

La preparación de mermelada como recurso didáctico

José Antonio Martínez Pons

Resumen: En este artículo se propone como recurso didáctico la preparación de la mermelada, que sirve de motivo para el estudio de un conjunto de fenómenos físicos y químicos relacionados tanto con el proceso como con la propia mermelada. Aunque se propone un análisis cualitativo, las ideas expuestas pueden desarrollarse con un mayor rigor y de un modo más cuantitativo. Está destinado a estudiantes de enseñanza no universitaria.

Palabras clave: Recurso didáctico, Pectina, gel, propiedades fisicoquímicas de la mermelada.

Abstract: In this article the preparation of jam is proposed as a didactic resource, that serves as reason for the study of a set of physical and chemical phenomena related to the process and the own jam. Although a qualitative analysis is proposed, the exposed ideas can be developed more quantitatively.

Keywords: Didactic resource, Pectin, gel, chemical and physical properties of jam.

Introducción

Una de las formas tradicionales de conservación y consumo de las frutas y otros vegetales es la mermelada. En rigor, además de mermelada, existen diferentes preparados con distintos nombres, regulados por las correspondientes legislaciones^[1] como confitura, jalea, marmalade, compota, etc. Pero, en el fondo, todos ellos consisten en una mezcla gelificada, con la consistencia apropiada, de azúcares y de pulpa, bien de una sola especie de frutas, bien de dos o más especies, siendo detalles en la presentación (fruta entera, troceada o triturada) y las cantidades relativas de azúcar añadido y fruta lo que las diferencia. En este trabajo no se harán distinciones. Un estudio pormenorizado de estos productos y la legislación correspondiente puede verse en otras fuentes.^[1, 2]

Las mermeladas se han fabricado desde tiempo inmemorial de modo casero y también de modo industrial. En ambos casos, la preparación básica es muy sencilla: cocción prolongada con una cantidad importante de azúcar, entre el 65 y el 100% de la masa de fruta fresca en su punto óptimo de maduración, generalmente triturada y tamizada, aunque los pormenores dependen de la receta y la fruta preparada. Pero la industria de las mermeladas ha alcanzado niveles técnicos importantes y se sigue investigando en orden a mejorar el producto final en todos los aspectos, tanto organolépticos como sanitarios, así como en técnicas de preparación de mejor rendimiento.

En síntesis, la fabricación (o preparación) de la mermelada implica dos procesos, por una parte la deshidratación parcial de la materia de partida y, por otra, la gelificación de las pectinas que constituyen parte integrante de las frutas, aunque se puede agregar pectinas externas, utilizando la sacarosa como agente gelificante. Con esta preparación se pretende, además

de conseguir ciertas características especiales de estructura y sabor, mejorar la conservación del producto. La cocción elimina de manera importante las formas vegetativas de microorganismos y la mayoría de esporuladas, y las condiciones finales (acidez, concentración de azúcares, etc.) dificultan en gran manera su proliferación; sin embargo, las mermeladas son susceptibles de ataque por levaduras y mohos.

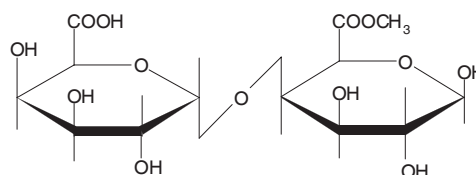


Figura 1. Unión de anillos de pectina. Obsérvese el enlace α , 1-4.

En este trabajo no se va exponer de forma detallada la fisicoquímica de la mermelada sino que, partiendo de su preparación, se presenta un recurso didáctico en el que se experimenta con diversos procesos físicos o químicos relacionados con la preparación de tan sabroso alimento, en principio dirigido a alumnos de Bachillerato y, con las debidas reservas, de ESO.

