

¿QUÉ SABEMOS DEL CAFÉ?

JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ PONS

Depto. Química Analítica e Ingeniería Química.

Universidad de Alcalá.

CE. joseantonio.martinez@uah.es

ÁNGELES ALVAREZ RABANAL

Depto. Biología y Geología. IES Palomeras Vallecas.

CE. angelesalvarez@mi.madritel.es

Resumen. El estudio de la química del café y de los procedimientos de obtención de la infusión puede ser una excelente herramienta para la comprensión de algunos procesos básicos en química industrial.

También puede ser utilizada en cualquier nivel no universitario de aprendizaje de la química dadas las múltiples facetas que incluye.

INTRODUCCIÓN

Una de las infusiones más comunes en nuestra cultura es el café. Se conoce desde hace mucho tiempo: parece que su consumo se originó en Abisinia y desde ahí se extendió a los pueblos árabes circunvecinos, que llegaron a considerarla “embriagante” y a prohibirla repetidas veces, aunque al final acabó por atribuirse su introducción al Arcángel Gabriel, quien ofreció al Profeta una taza del brebaje, apiadado de sus vigias. La historia de la difusión del café y su cultivo está llena de aventuras más o menos rocambolescas. Por ejemplo, inicialmente estaba prohibido exportar de la península arábica ni una sola semilla que no hubiera sido esterilizada, pero algunas pasaron las fronteras y llegaron al sur de la India. Los holandeses las llevaron a Java y en 1717 llegó a América, concretamente el caballero Gabriel Mathieu de Clieu, contra la voluntad real, llevó una planta a la Martinica donde en menos de 50 años y sólo en esta isla, había más de 18 millones de plantas. El emperador Pedro I de Brasil introdujo la planta en sus dominios, también por vía irregular, y de allí se extendió por el subcontinente americano. Hoy día se cultiva en casi todo el mundo, especialmente en las zonas tropical y subtropical. Brasil es el primer productor mundial, aunque su café no sea el de mejores cualidades y Colombia el segundo.

A Europa el consumo del café no llegó hasta el siglo XVII, donde desde Italia se extendió a Francia y Alemania, en 1652 se introdujo en Inglaterra.

En un principio su consumo tuvo que sortear grandes dificultades, como el rechazo por ser “bebida de moros”, así como elevados impuestos al producto y a los locales donde se expendía. No obstante su difusión fue rápida, de ello da fe una de las cantatas profanas de J.S. Bach (1685-1750), la BWV 211 *Schweigt stille, plaudert nicht*, más conocida por *Kaffee-Kantate*, en la que una jovencita narra su afición por la bebida y la compara con los goces del amor.

En España tardó más en hacerse popular, la competencia con el chocolate era muy fuerte, aunque también la música es elocuente: en la zarzuela “*María Manuela*” (1957) de F. Moreno Torroba (1891-1982), ambientada en el siglo XIX, se describe con todo lujo de detalles y a ritmo de chotis, la hora, la composición, la procedencia (Cuba, Puerto Rico o Brasil) y hasta el acompañamiento, media tostada, del café que toma el madrileño.

Desde finales del siglo XVII los salones de café adquirieron en Europa una gran importancia social, que aun se mantiene, recuérdese las famosas tertulias de los cafés

Pombo o Gijón madrileños, de tanta incidencia en el mundillo cultural de la primera mitad del siglo XX.

Como materia prima el café hoy día es una de las principales, siendo sólo superado en volumen económico por el petróleo, aunque el 60% de la producción se compra en bruto por grandes multinacionales que se encargan de su posterior comercialización y distribución. En España (1993) se consumen al año unas 170.000 TM, procedentes fundamentalmente de Brasil (23%) , Colombia (15%), Costa de Marfil (15%) y Camerún (7%).

Europa consume aproximadamente el 46 % de la producción anual de café y España el 9,2 % de esta producción. Según Vile, datos de 1997, (Martínez Yepes, 2001) España ocupa el 9º lugar entre los países consumidores no productores aunque el consumo *per capita*: 2,4 kg/año está muy por debajo de los principales consumidores, Finlandia (13,3 kg) o Suecia (11,1 kg). Curiosamente, España y Portugal son los países en que es más común el uso de sucedáneos que van desde la raíz de achicoria o malta de cebada tostada hasta los más dispares productos, como remolacha, maíz, trigo, bellotas, incluso higos o chufas torrefactadas (Martínez Yepes, 2001; Blücher,1958).

Con las cáscaras tostadas del café se obtiene un sucedáneo, *café sultana o de sakka*, cuya infusión es parecida al café, aromática y ligeramente narcótica (Blücher, 1958) que no tiene importancia económica dado su bajo volumen comercial.

Desde el punto de vista didáctico el café es una buena base para que los estudiantes realicen una pequeña investigación enfocada primordialmente a los procesos físico químicos de extracción.

Tres son las fases de esta investigación

1. - La materia prima: el café y sus primeros tratamientos
2. - Tueste del café
3. - Preparación de la infusión.

En cada una de las fases se dan un conjunto de procesos, químicos, físicos y biológicos, cuyo estudio puede ser altamente enriquecedor, utilizando medios al alcance de los estudiantes, como una simple cafetera, un hornillo y a lo sumo una balanza y un termopar.

1.- LA MATERIA PRIMA: EL CAFÉ

El café es el fruto de la planta *Coffea arabica* (Linn.), un arbusto de hoja perenne originario del NE de África y de la península Arábiga. La planta presenta múltiples variedades y subespecies: de Arabia o de la Meca, de Jamaica, de la India o Bengala etc. (*C. liberica*, *C. canephora*, *C. excelsa*, etc.) que se diferencian botánicamente por el tipo y la forma de las ramas y de las hojas y por la forma y número de semillas de las bayas.

La planta en líneas generales presenta un solo eje de tallo central, pudiendo alcanzar hasta los 7 u 8 m de altura, pero en el cultivo se controla su altura alrededor de 1,5 m, alargando sus ramas laterales de modo que la planta presenta una forma cónica.

Las bayas de café son bilobuladas, a veces con aspecto de una pequeña cereza alargada (10 a 18 mm de eje longitudinal y de 6,5 a 9,5 mm de eje transversal). Las hay con una cara plana y otras en forma de guisante, son los *caracolillos*. Presentan un pericarpio carnoso que cambia de color a medida que madura, desde verde a carmesí oscuro, pasando por amarillo y rojo. Al secarse se ennegrece y se hace quebradizo.

La pulpa carnosa y algo dulce encierra, en general, dos semillas opuestas cara a cara.

La semilla o haba está envuelta por una membrana externa, el pergamino, de unos 100 µm de espesor y color blanco – amarillento, que se separa por desecación, y una interna de tejido blanco y fino, adherida a la semilla, que se llama “*túnica plateada*” o “*silver skin*”.

La madurez fisiológica de las semillas se alcanza alrededor de 220 días después de la anthesis y tanto secas como húmedas alcanzan un porcentaje de germinación del 90% debido precisamente al pergamino y a la ubicación muy superficial del embrión dentro de la semilla.

