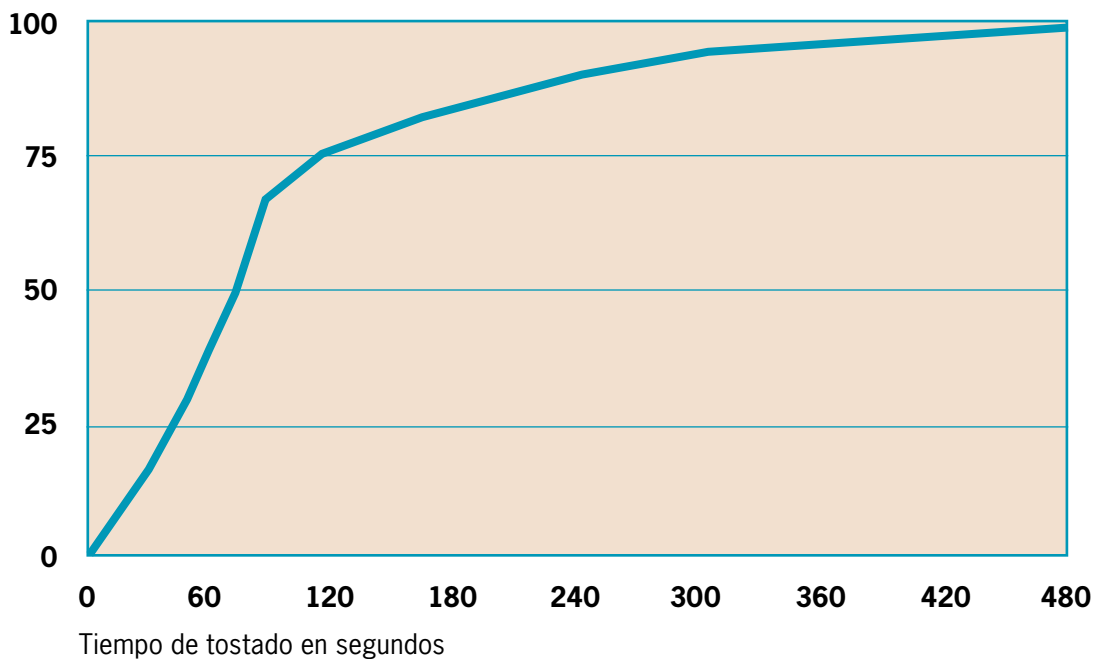


El volumen de un grano de café puede aumentar hasta un 100% durante el tostado. Esta ilustración muestra los cambios ópticos de un grano de café.

La consecuencia lógica por el incremento de volumen y la pérdida de masa es una menor densidad en el café después del tostado. La densidad bruta del grano entero juega un papel importante para un almacenado y envasado eficiente. La densidad bruta es la masa (en gramos) por volumen (en decímetros cúbicos). Cuanto más corto es el proceso de tostado, mayor es la pérdida de densidad a un mismo grado de tostado. Los experimentos muestran una reducción de la densidad bruta de un 12% para un café tostado durante 3 minutos comparado con una reducción del 7% para un café tostado durante 10 minutos.

## La tabla inferior muestra el incremento de volumen de un café Kenia.

Incremento de volumen en porcentaje





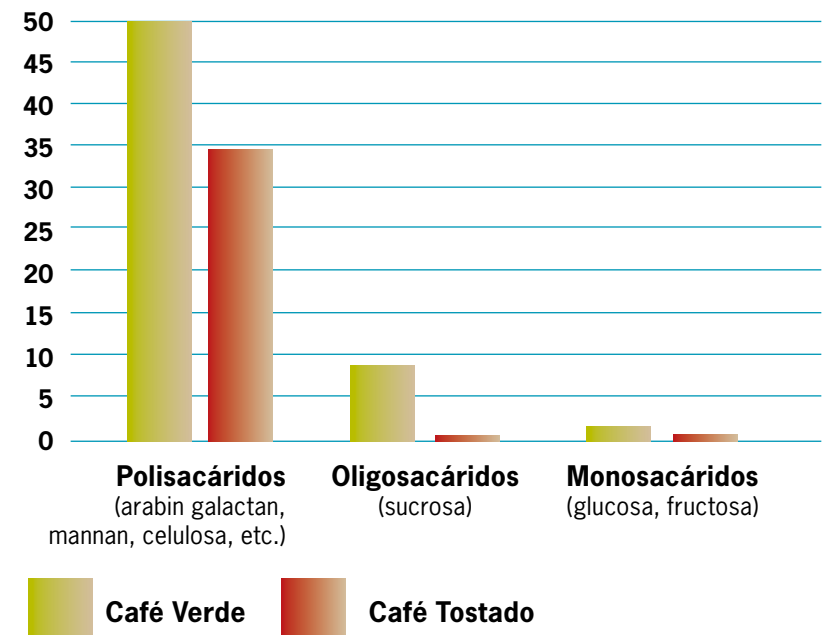
## Reacciones químicas durante el tueste

Tras describir los cambios físicos que tienen lugar durante el tostado, esta segunda parte del artículo se refiere a otros procesos que se dan en el grano y que son mucho más difíciles de ver y medir: las reacciones químicas. ¿Cómo se desarrollan? ¿Qué efectos tienen?