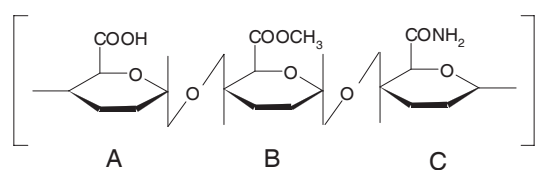


Figura 2. Esquema de una pectina; se observa cómo en el anillo B el grupo carboxilo está metilado y en el C está amidado. Por claridad, se omiten los detalles no necesarios, que pueden apreciarse en la Figura 1.

Las Pectinas

Pese a lo dicho al principio, y a modo de recordatorio, se resumen brevemente aspectos fisicoquímicos de las mermeladas. La mermelada es un gel, que está constituido por una estructura tridimensional que retiene una cierta cantidad de agua. Esta estructura se basa en unos polímeros naturales, las pectinas, cuyas cadenas se entrecruzan por medio de un agente gelificante, normalmente la sacarosa y el ion calcio (o magnesio). Las pectinas son hidrocoloides que, en disolución acuosa, presentan propiedades espesantes, estabilizantes y



J. A. Martínez Pons

IES Las Lagunas (Rivas, Madrid)
Gabriel García Marquez s/n, 28529 Rivas
C-e: jamartinezpons@ono.com

Recibido: 10/03/2009. Aceptado: 23/06/2009.

sobre todo gelificantes. Son insolubles en alcoholes y disolventes orgánicos corrientes y parcialmente solubles en jarabes ricos en azúcares. Químicamente, pues, las pectinas son biopolímeros.^[2-7] Sus monómeros son unidades de ácido D-galactopirranurónico, unidas a través de enlaces α 1-4 (Fig. 1) y se obtienen de frutas (ver Tabla1) especialmente cítricos y manzanas, de girasol y de remolacha, e incluso de hojas de nopal (chumbera mejicana).^[8] Algunos de los grupos carboxílicos que presentan (Figuras 1 y 2), se encuentran esterificados por grupos metilo o amidados. La cadena principal de galactouronano puede estar interrumpida por unidades de L-ramnosa que pueden llevar a su vez, cadenas laterales de L-arabinosa y D-galactosa.

El nombre de pectina deriva la palabra griega "Pectos" ($\pi\eta\chi\tau\omicron\sigma$) (denso, espeso, coagulado)¹. Las pectinas son un tipo de sustancia mucilaginosas de las plantas superiores. Se asocian con la celulosa y le otorgan a la pared celular la capacidad de absorber grandes cantidades de agua.

El porcentaje de carboxilos metilados determina el grado de esterificación (GE) y el porcentaje de amidados determina el grado de amidación (GA). Cuando el grado de esterificación es superior al 50% se habla de pectinas de alto grado de metilación (HMP) y, si inferior, de bajo grado de metilación (LMP).

Tabla 1. Contenido de pectinas (en porcentaje en masa).^[5]

Fuente	Pectina (%)	
	Frescas	Secas
Mondas de manzana	2	17
Mondas de limón	3	32
Mondas de naranja	4	35
Pulpa de remolacha	1	28

El proceso de gelificación se desarrolla en un medio que está formado por cuatro ingredientes fundamentales: pectina, agua, azúcar y ácido.^[5] Los ácidos pueden ser los naturales de las propias frutas, como cítrico, málico, etc., o añadirse en alguna fase de la preparación; en este caso lo normal es la adición de ácido tartárico o cítrico, recomendándose normalmente el primero porque "produce menos sabor ácido".

Los grupos carboxílicos inicialmente están parcialmente ionizados y las cadenas contienen carga eléctrica negativa, lo que hace que entre ellas se produzca un cierto grado de repulsión y, por tanto, de separación. La adición de azúcar y de ácido modifica la situación. El azúcar desarrolla una acción deshidratante sobre la pectina y la lleva al límite de la solubilidad. El ácido, normalmente más fuerte que los ácidos de las pectinas, desplaza el equilibrio, disminuyendo drásticamente el número de restos carboxilo ionizados en las pectinas, lo que reduce al mínimo el aumento de la carga eléctrica y la disociación de la pectina, favoreciendo las uniones físicas de sus moléculas.