No hay una técnica única para la recolección de las bayas, por ejemplo en Oriente Medio y en las Antillas se las deja en el árbol hasta que están completamente secas, recogiendo entonces agitando el árbol y separando la pulpa seca y el pergamino por medios mecánicos. En otros lugares se recogen las bayas maduras a mano y se dejan secar al sol en estratos de unos 10 a 15 cm, procediéndose tras el secado al descascarillado, aunque para evitar que putrefacciones de la pulpa comuniquen al café aromas desagradables se puede recurrir a métodos de desecación artificiales, incluso a triturar la pulpa y dejarla fermentar, en un proceso que viene a durar entre 12 y 30 horas, para separar las semillas por “*levigación*”.

El proceso siguiente es la separación mecánica del pergamino y de la película plateada, la clasificación por densidades del grano en cafés de primera o segunda y otros productos de inferior calidad. Finalmente se secan los granos, al sol o en secaderos, así se evita que en el almacenamiento se produzcan ataques de microorganismos o se desarrollen procesos químicos que alteren el aroma del producto. Normalmente los granos entran en los secaderos con de un 52 % de humedad y salen en torno al 11 ó 12%. Entonces se empacan en sacos de 25 kg y guardan en sitio seco y ventilado¹.

Como es lógico, no puede hablarse de una composición química exacta del café, depende de múltiples variables como variedad, condiciones de maduración, tratamiento previo y otras muchas, incluso hay diferencias no muy significativas, entre los diferentes autores, (Thorpe, 1925), (Blücher, 1958), (Kirk, 1984), así pues y generalizando mucho puede decirse que el café contiene: gomas (22 a 27%), cafeína y cafearina (0,6 a 2,2%), grasas, que se eliminan parcialmente en el torrefactado, (10 a 20%), ácidos tánico y cafetánico, responsables del sabor amargo, (3 a 5 %), celulosa y hemicelulosa (30 a 35,5 %), cenizas (4 a 5%), potasa (<2 %), ácido fosfórico (0,25 a 0,75%), albuminoides (10 a 14 % insolubles y 2% solubles) además contiene dextrina y otros azúcares (5 a 10%) Hoy día gracias a las modernas técnicas de análisis se ha encontrado pequeñas concentraciones de centenares de sustancias químicas (Illy, 2002).

2.- TOSTADO Y MOLTURACIÓN

El siguiente proceso es el tostado, que busca, por una parte, desarrollar el aroma, y por otra destruir la tenacidad de la semilla de modo que pueda molerse fácilmente.

El tueste es un proceso delicado que debe ser uniforme en todas las semillas y llegar a un punto justo en el que los aromas se desarrollen al máximo. Si se tuesta poco, no se desarrollan los aromas y el café se muele mal; al contrario, si se excede, se produce carbonización parcial y se desarrollan aromas indeseables que hace la infusión desagradable e incluso repugnante.

La torrefacción hasta no hace mucho, y aún hoy en algunas pequeñas industrias, se hacía en cilindros que permitían que se escapasen el vapor de agua y los productos volátiles conforme se producían, sin embargo actualmente, a escala industrial, el café se

¹ Salvo que se indique lo contrario, todas las composiciones porcentuales que se citan en este trabajo, se refieren a masa.

tuesta en lechos fluidizados, aprovechando las ventajas que estos dispositivos proporcionan en cuanto a uniformidad de la operación y control de la temperatura.

El café al tostarse pierde del orden del 18% en peso, la mitad es humedad y el resto corresponde a otros volátiles, a grasas y a la caramelización de los azúcares. También se pierde algo de cafeína. Según Bernheimer (Thorpe, 1925) se produce, en muy pequeña proporción (0,05%), una sustancia, llamada “cafeol”² que es la responsable principal, a pesar de su escasa presencia, del aroma del café. Este compuesto de fórmula $C_8H_{10}O_2$, es oxidable por la mezcla crómica y fundido con potasa da ácido salicílico. En conjunto el tueste aumenta la complejidad química del café que inicialmente contiene unas 250 especies volátiles y después del torrefactado pasa de 800 (Illy, 2002)

El grano aumenta de volumen, posiblemente debido a la presión que ejercen los volátiles, especialmente el vapor de agua y el monóxido de carbono, sobre las paredes celulares, llegando a unas 20 ó 25 atmósferas. Como consecuencia de este aumento de volumen, la piel exterior se rompe y desprende espontáneamente. (Thorpe, 1925) (Blücher, 1958) (Illy, 2002)

Cuando se produce el tueste empieza por perderse humedad, después y repentinamente se desprende dióxido de carbono y a continuación empieza el destilado de volátiles. Si se recoge y condensa el destilado se separa por una parte un líquido acuoso que contiene cafeína, cafeol, ácido acético, hidroquinona, metilamina y acetona y un producto sólido que contiene ácidos grasos, especialmente palmítico. En el proceso de tostado puede añadirse azúcar, que carameliza, haciendo, entre otros efectos, que la infusión sea más oscura. Es el llamado “tueste torrefactado”, costumbre típica de España y Portugal.

En función de la temperatura el tueste dura más o menos tiempo, entre 90 segundos y casi 40 minutos, aunque lo más corriente son unos 12 minutos. El sistema de tueste influye en el resultado final. Así un tostado breve a alta temperatura da un sabor “metálico” al café porque los polifenoles no han tenido tiempo de reaccionar debidamente. Un tueste prolongado elimina la mayoría de volátiles desagradables y en este sentido aprovecha mejor el grano de baja calidad, pero también elimina sustancias de aroma agradable, dando como resultado un café muy amargo (en los años 40 se consumía el llamado “café mallorquín”, un café de grano muy pequeño y de ínfima calidad, muy amargo, no hemos conseguido averiguar su origen exacto). Como ya se ha

² La presencia y descripción del cafeol aparece en un clásico (Thorpe, 1925). No se encuentra en bibliografía posterior, donde tampoco se contradice su presencia.

dicho, los responsables del aroma del café son unos 800. Para su detección se utilizan técnicas complejas como espectrometrías de masas. Su separación con el cromatógrafo de gases permite distinguir una casi infinita variedad de aromas diferentes que van desde el llamado “olor a gato”, presente en algunos vinos, a “aroma de violetas”. Conviene recordar que en la percepción de los aromas interviene fundamentalmente el sentido del olfato y que este sentido es capaz de percibir concentraciones de 6×10^{-15} g mL⁻¹ (Illy, 2002)

Tabla 1. Algunas sustancias aromáticas del café torrefactado. (Illy 2002)		
Sustancia	Aroma	Concentración óptima (ppm)
2,4-decadienal	Rancio	0,75
Etilgujacol	Humo	1,2
2-etil-3,5-dimetil pirazina	Chocolate	0,8
2-etil-3,6-dimetil pirazina	Chocolate	0,75
2,4-nonadienal	Rancio	0,35
Metilsalicilato	Canela	0,45
b-damascenona	Te	0,3
DMTS	Azufre	0,25
Isolvaleraldehído	Dulce	0,1
a-inona	Flores	0,1
Linalol	Flores	0,05

En la Tabla 1 se muestra los principales volátiles y su concentración óptima y en la Tabla 2 la variación del grano tras el tueste convencional.

