

“¿Hay algún fundamento científico en la utilización del “Vaso de Tormentas” como instrumento para la predicción meteorológica?”

FERNANDEZ VIEITEZ, Raquel e FIDALGO FERNÁNDEZ, Jesús

1. Introducción

El Beagle fue uno de los navíos más famosos de la historia. Robert FitzRoy fue su comandante en sus dos viajes de investigación. En su segundo viaje, durante los cinco años que duró su travesía por el hemisferio sur, Charles Darwin recogió los datos que posteriormente utilizaría para la Teoría de la Evolución. Sin embargo, Darwin no era el único científico a bordo. Robert FitzRoy, además de navegante de reconocido prestigio, fue uno de los pioneros en la predicción meteorológica, cuyas investigaciones pudieron quedar eclipsadas ante la gigantesca figura de uno de los más famosos científicos de la historia. Durante los distintos viajes del Beagle, FitzRoy empleó diversos instrumentos para predecir el tiempo atmosférico, entre los que se encontraba el *vaso de tormenta*.

El *vaso de tormenta*, también conocido como barómetro de FitzRoy, era un recipiente con varias sustancias químicas que cambiaba de aspecto, permitiendo predecir así el tiempo que haría. Sin especificar las proporciones, FitzRoy en su libro, *The weather book: a manual of practical meteorology* (FitzRoy, 1863), explicaba la composición del *vaso de tormenta*: una mezcla heterogénea de alcanfor, nitrato de potasio (KNO_3) y cloruro de amonio (NH_4Cl) disueltos parcialmente en alcohol y agua, guardados herméticamente en un recipiente de cristal. En el capítulo dedicado a este instrumento, FitzRoy (*The weather book: a manual...*, 1863, 439-441) expone cómo el *vaso de tormenta* era un instrumento utilizado de forma común por los marineros de la época.

Resulta contradictorio que un hombre de tan reconocido prestigio como investigador utilizara lo que a simple vista no presenta una base científica clara. En la revisión bibliográfica sobre la composición y propiedades del *vaso de tormenta* sólo se encuentran referencias al método de preparación del vaso e instrucciones sobre cómo interpretar su aspecto para la predicción. Apenas existen investigaciones sobre su fiabilidad ni sobre los factores físico-químicos o los procesos químicos que originan los cambios en su aspecto.

2. Objetivos y métodos de la investigación

El propósito de esta investigación es el de analizar los aspectos físico-químicos que afectan a un *vaso de tormenta*, tratando de encontrar una relación entre las causas y los cambios observados. Se analiza el *vaso de tormenta* tanto cualitativamente, observando los cambios producidos en la altura de los cristales en función de las condiciones ambientales; como cuantitativamente, determinando la solubilidad, el pH, la conductividad eléctrica y la cantidad de alcanfor precipitado y disuelto a diferentes temperaturas.

Para determinar la cantidad de alcanfor disuelto se utiliza el test de Brady, que se basa en la capacidad del grupo carbonilo para reaccionar con la 2,4-dinitrofenilhidrazina (DNPH) y originar sólidos coloreados de elevada masa molar (Camargo, 2008, 47). Esta es una reacción de condensación donde la DNPH reacciona con el grupo carbonilo para dar un solo producto, la dinitrofenilhidrazone correspondiente y agua. En este caso se obtiene la 2,4-dinitrofenilhidrazone del alcanfor. Cuantificando la masa de dinitrofenilhidrazone obtenida se podrá determinar la cantidad de alcanfor presente en la disolución.