De la acción mutua entre el azúcar y del ácido sobre la pectina en disolución, a temperatura suficiente para facilitar la

solubilización y las uniones físicas de los componentes, nace una estructura reticular que, al enfriarse, solidifica en forma de gel. Existe una temperatura característica para la cual el gel adquiere la consistencia adecuada.

Este gel,^[6,7] tiene una estructura tridimensional en la que participan iones calcio o magnesio, y enlaces de hidrógeno. La aproximación de las cadenas es posible debido a la acción deshidratante de los azúcares y a la pérdida de carga negativa de las cadenas de los ácidos pécticos al retrogradarse su disociación por la presencia de iones H^+ extraños, como ya se ha apuntado antes.

La gelificación depende de varios factores, los más importantes son:

- El grado de esterificación de la pectina.
- La masa molecular de la pectina.
- El valor del pH del producto.
- La cantidad de sales de calcio presente en los componentes.
- La concentración de azúcares (grados BRIX)² del producto.
- La temperatura.

Entrar más en detalle de los mecanismos concretos escapa del objeto de este trabajo, dirigido a estudiantes no universitarios, pero puede verse por ejemplo en los trabajos de Calvo^[7] y Goycoolea y Adriana.^[8] En la Figura 3 se muestra un ejemplo de la temperatura de gelificación de pectinas en función del pH.

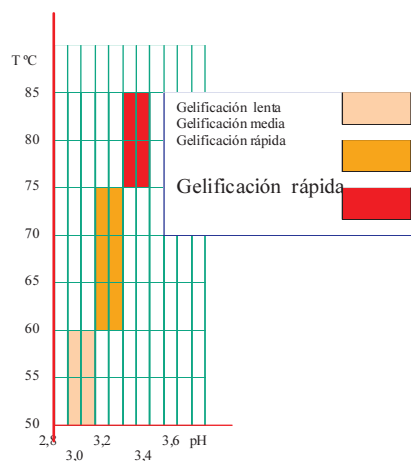


Figura 3. Temperaturas de gelificación de las pectinas de alto metoxilo en función del pH según Ferreira^[6] y verificadas en parte por el autor.

Aplicación didáctica

La aplicación didáctica que se propone consiste en la preparación de una mermelada analizando los diferentes factores que intervienen en esta preparación. Se busca con ello motivar a los estudiantes, haciéndoles ver que la física y la química están "en todas partes", además de promover el uso e improvisación de instrumentos. No se busca un análisis en profundidad de los procesos de gelificación, aún siendo muy interesantes, dado el alumnado al que va dirigido el trabajo.

¹Algún autor cita "pécticos", pero según consultas con expertos en griego clásico, lo correcto es "pectos", la raíz más corta, como indica el Diccionario de la RAE.

²El grado Brix (°Bx) es un indicador de la concentración de sólidos. Un grado Brix equivale a una disolución que contiene un 1% de sacarosa.

Se precisa para la preparación de mermelada:

- Fruta en buen estado de maduración. La clase de fruta es indiferente, incluso puede utilizarse tomate. Previamente, se habrá lavado cuidadosamente y despepitado si es preciso. En general no se pelará porque la piel contiene mucha pectina.

- Azúcar común (sacarosa) en proporción de aproximadamente 75% de la masa de fruta lavada y despepitada. En la preparación industrial a veces se incluye glucosa.

- Un limón por cada medio kilogramo de fruta o ácido cítrico.

- Tarros de vidrio con cierre hermético que se lavarán y hervirán durante unos 20 minutos. Pueden ser reciclados.

Maceración de la fruta

Se mezclan la fruta troceada y el azúcar y se deja reposar, a poder ser unas 24 horas, en lugar fresco y protegida de polvo y otras impurezas.