Tabla 2.-Influencia del tostado % en base seca (Kirk-Othemer, 1984)		
CONSTITUYENTES	GRANO VERDE	GRANO TOSTADO
Hemicelulosas	23,0	24,0
Celulosa	12,7	13,2
Lignina	5,6	5,8
Grasas	11,4	11,9
Cenizas	3,8	4,0
Cafeína	1,2	1,3
Sucrosa	7,3	0,3

Ácido clorogénico	7,6	3,5
Proteínas	11,6	3,1
Trigoleína	1,1	0,7
Azúcares reducidos	0,7	0,5
Desconocidos	14,0	31,7
Totales	100	100

La tercera fase es el molido del café, el cual puede hacerse con mayor o menor grado de trituración.

Evidentemente, el molido facilita la extracción de las sustancias activas del café, al aumentar la superficie específica, pero por la misma razón, acelera la pérdida de volátiles, aromas, y el enranciamiento de las grasas por oxidación. Es recomendable pues, retrasar al máximo la molidura. Si ello no es posible, conviene envasar el producto a la humedad adecuada y de modo que conserve al máximo las características organolépticas de la infusión final. Con este fin se suele utilizar el envasado al vacío, en recipientes impermeables, y en general se sirve al comercio menor en presentaciones de unos 250 g.

Las industrias envasadoras acostumbran a mezclar café de distintas procedencias y calidades a fin de conseguir un producto específico, de modo que el tratamiento y la composición acaba siendo secreto industrial de cada fabricante.

3.-PREPARACIÓN DE LA INFUSIÓN

Sobre la preparación de la infusión a pequeña escala existen diferentes técnicas, a veces propias de la idiosincrasia de cada país, las más conocidas:

Café de puchero. Consiste en verter el café molido en agua hirviendo, apagar el fuego, dejar reposar y colar o filtrar la infusión. No hay pues sobrepresión en ningún instante.

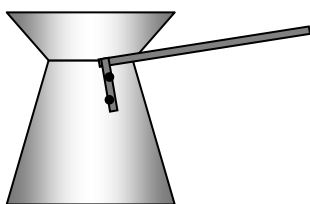


Figura 1 .-Ibrik Turco

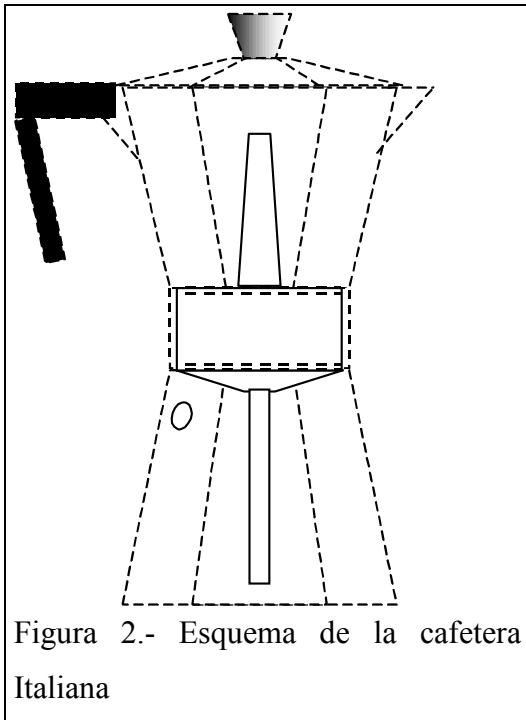
Café turco: Puede considerarse como una variante del anterior, consiste en calentar una mezcla de café finamente molido, agua y azúcar, típicamente en un recipiente metálico llamado “ibrik”, de mango muy largo. El café rompe hervir muy rápidamente y se vierte sin colar en una taza de tamaño mayor que las típicas de café occidental. La mezcla vertida contiene líquido, molienda de café y

espuma, que es muy apreciada en oriente. La mezcla se deja reposar antes de tomarla para que la infusión termine de hacerse y que el poso se deposite y se toma lentamente, con una técnica un poco especial, que a los occidentales nos parece un tanto incorrecta, hasta que sólo queda en la taza el poso que tiene consistencia de una especie de lodo. (Walker, 1983)

Café con manga consiste en verter agua hirviendo sobre el café depositado en un envase de filtro, Es la técnica de las cafeteras tipo “melitta”, sin embargo ya en un viejo libro de cocina, redactado en un delicioso mallorquín al margen de toda normativa ortográfica, editado en Mallorca a finales del siglo XIX, sin nombre de autor ni pié de imprenta, entre otras recomendaciones como tener cuidado en la elección del grano, -el autor se decanta por el caracolillo,- vigilar el tostado, -los granos deben tomar un color tabaco- y añadir al café en la tostadora un poco de manteca de cerdo, para que “tape los poros y conserve mejor el aroma que es muy volátil” (*sic*), aconseja como sistema más económico de preparar la infusión el modo marinero, que consiste en introducir el café molido en una “barretina” de lana, verter sobre ella agua caliente y sin sacar el café de la misma hacer pasar el líquido caliente dos veces más, para que salga más oscuro. Incluso propone la dosis, una cucharada por cada taza o “una onza (33 g) por cada cuatro tazas”.

Café de émbolo: Otra técnica es la del émbolo, utilizada en las cafeteras Express, el café se comprime mecánicamente sobre agua caliente, a unos 94°C, alcanzándose unas 9 atm de presión.

Café a la italiana: Finalmente la más común en la preparación doméstica es la cafetera italiana.



Este aparato consta de dos cuerpos de acero o aluminio de forma más o menos de tronco de pirámide poligonal, unidos por un cuerpo cilíndrico central, ambos se roscan entre sí. En la zona media se encuentra un receptáculo de forma de embudo, de sobra conocida que se cierra por su base con una placa perforada. El cuerpo superior presenta otra placa perforada y un tubo interior como se indica en la figura.

Elaboración industrial: En las fábricas industriales de café soluble donde se busca el máximo rendimiento de producto con una calidad aceptable. En el proceso industrial,-

beneficio-, se extraen los componentes solubles con agua a ebullición y presión normal, para proceder luego a una segunda extracción con agua entre 154°C y 182°C y a presión entre 1,6 y 1,8 MPa. El proceso se realiza en contra corriente de modo que se va eliminando progresivamente la parte inferior de la torta, por donde entra el agua de extracción, y se recarga por la parte superior. El agua sale a unos 75°C. En este caso el café está molido muy someramente

Suelen utilizarse grandes columnas llamadas percoladoras y el rendimiento de las mismas depende de:

- 1.- Granulometría del café.
- 2.- Temperatura del agua de extracción y su perfil de temperatura a lo largo del aparato.
- 3.- Tiempo de precolación.
- 4.- Relación masas de café / agua.
- 5.- Prehumedecimiento y humedecimiento del café.
- 6.- Diseño del equipo: Relaciones de flujo y extracto a lo largo de la columna.

El líquido obtenido se somete a una primera concentración y posteriormente se liofiliza. La cafetera es un dispositivo que a escala reducida representa de un modo bastante fehaciente el dispositivo a gran escala.