3. Procedimiento

3.1. Preparación del vaso de tormenta

Aunque en la obra *The Weather Book* (FitzRoy, 1863) solo se mencionan los componentes del *vaso de tormenta* de manera de superficial, en la bibliografía más reciente (Mills, 2008, 161-163) se recogen los reactivos que aparecen en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Componentes del vaso de tormenta

Reactivos	Cantidad
Alcanfor ($C_{10}H_{16}O$)	10,0 g
Nitrato de potasio (KNO_3)	2,5 g
Cloruro de amonio (NH_4Cl)	2,5 g
Etanol (C_2H_5OH)	40,0 mL
96 % v/v ($d=0,805 \text{ kg L}^{-1}$)	
Agua	33,0 mL

Puede considerarse así, que un *vaso de tormenta* es una disolución hidroalcohólica sobresaturada de alcanfor, $C_{10}H_{16}O$ (MM: 152,12 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$). El alcanfor es un terpenoide que se obtiene, principalmente, del alcanforero (*Cinnamomum camphora*), un árbol perenne propio de Asia, y de otras lauráceas. Es una substancia sólida, de cristales blancos cuyo punto de fusión es 175°C. Se caracteriza por su olor penetrante y por disolverse fácilmente en alcoholes, éter, cloroformo y sulfuro de carbono aunque no en agua (solubilidad de 0,12 g/100 mL) (Rowe et. al, 2009).

Para estudiar el mayor número posible de propiedades posibles se preparan 4 vasos de tormenta diferentes. Dos de ellos se dejarán en el exterior durante el mes de diciembre de 2015 y se comprobará diariamente su aspecto y la altura de sus cristales en función del tiempo meteorológico. En los otros dos tubos se determinará el efecto de la variación de la temperatura sobre la acidez de la disolución (pH), conductividad eléctrica y solubilidad.

Para cada vaso de tormenta se toman 10,0 gramos de alcanfor (0,066 mol) en 40,0 mL de etanol, obteniendo una disolución de $1,64 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ totalmente transparente. Paralelamente se disuelven 0,047 mol de cloruro de amonio (NH_4Cl) y 0,025 mol de nitrato de potasio (KNO_3) en 33,0 mL de agua.

La disolución de alcanfor se vierte lentamente sobre la disolución de cloruro de amonio y nitrato de potasio, formándose un precipitado de color blanco, pues la solubilidad del alcanfor es mucho menor en agua que en etanol. Se forma así una mezcla heterogénea de alcanfor, junto con los iones de nitrato (NO_3^-), cloruro (Cl^-), sodio (Na^+) y amonio (NH_4^+) que continúan disueltos. El proceso es exotérmico, aumentando 1,82°C la temperatura de la mezcla. La mezcla obtenida se guarda en un tubo de cristal y se tapa con un tapón de goma.

3.2. Evaluación del crecimiento de los cristales en el vaso de tormenta

Durante el mes de Diciembre de 2015 se colocaron dos vasos de tormenta diferentes en el exterior para medir qué aspectos de los mismos se veían modificados según el clima. Ambos vasos eran tubos de ensayo de cristal de 15 mililitros de capacidad sellados con dos tapones de corcho. Cada día se midió la altura de los cristales, anotando otras observaciones sobre el aspecto del vaso si era necesario. A partir de los datos obtenidos en la observación del crecimiento de los cristales, se representó la altura de los cristales frente a la temperatura media de cada día (*Figura 1*).

La variación de la altura es poco pronunciada, siempre con valores alrededor de los 10 cm de altura, sin embargo parece que con temperaturas bajas la altura es mayor que a temperaturas más elevadas. Trazando la línea de tendencia de los datos vemos que hay una correlación moderada e inversamente proporcional entre la altura de los cristales y la temperatura exterior. El coeficiente de regresión (0,84) de la línea de tendencia muestra una apreciable debilidad en la correlación obtenida, de ahí que no se establezca ninguna ecuación para la línea obtenida.

Atendiendo a las anotaciones tomadas, observamos que el aspecto de los tubos sí que cambia en el líquido sobrenadante. En ocasiones se muestra claro y límpido mientras que en otras su aspecto es más turbio. Destaca la formación de una fina capa de cristales en la parte superior de los tubos que parece coincidir con los días más fríos (temperaturas medias menores a 10°C). Además en la mayor parte de estas ocasiones, el tiempo fue seco y poco nuboso.