Se debe observar que la fruta empieza a "soltar agua". Es la llamada agua de vegetación, que se debe al fenómeno de *ósmosis* (paso del disolvente, en este caso agua, a través de una membrana semipermeable desde el medio más diluido al más concentrado).

Se puede medir:

a) La cantidad de agua perdida por la fruta, colando la fruta y pesándola. Es una medida estimativa. Hay que tener cuidado en descontar la masa de azúcar.

b) La concentración de sólidos contenidos en el jarabe. Para ello se utiliza un refractómetro, aparato que mide el índice de refracción de una sustancia. Existen en el mercado aparatos comerciales, hoy día a precios muy ajustados, que se pueden adquirir hasta por Internet, sin embargo, aquí se propone un casero que funciona razonablemente bien. Se construye con vidrios porta de microscopio y pegamento epóxico o silicona. Con tres de ellos se construye una estructura de tres caras laterales de un prisma cuadrangular y el cuarto se pega en diagonal (Figura 4), adhiriéndose con epoxi y cuidando de impermeabilizar bien las juntas. Para su uso se precisa un puntero láser, como se observa en la Figura 5. El dispositivo se calibra mediante unas cuantas disoluciones de concentración conocida proyectando sobre una pantalla y manteniendo fijos el puntero y el refractómetro.

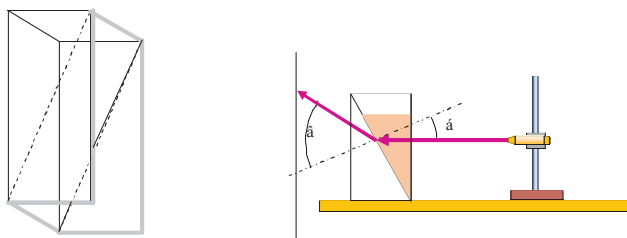


Figura 4. Esquema del refractómetro y de su utilización. Obsérvese que el calibrado debe hacerse en cada utilización, cuidando siempre de repositionar correctamente la celda.

Según la ley de Snell $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$ de donde $n_1 = n_2 \sin \beta / \sin \alpha \approx \sin \beta / \sin \alpha$, si $n_2 \approx 1$. Donde α y β son los ángulos de incidencia y refracción y n_1 y n_2 los índices de refracción respectivos. En este ejercicio no es precisa la medida del índice de refracción, que de un modo indirecto da la

concentración de sólidos, en este caso azúcares. El problema de este dispositivo es que se produzca reflexión total. Geométricamente se observa que el ángulo de incidencia sobre la cara oblicua es igual al ángulo agudo menor de la cuña; en el ejemplo, su seno es aproximadamente 2/6, con lo que, para que no haya reflexión total debe cumplirse que $n \sin \alpha < 1$, es decir $n < 3$.

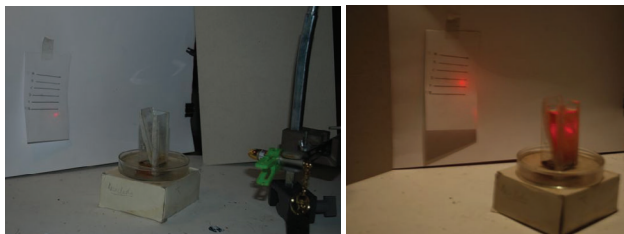


Figura 5. Funcionamiento del refractómetro. A la izquierda vacío, a la derecha con mermelada de fresa diluida cinco veces. Se ha reducido la distancia, que para una buena resolución debe ser de unos 2 m y la escala de calibrado no es la adecuada para la distancia de la fotografía, pero se observa el desplazamiento del punto del láser. Midiendo en condiciones adecuadas, se obtuvo un valor de 55°Bx.