3.1.- El poso

Después de la extracción queda un residuo sólido, que en España se llama “poso” o “marro” (Cataluña), y en Hispanoamérica “borra”, “cuncho” o “concho”. El poso, en base seca, contiene hasta un 23% de aceite, que al envejecer se transforma en grasa, que se puede extraer, por ejemplo, con hexano y posterior separación del disolvente en rotavapor (Martínez Yepes, 2001). Este aceite tiene unos índices de yodo de 94,20, de saponificación de 168,72 y densidad de $0,917 \text{ g cm}^{-3}$, lo que permite clasificarlo como un aceite no secante (Vian, 1976) al que todavía no se le ha encontrado una utilidad práctica³.

El poso procedente de la elaboración doméstica carece de importancia y suele eliminarse con la basura, aunque se trata de un excelente aditivo para el substrato de las plantas de maceta, debido a su elevado contenido en materia orgánica que acaba fermentado y dando una especie de Compost, además de retener bastante agua. En la industria constituye un subproducto cuyo beneficio puede ser de interés. De hecho, pese al problema de su elevado contenido en humedad, (hasta el 80%) en España se utiliza como combustible, pero en países de legislación poco desarrollada se deposita en vertederos incontrolados o en corrientes de agua. Hay estudios sobre la posibilidad y viabilidad de utilizar el poso como adsorbente en la depuración de efluentes acuosos (Martínez Yepes, 2001).

En resumen, si se hace un seguimiento del grano de café desde que se recolecta hasta el beneficiado final más de un 94% de su masa es material de desecho y sólo unos 60 g de cada 1000 g se aprovechan en forma de infusión, lo que traducido en términos económicos constituye una de las industrias que más materia prima desaprovechan. Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia el aprovechamiento del grano se puede resumir en la Tabla 3.

³ Aunque estos datos han sido tomados de la tesis doctoral de Pedro Nel Martínez Yepes, han sido verificados por nosotros con posos domésticos, obteniendo sensiblemente los mismos resultados.

Tabla 3. Aprovechamiento del grano verde		
Proceso	Material	masa (g)
Despulpado	Pulpa fresca	394
Fermentación	Mucilago	216
Trilla	Cascarilla	35
Secado	Agua	171
Tostación	Cafeína y otros volátiles	22
Infusión	Poso	104
Producto final	Café	58
Total		1000

Figura 3

3.2.- PROCESOS EN LA CAFETERA

El café molido se sitúa en el receptáculo del embudo mientras que en el cuerpo inferior se deposita agua. Se calienta el agua y entonces empieza a formarse vapor que ejerce presión sobre el resto del agua y la empuja a través del tubo inferior; el agua a presión atraviesa la masa del café produciéndose entonces el proceso de extracción de las sustancias solubles.

Aunque algunos autores piensan que la extracción se hace por una mezcla de agua y vapor, la realidad observada por nosotros es que la cantidad de vapor que circula por el sistema, al menos en las primeras fases de la extracción, es ínfima, debiéndose hablar pues de una extracción por líquido a presión, no muy superior a la atmosférica. Sólo al final cuando ya se ha agotado el agua pasa algo de vapor, son los clásicos “tosidos” finales de la cafetera. Es decir, el vapor sirve para “empujar el agua”, no para extraer las sustancias.

Normalmente las cafeteras, como medida de seguridad, llevan una válvula en su cuerpo inferior.

Se trata ahora de seguir con un poco de detenimiento lo que ocurre en la cafetera.

La bebida que conocemos como café es agua que contiene, por una parte, una serie de sustancias solubles procedentes del café, tales como la cafeína, los restos de azúcares, ácidos y otras sustancias polares, y por otra, sustancias no solubles que se emulsionan en el agua.

El proceso por el cual estas sustancias se extraen del café molido y pasan al agua puede englobarse, como todo proceso de este tipo, en una difusión de las sustancias en el propio grano, y el paso a través de la resistencia correspondiente a la fase acuosa.

El mecanismo de difusión en líquidos y sólido – líquido, a diferencia del de gases, no está suficientemente establecido. Sin embargo, en líneas generales, se puede afirmar que el paso se debe a una fuerza impulsora, un gradiente, en este caso de concentración y, posiblemente, también de presión⁴ (McCabe, 1981). En este sentido, las cafeteras de émbolo o italianas mejoran las cualidades del café. De todos modos, vista la variación de temperatura no parece que sea oportuno en la cafetera italiana hablar de una presión importante.

Al no conseguirse las presiones de las máquinas express el resultado no es un “auténtico café express”, pero se le asemeja bastante.

El café express es un sistema coloidal polifásico en el que hay burbujas de gas, restos sólidos, aceites que a su vez llevan disueltos aromas liposolubles en forma de micelas de menos de 5 µm de diámetro medio, por esta razón la viscosidad del líquido aumenta y adquiere “más cuerpo”, de modo que al beberlo, literalmente recubre la lengua con una fina capa y continúa liberando volátiles, la cavidad bucal está a unos 37°, lo que favorece esta liberación, por lo que el sabor del café permanece largo rato después de su ingestión. (En algunos países, se acostumbra a beber un vaso de agua después del café suponemos que para evitar la liberación de sabores indeseados, algunos tal vez inducidos por los enzimas de la saliva)

En la infusión, como ya se ha dicho en otras partes de este trabajo, hay abundantes productos volátiles a los que se debe buena parte del aroma del café y que se pierden con el tiempo, de ahí las rectas populares que previenen contra el café recalentado o hervido, incluso en el momento de la preparación.

4.- ALGUNOS ESTUDIOS SEMICUANTITATIVOS

Existen múltiples variables cuantitativas a considerar, por ejemplo el grado de acidez del brebaje. Recién hecho presenta un pH entre 5 y 6 lo que indica que la infusión de café es rica en ácidos.

Si se considera la preparación de infusión como una extracción, es decir, un proceso a escala reducida de un proceso industrial, puede ser interesante estudiar la influencia de las variables que mejor se controlan.

⁴ El gradiente de presión, en lenguaje coloquial equivaldría a un “estrujado” del grano de café.

Podría jugarse con diferentes tipos de tueste, o de calefacción de la cafetera, u otras como grado de compresión inicial del café en el depósito, incluso, tiempo de almacenamiento del café. Sin embargo en este trabajo, pensando siempre en métodos al alcance del estudiante medio, se ha optado por estudiar la influencia de granulado del café, que como es obvio, depende de la molturación. Se ha aceptado los datos del comercio que suele ofrecer tres moliendas “grueso”, “entrefino” y “fino”, Se ha operado siempre en la misma cafetera y con la misma cantidad de agua, calentada con placa eléctrica para controlar la potencia y partiendo siempre de hornillo y cafetera a temperatura ambiente.

4.1.- Medidas de temperatura

La evolución de la temperatura en la cafetera es casi la única fuente de información de lo que ocurre en su interior. Para medirla se introdujo una sonda termométrica, que se situó:

1. En el depósito de agua aproximadamente en la boca inferior del pitorro del embudo,
2. En el depósito de café molido.
3. En el receptáculo de recogida de la infusión

Las medidas se hicieron de forma sucesiva.

Estas temperaturas deben aceptarse como simplemente orientativas, debido a la dificultad que entraña la ubicación exacta de la sonda en el mismo punto en cada experiencia y a que se producen efectos de conducción a través del propio cuerpo de la cafetera.