Captar las reacciones químicas durante el tostado es mucho más difícil que examinar los cambios físicos. Con la ayuda de métodos de medición extremadamente complejos, como la cromatografía de gases (GC) o la cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC), se pueden trazar las reacciones químicas, que a fecha de hoy todavía no han sido detalladas al completo. El Director de Investigación y Desarrollo de Probat justifica el uso de estos sistemas debido al impacto decisivo que las reacciones químicas tienen sobre el desarrollo del aroma y la calidad del producto final. “Gracias a ello, asegura Thomas Kozirowski, el conocimiento obtenido en los estudios científicos realizados en el pasado, y repetidos en numerosas ocasiones, han servido para mejorar los equipos que procesan el café, máquinas y plantas, e incluso para desarrollar algunos equipos nuevos.”

### Descomposición de los carbohidratos a través de la reacción de Maillard

% Peso seco





## Agentes aromáticos: masa pequeña, gran impacto

En el tostado del grano de café, cerca de 1.000 componentes, muchos de los cuales son agentes aromáticos volátiles, emergen de un pequeño contenido de compuestos en el inicio. A pesar de su proporción marginal de solamente un 0,1% del peso del café tostado, el café es considerado como uno de los alimentos más aromáticos. Actualmente, se han identificado unos 850 componentes del aroma (ver diagrama), algunos de los cuales sólo existen en concentraciones mínimas, pero capaces de dar al café toques amargos, ácidos o dulces distintivos. El proceso de oscurecimiento no enzimático, también conocido como reacción de Maillard, donde el azúcar reductor reacciona con los aminoácidos, tiene una gran influencia en el aroma. Durante el curso de esta reacción, además de otros compuestos, se desarrollan los denominados melanoides, que dan al café su color. Este proceso se ve influido por el calor, y empezando a 140°C el proceso se acelera considerablemente.

La cafeína, que posiblemente es el ingrediente más conocido del café, es relativamente estable durante el tostado. Estudios recientes demuestran que la cafeína no tiene una influencia significativa sobre el sabor amargo del café, tal y como se venía creyendo desde hace años. Algunas investigaciones tratan de saber si la conversión del ácido clorogénico no amargo a lactone amargo es la clave para entender como el amargor emerge. El sabor ligeramente ácido del café tostado se desarrolla durante la pirólisis. La descomposición térmica del ácido clorogénico en el café verde crea fenoles y la descomposición de otros productos de sabor ácido. Una buena parte de los productos que influyen —ácido acético, ácido málico, ácido cítrico y ácido fosfórico— ya existen en el café verde y sus concentraciones varían en función del tipo de grano. Durante la pirólisis también se forman el ácido fórmico, ácido glicólico, ácido láctico, ácido succínico, y otros ácidos. El incremento o decremento de la acidez fluctúa durante el tueste. Los aceites esenciales también influyen en el desarrollo del aroma, a grandes temperaturas se oxidan y se convierten en aldehídos volátiles y compuestos de hidrocarburos que hacen que el sabor del café se vuelva rancio en caso de contener grandes concentraciones.