Este experimento puede servir también para comprender el concepto físico del índice de refracción y la segunda ley de Snell³.

c) Densidad del jarabe. Se mide cuidadosamente un volumen del jarabe y su masa. También es un buen ejercicio de uso del picnómetro y puede medirse con un densímetro, cuidando de que el aparato esté calibrado para el rango de densidades que va a medirse. Construyendo una tabla de calibrado a partir de disoluciones de concentración conocida es posible determinar la concentración del jarabe, ya sea mediante el densímetro ya sea mediante cualquiera de los otros métodos (Fig. 6).

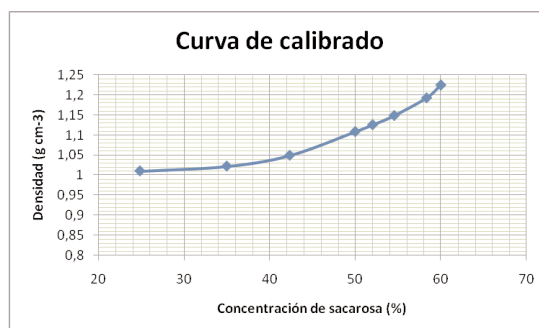


Figura 6. Curva de equilibrado.

d) pH del jarabe. Se puede medir mediante un papel indicador, en cuyo caso hay que tener la precaución de tomar una gotita de jarabe con una pipeta, humedecer el papel pH por una cara y efectuar la lectura por la otra, a fin de que el color del jarabe no interfiera la lectura, o mediante un pH-metro. Se tomará nota de todas las medidas para comparar con el resultado final. La sonda debe limpiarse cuidadosamente inmediatamente después de cada utilización para evitar que el azúcar se deposite sobre ella.

La propia mermelada, en general, es un indicador ácido-

³El autor lo utiliza en sus clases de física de 2º de Bachillerato.

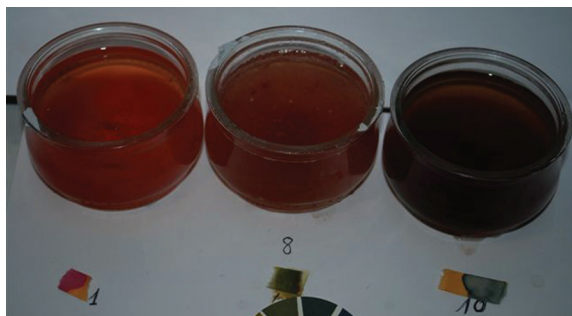


Figura 7. Color de una mermelada de fresa diluida (10% volumen) para distintos valores del pH. Es más espectacular, incluso, con otras mermeladas como la de mora de zarza. A pH aproximadamente 6 se observa cómo "se desmorona el gel".

base, como se puede comprobar alcalinizando una muestra, ya sea de jarabe ya sea de la propia mermelada, con una disolución de hidróxido de sodio. Por ejemplo la mermelada de moras de zarza en medio ácido es morada; sin embargo, en medio alcalino es verde, y algo semejante ocurre con el jarabe de membrillo. Un ejemplo de variación de color de mermelada de fresa con el pH se muestra en la Figura 7.

Determinar *el punto de viraje*⁴ del jarabe puede ser también un interesante ejercicio de aplicación. Para ello se procederá del modo usual, preparando una disolución de ácido clorhídrico a la que se agregará unas gotas de jarabe o de mermelada. Utilizando como valorante una disolución de NaOH y con un pH-metro en la disolución problema agitado con un agitador magnético se detectará el valor de pH de cambio de color. Es instructivo construir las curvas de variación de pH con el volumen de la disolución añadida y de su derivada.

Cocción de la mermelada

La mermelada se cocerá en una cazuela de acero inoxidable o de porcelana; no son recomendables ni el aluminio ni el barro, dado el carácter ácido de los jarabes. Es conveniente calentar con una placa eléctrica. No es interesante una calefacción demasiado intensa y debe removerse constantemente el preparado para evitar que se "agarre". Al iniciar la cocción se tomará nota aproximada del nivel del preparado.