4.2.- Medida del rendimiento de la extracción

La técnica seguida ha sido:

- A) Pesado del café⁵
- B) Recogida de la infusión.
- C) Pesado del poso recién hecha la infusión
- D) Secado del poso al aire y a la sombra durante una semana.
- E) Secado del poso en desecadora y pesado final.

Se pesó, pues, el café antes de empezar la infusión, en el propio embudo previamente tarado, y el poso inmediatamente después de aquella y después de un secado (primero al

⁵ En este trabajo, dados los objetivos buscados se ha utilizado un granatario de precisión $\pm 0,01$ g, común en la mayoría de laboratorios escolares. Dados los errores que se acumulan, no parece necesario recurrir a una balanza analítica

aire y después en un desecador de H_2SO_4). La segunda pesada informa de la cantidad de agua retenida por el café, la tercera puede ser una buena estimación de la pérdida de masa del café es decir, de la cantidad de solubles extraídos por la infusión. Las medidas no son muy precisas, pero al haberse hecho en las mismas condiciones, permiten una comparación entre los diferentes casos.

Para no incluir las posibles pérdidas de humedad inicial se tomó una masa igual a la extraída, procedente el mismo lote y se sometió al mismo tratamiento, excepto beneficiado de la infusión. En cualquier caso, como lo que se pretende es una estimación semicuantitativa de la influencia del molido, el método puede aceptarse.

También se ha medido la cantidad de materia extraída tomando la infusión y evaporando a casi sequedad en baño de agua para evitar recalentamientos y terminando la evaporación al aire libre

En el comercio, como se ha dicho más arriba, se presentan distintos tipos de molienda, en este trabajo se han empleado tres molidos: “fino” ($d \cong 0,2$ mm), “medio” ($d \cong 0,4$ mm) y “grueso” ($d \cong 0,6$ mm). Los fabricantes recomiendan que cuanto más rápido sea el método, más fina debe ser la molturación, lo cual es lógico desde el punto de vista de que a mayor división mayor superficie específica. Por tanto, en principio, el tiempo de contacto puede ser menor para el mismo efecto.

En todos los casos el café empleado era “tueste natural”, es decir, sin adición de azúcares extraños.

4.3.- RESULTADOS

No se alcanzaron temperaturas excesivamente altas, del orden del $105^\circ C$ (recuérdese que en Madrid el agua hierve a unos $98^\circ C$), lo cual significa que no se produjo en ningún momento una sobre presión muy elevada.

Las pérdidas de carga de presión se deben a la columna de agua, muy pequeña, unos 15 cm, y a las pérdidas debidas a los filtros y sobre todo al paso del fluido a través de la torta sólida (Ocón, 1977). Ésta en principio está bastante suelta (depende de como se ha cargado la cafetera), pero por la humedad y la propia presión, se compacta, lo que significa una pérdida de carga mayor, es decir un aumento de la presión sobre el fluido. La temperatura (Figura 4) creció de forma casi lineal, hasta prácticamente estabilizarse mientras duró el paso del café, como era de esperar puesto que al vaciarse parcialmente el depósito, el volumen aumenta y en consecuencia, para mantener la presión necesaria, debe aumentar la temperatura. Esta presión debe aumentar ligeramente al aumentar la

compactación. El grano que tiene un comportamiento más regular es el grueso, sin embargo el que más se aparta de este comportamiento es el medio, aunque, dadas las incertidumbres de la medida, no ha lugar a establecer diferencias taxativas.

****Figura 4*****

La zona plana final, correspondiente al café hecho, puede atribuirse a que prácticamente toda el agua ha pasado y lo que queda es un resto de vapor prácticamente a volumen y presión constantes y en equilibrio térmico (no se olvide que se trabajó fuego muy bajo). La comparación de la evolución de la temperatura en las distintas zonas de la cafetera puede verse, para el grano medio, en la Figura 5.

****Figura 5****

Como es evidente, la compactación aumentará en forma inversa al grano de la molienda, de modo que un grano muy fino, a pesar de un mayor rendimiento superficial, puede presentar un menor rendimiento final debido a esta misma compactación.

Respecto al rendimiento global, este se estimó por pérdida de masa del café con el que se realizó la infusión. Se realizaron tres medidas con cada tipo de molienda obteniéndose los siguientes valores medios.

Tabla 4. Estudio cuantitativo de la extracción del café			
	Grano fino (g)	Grano Medio (g)	Grano Grueso (g)
Café inicial (antes de la infusión)	21,05	21,00	21,02
Poso recién hecha la infusión	45,03	43,02	40,00
Contenido en humedad del poso recién extraído (corregido)	71,06%	67,53%	60%
Poso seco, corregido sobre blanco.	13,03	13,98	16,00
Pasa a la infusión	8,02	7,02	5,02
Porcentaje extraído sobre grano molido	38,10%	33,42%	23,88%

Operando sobre la infusión los resultados han sido ligeramente inferiores (32,25%, 30,12%, 23,13% respectivamente) posiblemente debido a pérdidas en los transvases así como de volátiles que en principio permanecen en la disolución.

Conviene insistir en que las medidas deben tomarse como lo que son, simple estimación semicuantitativa de lo que realmente ocurre. No obstante los valores concuerdan con los que proporciona la Confederación de Cafeteros de Colombia (véase más arriba).

4.3.1.- Modelos teóricos

Aunque no exactamente referido a la cafetera italiana, se han propuesto algunos modelos sobre el proceso de extracción del café, como ejemplo Cham considera que la extracción del café tostado en el límite de la capa líquida viene dado por

$$\frac{dW}{dt} = K(C^* - C)$$

siendo el primer término de la ecuación la masa de sólido transferida por unidad de tiempo a través de la película líquida, K un coeficiente que incluye la resistencia, C^* la concentración de equilibrio y C la concentración instantánea.

La solución de esta ecuación, no obstante, es compleja y sale de los propósitos de este trabajo.

Resumiendo se puede decir que la cafetera italiana es un extractor sólido líquido en contra corriente y con filtros y la eficacia de la extracción depende

- Del tiempo de contacto (La sabiduría popular dice que el café debe hacerse a fuego muy bajo)
- De la velocidad de difusión de las sustancias solubles desde el sólido hacia el líquido.
- De la superficie efectiva de transferencia.
- En la cafetera italiana no tiene sentido hablar de agitación, cosa que sí ocurre, por ejemplo, en el café de puchero.

4.4.- OTRAS CUESTIONES

Una cuestión importante es *la calefacción adecuada*. Como la sabiduría popular recomienda, conviene calentar siempre con poca potencia calorífica, se tarda más en conseguir el café pero los resultados son mejores. Ello se debe fundamentalmente a que si se suministra mucho calor, el exceso de energía implica, por una parte agitación del agua y por otra que se formen burbujas en su seno, éstas pasan a través de la torta sin producir apenas extracción, se acumulan en el pitorro y perturban el normal proceso.

Cuanto más lento es el proceso, dentro de unos límites, - ya que se podrían producir encharcamientos y enfriamientos excesivos del disolvente, lo que redundaría en una pérdida eficacia, - mayor el tiempo de contacto y la extracción es más eficiente y se evitan arrastres en vapor de aromas.

La maza popular tiene abundantes dichos en el sentido de evitar que el café hierva. Posiblemente tengan razón ya que al hervir se eliminan bastantes aromas, principal “gracia” de la infusión. Lo mismo cabe decir del café recalentado.