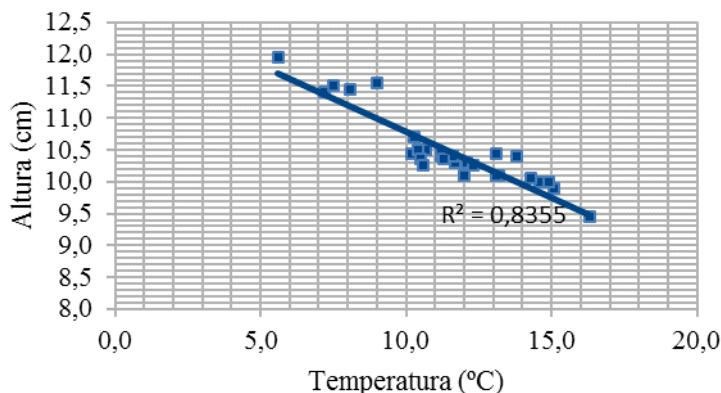


Figura 1. Variación de la altura de los cristales con la temperatura

3.3. Determinación del pH y la conductividad en función de la temperatura

Con la intención de valorar los posibles cambios en la concentración de iones disueltos con la temperatura se mide el pH y la conductividad de uno de los vasos de tormenta a diferentes temperaturas.

Se calienta la mezcla hasta su completa disolución, a 35 °C. Resulta un pH ácido de 4,04 y una conductividad de 20,22 mS·cm⁻¹ (está cerca de la máxima que puede medir el conductivímetro (20,50 mS·cm⁻¹). Se enfriá progresivamente el tubo a través de los baños a distintas temperaturas (18,1 °C, 0°C en baño de agua-hielo, y -10 °C en un baño de sal-hielo) y tanto la conductividad como el pH permanecen invariables. Podemos interpretar, por tanto, que la temperatura no afecta de forma significativa a la concentración de las sales de nitrato de potasio y de cloruro de amonio disueltas.

3.4. Variación de la solubilidad en función de la temperatura

3.4.1. Cantidad de alcanfor precipitado.

De un tubo de tormenta se toman cuatro muestras de 25mL y se colocan tres en los distintos baños (-10°C, 0°C y 27,1°C) y un cuarto permanece a temperatura ambiente. Se filtra el precipitado de cada una de las muestras y se determina la solubilidad. Al representarla frente a la temperatura, la línea de tendencia muestra una fuerte correlación positiva, con un coeficiente de regresión lineal de 0,97 de la línea de tendencia $f(x) = 2,03x + 59,53$, indicando un incremento de solubilidad con la temperatura (Figura 2).