En la fabricación industrial, normalmente con pectinas añadidas, se inicia el proceso cocinando la pulpa con un 10 % del azúcar total, que evita que la masa se pegue a la marmita y al final se añade el resto.

Se observa que el jarabe va espesando y cambiando de color a la par que el volumen se va reduciendo. Esta reducción de volumen se debe principalmente a la pérdida de agua.

En este proceso también se pueden realizar medidas.

Si se dispone de un termómetro de cocina o una sonda termométrica capaz de trabajar por encima de los 110 °C aproximadamente, se irá tomando la temperatura de la mermelada y

del agua a fin de construir las correspondientes curvas de calentamiento. Se observará que mientras que el agua hierve a unos 98°C (en Madrid, que se encuentra unos 600 m sobre el nivel de mar), la mermelada lo hace a una temperatura superior. Algunos pasteleros recomiendan detener la cocción cuando la temperatura alcanza una cierta temperatura (entre 105 y 115 °C). El autor piensa, desde su experiencia, que es preferible guiarse por la textura que va tomando el preparado. Se observará cómo, precisamente, éste se va espesando y cómo su nivel va disminuyendo. Se puede comprobar que las disoluciones hierven a mayor temperatura que los disolventes puros, sin embargo, no se dan las condiciones para que se cumpla rigurosamente la ley del ascenso ebulloscópico que suele aparecer en los textos elementales, ($\Delta t = K \cdot m$), ya que no se trata de una disolución diluida. De vez en cuando se tomará una gota de la mezcla en ebullición y se depositará sobre un vidrio y se observará como al enfriar se hace más "espesa", es decir, empieza a gelificar. Ello se debe a que la gelificación óptima tiene lugar por debajo de los 70 °C, siempre^[2] de modo aproximado (ver Fig. 3). Esta comprobación puede servir para determinar cuándo detener la cocción. En este momento se retirará una muestra y se medirá su pH, que debe estar en torno a 3-3,5. Si tal no ocurre se rectificará por adición de ácido cítrico o tartárico o simplemente, el zumo de un limón. Un pH demasiado bajo daría un gel demasiado duro que pierde la elasticidad necesaria para retener agua y la mermelada exuda a la vez que presenta una textura desagradable (*sinéresis*). Con pH demasiado alto el gel se formará con dificultad. En caliente se verterá en los tarros en que se desea conservar el preparado, que se cerrarán herméticamente, excepto unas muestras que se dejarán enfriar, comprobándose la textura. Para medir el grado de gelificación se utiliza en la industria regelímetros o rigidómetros y se compara con un gel de referencia, dándose el resultado en grados SAG⁵. No se ha encontrado una forma sencilla de realizar esta medida de modo cualitativo o semicuantitativo. También puede medirse la densidad del preparado, pero, salvo en mermeladas muy líquidas, no es conveniente el uso de densímetros (ver recuadro página siguiente).



Figura 8. Medida de la densidad de la mermelada, de modo sencillo, y usando el picnómetro

⁴Como es bien sabido, un indicador de pH es un ácido o base débil que presenta dos coloraciones diferentes para un determinado valor del pH, punto de viraje. Muchos de los pigmentos vegetales pertenecen a este tipo de sustancias, como el jugo de la col lombarda. Analizar en detalle este caso sería en sí objeto de una investigación muy interesante.

⁵Estos grados se definen como "el número de gramos de sacarosa que en una solución acuosa de 65 ° Brix y un valor de pH 3,2 aproximadamente, son gelificados por un gramo de pectina, obteniéndose un gel de una consistencia determinada".

⁶El autor ha observado en algunas ocasiones la formación de posibles células convectivas hexagonales (Células de Bénard), pero esta cuestión excede el propósito de este trabajo, además de no haberlo investigado con suficiente rigor.

Recuadro.