Como ya se ha dicho, el café debe conservarse en condiciones que eviten, por una parte la pérdida de volátiles y por otra, enranciamientos, debido al contenido graso, y otros procesos químicos que perturben el sabor adecuado, por ello hay que cuidar la humedad, la temperatura y evitar el contacto con el aire.

La conservación en grano, y molturación inmediata antes de la preparación de la infusión puede ser una solución pero normalmente los molinillos domésticos dan una molienda de peor calidad, más irregular, en incluso recalientan más el café que los industriales.

5.- OTRAS APLICACIONES DIDÁCTICAS

Dentro de la misma línea de trabajo cabría proponer una introducción al estudio del flujo de fluidos a través de sólidos y de los modelos teóricos sobre el filtrado. Ello requeriría un calibrado previo del receptáculo, (por ejemplo, acoplándole una regleta graduada) y la medida de volumen de líquido recogido frente al tiempo. Como es sabido, estos modelos (McCabe, 1981), (Ocón, 1977), (Badger, 1972), tienen unas bases teóricas relativamente sencillas, sin embargo su aplicación práctica requiere determinación experimental de parámetros, compleja y en muchos casos escasamente reproducible.

Otra aplicación didáctica, prescindiendo ya de la cafetera, puede ser el estudio de la fabricación de cafés solubles. Entre los métodos empleados el más común y efectivo en cuanto a cualidades del producto es la liofilización, proceso que consiste en eliminar el agua congelando el producto y sometiénolo a baja presión de modo que el hielo sublima y deseca el producto. Con este procedimiento, algo más caro que otras formas de preparación del café soluble, en general a temperaturas más elevadas, y que también podrían ser objeto de estudio, se evita la pérdida de volátiles o que se dañen otras sustancias de alto valor organoléptico.

La detección de las diferentes sustancias volátiles, que podría constituir un ejercicio interesante, se descarta salvo que se disponga de un instrumental adecuado, y aún en este caso, implicaría una complejidad no recomendable en un laboratorio docente.

Otro estudio interesante es el descafeinado del café, así como la extracción y aislamiento de la cafeína, aunque esta operación resulta más efectiva en el laboratorio escolar a partir de hojas de té, que es más rico en cafeína que el propio café y no ha sido sometido a operaciones como el tueste.

Aunque ni la cafeína, ni la teobromina son, al menos en nuestra cultura, muy perjudiciales para la salud, quizás sea bueno recordar que el segundo alcaloide cuyos efectos sobre el sistema nervioso central son menos intensos que los de la cafeína, pero con una acción sobre los riñones más pronunciada, se encuentra en el cacao, ingrediente básico de un alimento infantil por excelencia, el chocolate. (Leuthardt,1962)

6.- CONCLUSIONES

El estudio de la físico química de la cafetera es un buen pretexto para analizar un conjunto de operaciones físico químicas y por tanto gran interés como auxiliar en la enseñanza de la química en general y de la Ingeniería Química en particular. Uno de nosotros suele utilizarlo como trabajo de clase una vez estudiados los procesos básicos en química industrial, procurando dejar siempre el más amplio margen de libertad a los estudiantes, tanto en el enfoque como en la selección y medida de parámetros, insistiéndose siempre en los aspectos físico químicos y no dejando de lado el económico, resaltando el escaso aprovechamiento que de la materia prima en bruto se hace.

También es útil para verificar de modo cualitativo la teoría expuesta en los textos más comunes, como (McCabe,1981), (Calleja Pardo,1999), (Badger,1972) , (Costa López, 1984), etc.

LA CAFEÍNA Y ALCALOIDES SEMEJANTES

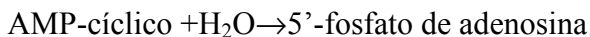
Es la sustancia responsable de las propiedades estimulantes del café.

Se trata de la 1,3,7-trimetilxantina y se encuentra no sólo en el café sino en el té y en otros vegetales como la marana, la hierba mate, o la nuez de Kola. Mientras que el café contiene sobre el 2 % de cafeína, el té contiene del 3 al 5 %.

Cristaliza en forma de agujas sedosas, con una molécula de agua, si se ha aislado en medio acuoso, o anhídrico, si en alcohol. A 100° C se deshidrata y funde entre 235 a 237 °C. Es relativamente soluble en agua fría (1 parte en 80 a 15°), fácilmente soluble en agua hirviendo. Se disuelve mal en éter o en alcohol absoluto, pero mejor en alcohol diluido y muy bien en cloroformo. Su disolución acuosa es neutra y tienen sabor amargo.

Su efecto estimulante, se debe a que prolonga o intensifica la actividad de la adrenalina lo que se supone se deba la persistencia incrementada del AMP-cíclico (ácido 3',5'-cicloadenílico) en la célula estimulada por la adrenalina (Leuthardt, 1962).

La cafeína y la teofilina inhiben la reacción por inhibición de la enzima fosfodiesterasa que hidroliza e inhibe el AMP- cíclico según la reacción:



La cafeína además tiene efectos diuréticos.

En Medicina se utiliza como estimulante cardíaco o diurético, sola o asociada con otros fármacos, especialmente analgésicos y antipiréticos como los derivados del ácido salicílico (“Cafiaspirina[®]”) o de la aminofenazona (“Piramidón”). (Rieche , 1967).

Muy semejantes a la cafeína son la teobromina, 3,7-dimetilxantina, que funde a 337°C, y se encuentra sobre todo en las semillas de cacao y en el té y la teofilina, 1,3-dimetilxantina, que funde entre 269 y 272°C y se encuentra en el té (Leuthardt, 1962).

Estos alcaloides fueron sintetizados por Fisher (1899) a partir del ácido úrico, aunque hoy se prefiere en el laboratorio y la industria el método Traube, grupo de síntesis que partiendo de la urea como producto inicial, con las oportunas modificaciones, permiten obtener casi cualquier derivado de la purina (Para mayor detalle véase por ejemplo Finar, 1980, Tomo 2. Págs. 806 y siguientes).

****Figura 6****

EL CAFÉ DESCAFEINADO

Con objeto de conseguir una bebida que tuviera las propiedades organolépticas del café pero no sus problemas, en su mayoría derivados de la cafeína, se ha tratado de eliminar esta sustancia alterando lo menos posible las restantes propiedades del café. Los primeros intentos se deben al alemán Ludwig Roselius (1900), quien ensayó diferentes disolventes. Éstos por una parte debían ser selectivos respecto a la cafeína y por otra no dejar residuos tóxicos en el café. Por ejemplo, el cloroformo y el benceno cumplían bastante bien la primera condición, pero eran tóxicos. Otro disolvente fue el cloruro de metileno, hasta que en los años ochenta se descubrió su posible carácter de cancerígeno, lo que llevó a su eliminación en EE.UU. (de hecho, según ley se tolera hasta 10 ppm⁶ en el producto final). A pesar de ello sigue utilizándose por lo poco que altera el sabor de la infusión.

Otro disolvente es el acetato de etilo, usado en el café etiquetado como “natural”, sin embargo hoy día se utilizan otros métodos menos agresivos desde el punto de vista químico.