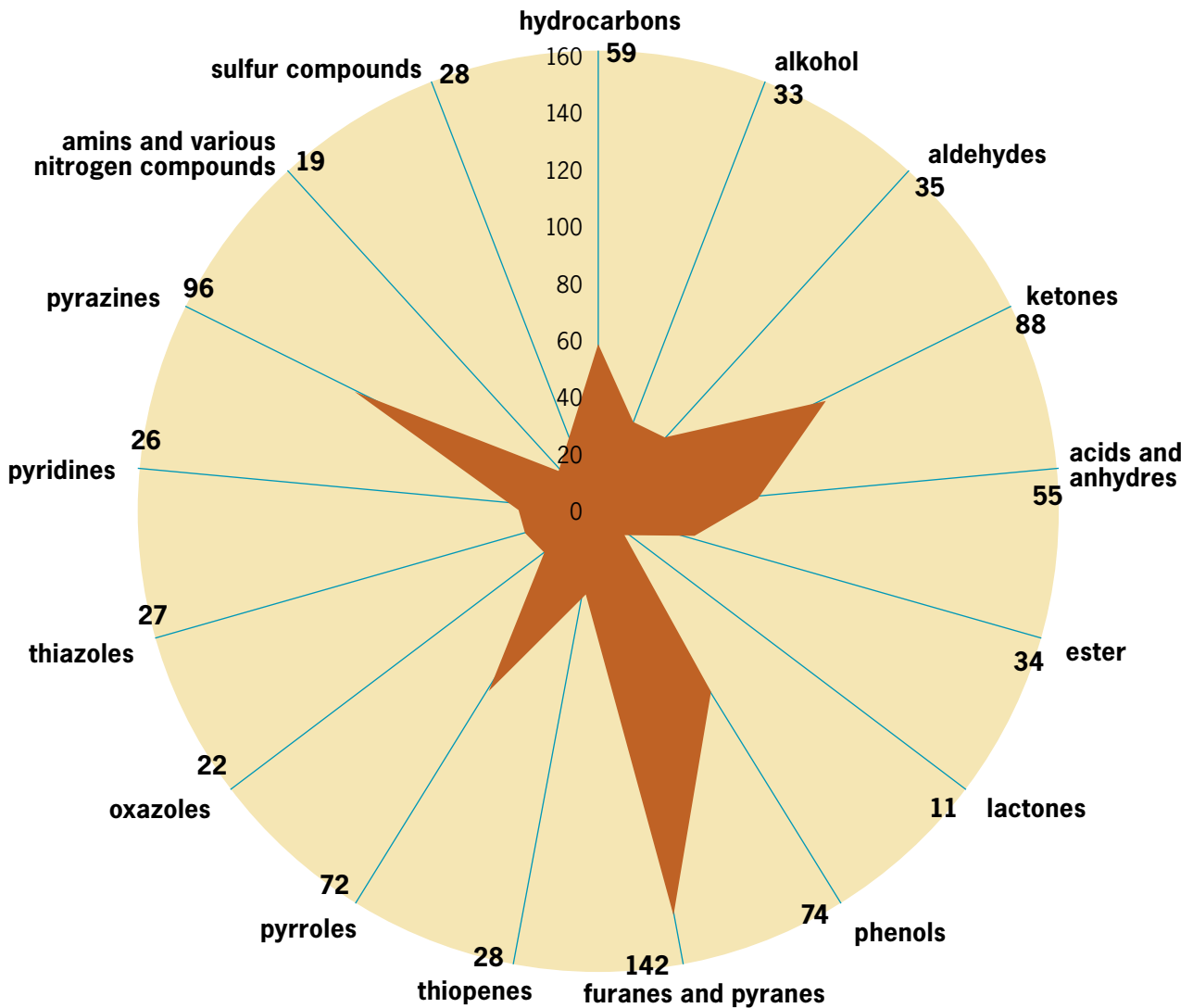
## La influencia del grado de tueste en el sabor del café

Durante el proceso de tueste se incrementan algunas cantidades de determinados compuestos volátiles. Otros crecen hasta un punto determinado del proceso, para decrecer de nuevo mientras sigue el tostado. Por ejemplo, la mayor concentración de furfural, que pertenece al grupo de los furanos y otorga al café un sabor suave y acaramelado, se alcanza incluso a niveles de tostado muy cortos. En cambio la acidez decrece gradualmente. Esto significa que el grado de tueste tiene una influencia decisiva sobre el desarrollo y concentración de los agentes aromáticos. El conocimiento sobre el impacto de los procesos químicos en el sabor del café hace que se puedan incluir tantos factores como sean posibles en el desarrollo de nuevas tecnologías para la obtención de una calidad elevada y reproducible.

**Manuel Rodríguez**  
Radar Process

*\*Los resultados publicados en este artículo se basan en estudios realizados por el departamento de Investigación y Desarrollo de Probat. Ingenieros con gran experiencia y técnicos de experimentación están constantemente implicados en el fondo científico de la trilogía de café verde, proceso de tostado y preparación\*.*

## Componentes aromáticos en el café tostado



A fecha de hoy, se han identificado unos 850 componentes aromáticos en el café tostado

### Investigación básica importante para nuevos productos

Uno de los subproductos que emerge durante el proceso de tostado es una mezcla gaseosa de nitrógeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono, que superan por mucho el resto de sustancias volátiles en términos de cantidad. Debido a la gran presión interna, la mayor parte de los gases emergentes escapan a través de la pared celular permeable y las grietas de secado que se producen durante el tueste. Una cierta cantidad de gas (en torno a un 2% en peso) se mantiene en las células del grano de café a una presión considerable. Con el paso del tiempo, este gas escapa por difusión hasta que se alcanza una equidad de presión interna. Esta desgasificación es un proceso prolongado, dado que la superficie del grano de café tostado es relativamente pequeña. Lo que sí es un factor decisivo para preservar el aroma es que el café tostado pueda desgasificarse sin entrar en contacto con el oxígeno. Tal y como expone Thomas Koziorowski *“Este enfoque de tener en cuenta incluso las reacciones aparentemente menos importantes en el grano de café no es ciertamente fácil. Está unido a un importante trabajo de campo. Pero cada vez que descubrimos algo nuevo y que podemos aplicar en nuestros productos no sentimos orgullosos del esfuerzo realizado.”*