Ejemplo de medida de la densidad (ver Figura 8)

Con la probeta:

Masas: Probeta vacía = 119,2 g; Con 100 mL de mermelada de cereza = 238,7 g; Densidad

$$\rho = \frac{238,7 - 119,2}{100} = 1,195 \text{ g cm}^{-3}$$

Cálculo del error. Puesto que la probeta esta graduada en mL, en el enrase se puede aceptar un error absoluto de ± 1 mL, y puesto que la balanza digital tiene un error absoluto de 0,2 g en cada pesada, el error máximo en la diferencia será de 0,4 g en consecuencia, aplicando el criterio de la derivación logarítmica para el cálculo de la cota de error relativo $\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V} = \frac{0,4}{119,5} + \frac{1}{100} = 0,013$ y el error absoluto $\Delta\tilde{n} = 0,013 \times \tilde{n} = 0,013 \times 1,20 = 0,02 \text{ g cm}^{-3}$ (tomando las cifras significativas) Por lo cual $\tilde{n} = 1,20 \pm 0,02 \text{ g cm}^{-3}$

Con el picnómetro:

Masas: Vacío = $m_0 = 41,98$ g; Lleno de agua destilada = $m_1 = 86,90$ g; Lleno de mermelada. = $m_2 = 96,91$ g

$$\text{Densidad relativa (respecto al agua)} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} = 1,223$$

Cálculo del error: Puesto que esta vez se ha operado con balanza con un error de 0,01 g, para la diferencia se aceptará un error de 0,02 g y el error absoluto de la medida será 0,001, con lo cual la medida de la densidad relativa es $\tilde{n} = 1,223 \pm 0,001$. Obsérvese que esta medida es adimensional aunque muy aproximadamente equivale a la medida expresada en g cm^{-3} . El valor teórico de la densidad del agua como es sabido es $1,00 \text{ g cm}^{-3}$ a 4°C ; en este experimento en concreto se midió la densidad del agua, encontrándose $\tilde{n} = 0,985 \pm 0,001 \text{ g cm}^{-3}$, con lo que la densidad absoluta de la mermelada $\tilde{n} = 1,204 \pm 0,002 \text{ g cm}^{-3}$,

Repetiendo para una mermelada de fresa se obtuvo $\tilde{n} = 1,150 \pm 0,001$

En este experimento se observa cómo, además de la medida de la densidad, absoluta y relativa, se aplica un técnica sencilla de estimación de errores y ajuste a cifras significativas perfectamente aplicable a estudiantes de 2º de bachillerato. Aunque, como puede verse, los dos resultados en los dos métodos están en el mismo intervalo de medida, no tiene mucho sentido compararlos si no se mide con precisión la densidad absoluta del agua.

Comparando el resultado con una curva de calibrado previamente construida (Fig. 6) puede estimarse el °Bx.

En el laboratorio escolar, si el ejercicio lo realizan varios equipos de alumnos distintos, se puede hacer un análisis estadístico, pero este particular sale de los objetivos previstos.

Se han utilizado balanzas digitales de bolsillo y poco precio, como las usadas habitualmente por los alumnos, pero el autor las ha calibrado y los resultados, tanto en precisión como en sensibilidad, para los rangos medidos, son correctos y dentro de los límites dados por el fabricante.

Fin de la preparación: Embotado y esterilización

El embotado debe hacerse siempre en caliente ya que si se deja enfriar la mermelada por debajo del punto de gelificación puede romperse la malla, dando una mermelada de deficiente gelificación.

El embotado en caliente crea un cierto vacío en los envases, lo que, unido al pH de la mermelada, la parcial desecación y la alta concentración de azúcar, garantizan que los microorganismos no medrarán y el producto se conservará por bastante tiempo.