Uno es el llamado “método suizo”, que pone en contacto el café verde con una disolución saturada de las restantes sustancias de interés, procedente de una carga anterior; de este modo sólo se disuelve la cafeína.

Otro método es un proceso de extracción continua en contracorriente utilizando dióxido de carbono supercrítico, a 250 atm de presión y 93 ° C, como agente extractor, en columnas de unos 20 m.

La cafeína pasa al dióxido de carbono acompañada de algo de agua. Por la cabeza de la torre entra el café en grano verde previamente remojado con agua y sale el dióxido con la cafeína y algo de agua y por la base entra el extractor y salen los granos tratados que son posteriormente secados y tostados. Este café puede comercializarse directamente para su preparación en cafetera o en forma de extracto soluble, normalmente obtenido por un proceso de liofilización.

La cafeína del producto de cabeza a su vez se recupera mediante un proceso de lixiviación con agua en lluvia fina. Esta disolución se comercializa para fabricantes de bebidas o laboratorios; el CO₂ se recicla. (Katz, 1997)

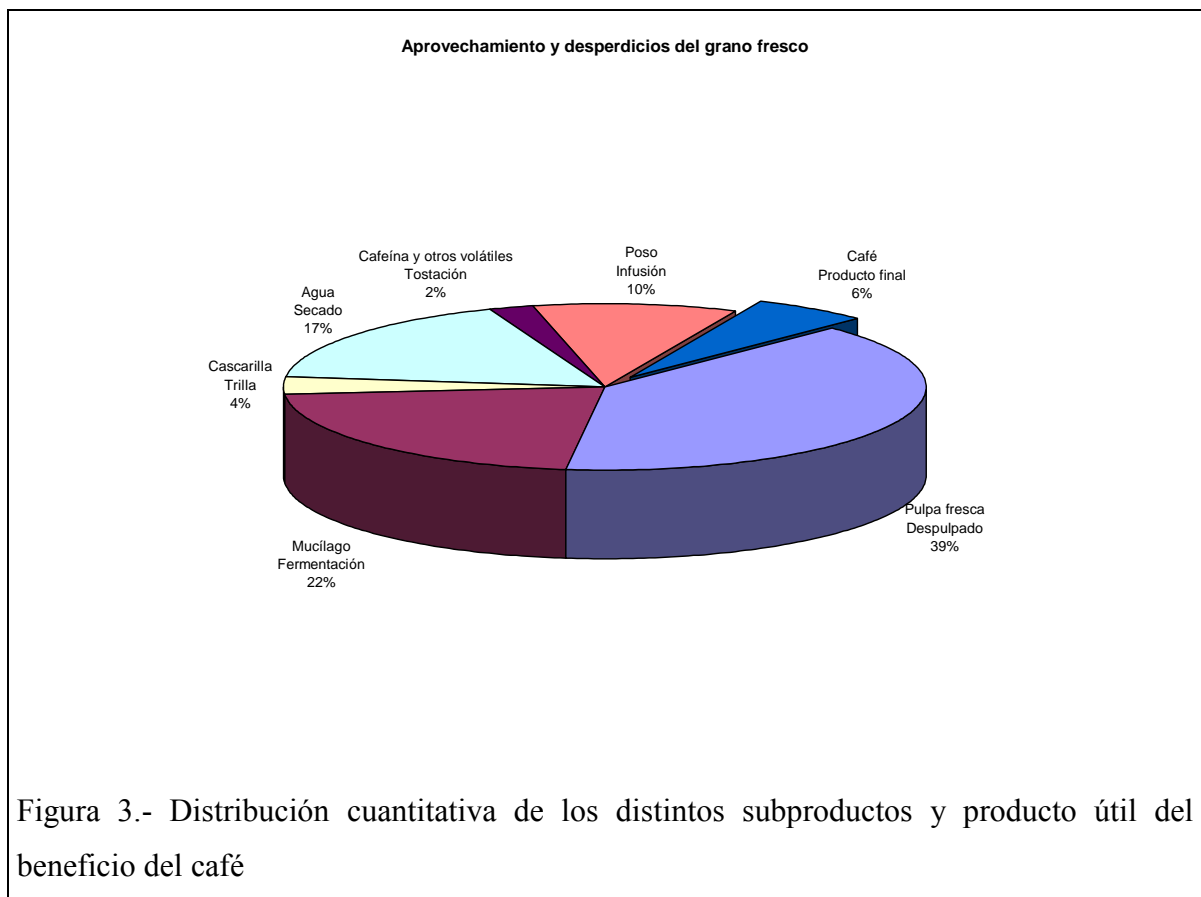
*****Figura 7*****

⁶ Ppm significa, como es bien sabido, “parte por millón”, en este caso se toleraría pues 10 mg por kg de producto seco

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

1. ANÓNIMO (Sin fecha, aproximadamente, final del siglo XIX): **Llibre de cuina mallorquina**. Sin editorial. Palma de Mallorca.
2. BADGER, W.L. y BANCHERO, J.T. (1972): **Introducción a la Ingeniería Química**. Editorial del Castillo. Madrid.
3. BLÜCHER, H. (1958): **Enciclopedia de la Química Industrial**. (18ª edición). Editorial Tecnos .Madrid.
4. CALLEJA PARDO, G. (Editor) y otros (1999): **Introducción a la Ingeniería Química**. Editorial Síntesis. Madrid .
5. COSTA LÓPEZ, J Y OTROS. (1994): **Curso de Ingeniería Química: Introducción a los procesos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte en la Ingeniería Química**. Editorial Reverté Barcelona.
6. COSTA NOVELLA, E. Y OTROS (1983): **Ingeniería Química**. Editorial Alhambra . Madrid.
7. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (1988): **Tecnología del Cultivo del Café**. Comité Departamental de Cafeteros de Caldas. II edición, Manizales. Colombia.
8. FINAR, I. L. (1980): **Química Orgánica**. Tomo 2 Editorial Alhambra. Madrid.
9. ILLY, ERNESTO. (2002): **La complejidad del café**. *Investigación y Ciencia*. Agosto. Pág. 68-74
10. KATZ, SAÚL N. (1997): **El Café Descafeinado**. *Investigación y Ciencia*. Agosto. Pág. 96
11. KIRK-OTHMER. (1984): **Encyclopaedia of Chemical Technology**. Editorial John Wiley and Sons. Third edition.
12. LEUTHARDT, F. y EDLBACHER, S. (1962): **Tratado de Química Fisiológica**. Editorial Aguilar. Madrid.
13. MARTÍNEZ YEPES, PEDRO N. (2001): **Empleo de desechos de café como adsorbente en la depuración de efluentes acuosos**. Tesis Doctoral. Madrid.
14. MCCABE, WARREN L. y SMITH, JULIAN C. (1981): **Operaciones Básicas En Ingeniería Química**. Tomo II. Editorial Reverté. Barcelona. Existe una edición española de 1991 McGraw-Hill Book Co. Madrid y otra posterior, 1994, mejicana.

15. OCÓN GARCÍA, JOAQUÍN Y TOJO BARREIRO, GABRIEL (1977): **Problemas De Ingeniería Química**. Editorial Aguilar. Madrid.
16. RIECHE, A. (1967): **Química Orgánica Técnica**. Editorial Acribia. Zaragoza.
17. THORPE, EDWARD (1925): **Enciclopedia De La Química Industrial**. Tomo II. Editorial Labor. Barcelona.
18. VIAN ORTUÑO, ÁNGEL (1976): **Introducción a la química industrial**. Editorial Alhambra. Madrid. Existe edición de 1994. Editorial Reverté. Barcelona.
19. WALKER, JEARL (1983): **Taller y Laboratorio ¿Qué ocurre cuando reposa el café turco?**. *Investigación y Ciencia*. Junio. Pág. 116-121.



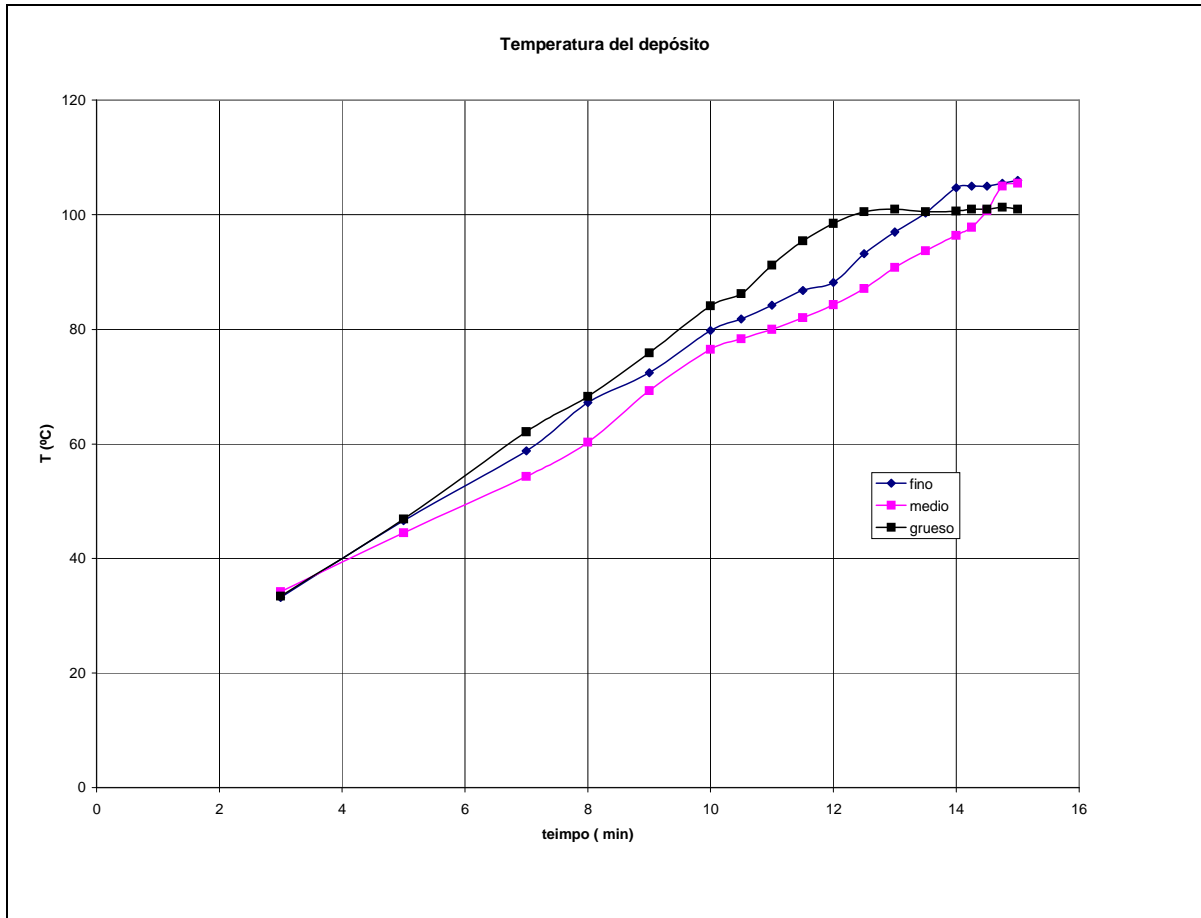


Figura 4.- Temperatura en el depósito de agua

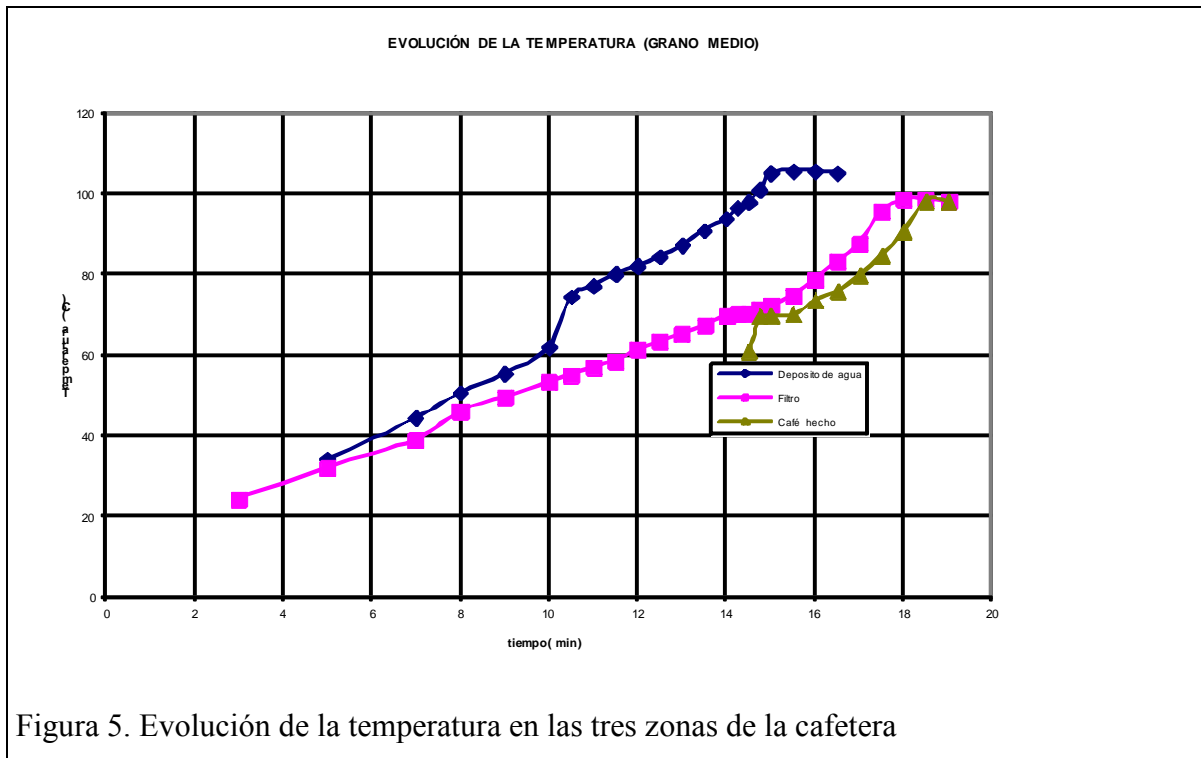


Figura 5. Evolución de la temperatura en las tres zonas de la cafetera