Otros aspectos que se pueden estudiar son:

a) Cambio de color del jarabe. En general, las mermeladas

se oscurecen con la cocción, ello se debe a reacciones de empardamiento sobre todo caramelizaciones. No son probables reacciones Maillard⁷ ya que éstas requieren la presencia de compuestos nitrogenados, prácticamente ausentes en las frutas. Además, parte de la sacarosa se invierte dando glucosa, lo cual en principio, no es indeseable, dentro de unos límites.

b) Por la cocción prolongada se pueden perder algunos aromas aunque pueden adquirirse otros, y se destruyen nutrientes, como algunas vitaminas. Sin embargo, gracias a ella se produce una desecación parcial de la mezcla y la práctica destrucción de los microorganismos, como ya se ha dicho.

c) Efecto del ión calcio. Puede comprobarse, tratando fruta triturada con una disolución concentrada de cloruro de calcio o sumergiendo en ésta un pedazo de fruta, que rápidamente

⁷La reacciones de Maillard, estudiadas por Louis-Camille Maillard (1878–1936), consisten en la glucosilación no enzimática de proteínas. Se trata de un conjunto complejo de reacciones que se producen al calentar mezclas de proteínas y azúcares reductores, por reacción entre grupos amino de las proteínas y un carbonilo de los azúcares. Los productos mayoritarios de estas reacciones son moléculas cíclicas y policíclicas.

endurece. El gelificado con ión calcio es una de las técnicas a la que se recurre en la cocina de última moda.

Consideraciones finales

Y, si a pesar de todo, la mermelada "sale mal", también de ahí se puede sacar una lección científica. El principal problema es que el preparado no gelifique, y ello puede deberse a:

a) Si se ha añadido pectina: Solubilización incompleta de la pectina, que puede evitarse mezclando pectina con sacarosa cristalina que actúa como agente dispersante.

b) Control inexacto del pH del producto terminado. No habrá gelificación si el valor del pH no se ha llevado por debajo de 3,6 (ó 3,8 para pectina de rápida gelificación). En el rango de pH de 3,3 a 3,5 una pequeña diferencia de 0,2 unidades puede ser motivo de fracaso.

c) Cocción excesivamente prolongada, que provoca hidrólisis de la pectina y el producto resulta de consistencia pastosa no gelificada.

d) Excesivo enfriamiento antes del envasado que provoca pregelificación y consiguiente rotura del gel, que también puede romperse por una agitación excesiva del producto

e) Se produce sinéresis. Entre otras causas puede deberse a una alta acidez (pH demasiado bajo), o al envasado a temperatura inferior al punto de gelificación

f) El color final resulta alterado. La exposición prolongada al calor durante la concentración lleva a la caramelización, es decir al oscurecimiento del producto. Igual inconveniente se presenta cuando hay enfriamiento lento de los envases.

Conclusión

Una tarea, en principio alejada de la química académica, permite la observación cualitativa y cuantitativa de algunas propiedades y fenómenos químicos, como ósmosis, refracción, pH, gelificación, etc., que puede, además, culminarse con la degustación del "producto del experimento"

Bibliografía

- [1] Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), Tecnología de los alimentos. Cuadernos CDTI, 1, Madrid, **1993**.
- [2] J. A. Martínez Pons, A. Álvarez Rabanal, *Alimentación, Equipos y Tecnología* **2005**, Vol. 24 (205), 54–62.
- [3] I. L. Finar en *Química Orgánica*, Tomo 2, Alhambra, Madrid **1980**.
- [4] A. Horta Zubiaga en *Macromoléculas*, Publicaciones UNED, Madrid, **1982**.
- [5] A. Vian Ortuño en *Introducción a la Química Industrial*, Alhambra, Madrid, **1980**.
- [6] S. Ferreira Ardila en *Pectinas: aislamiento, caracterización y producción*, Universidad Nacional de Colombia, Septiembre de **2007**.
- [7] M. Calvo en *Bioquímica de los alimentos. Pectinas*: <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinas.html>
- [8] F. M. Goycoolea, M. C. Adriana Cárdenas, en *Propiedades Gelificantes de la Pectina del Nopal*. <http://www.ciad.mx/boletin/sep-oct-01/boletin5.pdf>.