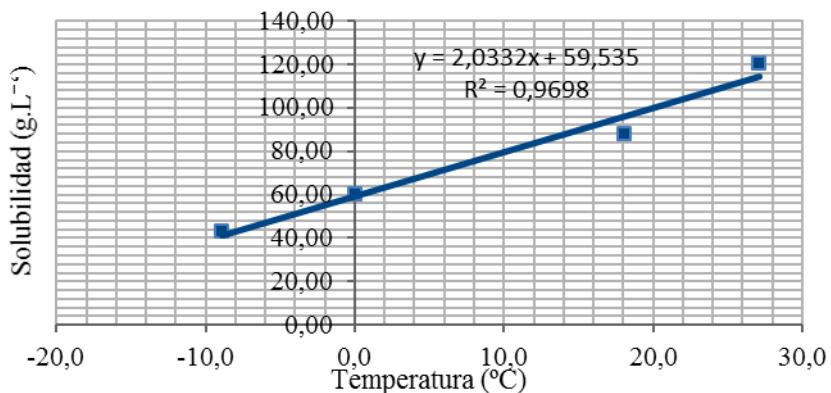


Figura 2. Variación de la masa de precipitado con la temperatura

3.4.2. Cantidad de alcanfor disuelto

Para verificar la cantidad de alcanfor disuelto a diferentes temperaturas, se procede a una cuantificación indirecta, en base a la utilización de la reacción característica del grupo carbonilo con dinitrofenilhidrazina que conduce a la obtención de precipitados coloreados de elevada masa molar. Así, se obtiene la dinitrofenilhidrazone del líquido sobrenadante del vaso de tormenta a tres temperaturas distintas (25,3°C, 16,3°C y -2,3°C). Conociendo la cantidad de dinitrofenilhidrazone precipitada podemos obtener la cantidad de alcanfor disuelto en cada temperatura. Los datos se toman a tres temperaturas únicamente, apreciándose que a mayor temperatura, mayor es la cantidad de alcanfor disuelto en el vaso de tormenta.

Para confirmar que las dinitrofenilhidrazonas obtenidas se corresponden con la del alcanfor, se comparan sus espectros de absorción con la dinitrofenilhidrona del alcanfor puro, coincidiendo en todos los casos en un máximo relativo a 430 nm.

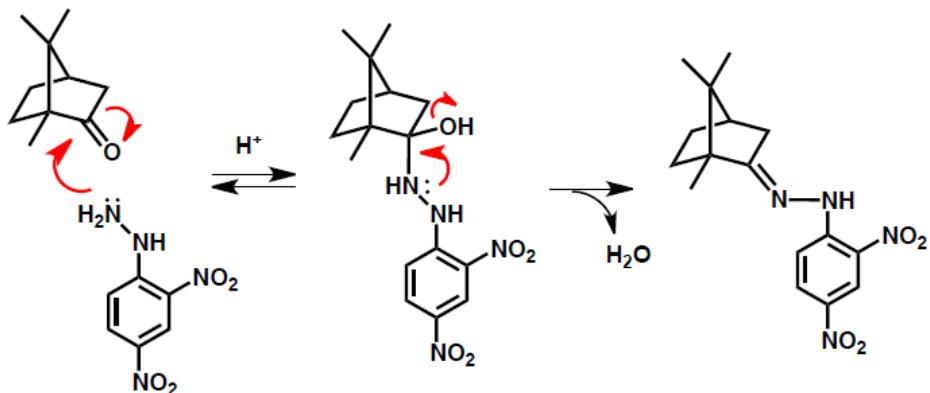


Figura 3. Mecanismo de obtención de la dinitrofenilhidrazone del alcanfor

4. Conclusiones

Tras 30 días de recogida de datos, se observa que la temperatura es un factor que afecta al aspecto del vaso de tormenta. El tamaño de los cristales guarda una moderada relación inversamente proporcional a la temperatura. Sin embargo estas variaciones son poco apreciables y sin emplear un aparato de medida preciso, inapreciables a simple vista. La altura de los cristales se mantiene en una altura de entre 10,0 y 11,0 cm. Parece poco probable que en un barco de la época del almirante FitzRoy pudieran determinarse de forma suficientemente precisa estas variaciones.

Desde un punto de vista cualitativo, las diferencias son más fáciles de detectar. El líquido sobrenadante se muestra claro y limpio en los días secos y soleados mientras que los días más lluviosos y húmedos, se llegan a formar cristales en la superficie del vaso de tormenta. Por tanto, el vaso de tormenta se ve afectado por la temperatura no tanto en la altura de sus cristales depositados en el fondo como en cuanto a aquellos cristales que se van formando en la disolución sobrenadante. Cuando la temperatura es más alta, estos cristales se encuentran más disueltos que cuando es baja, donde se pueden apreciar estructuras cristalinas dentro de la disolución. En una visión optimista, podríamos inferir que un marinero cualificado y experto, quizás sería capaz de predecir el tiempo en base a la mera observación del aspecto de los cristales.

Atendiendo a los datos recogidos en las experiencias de laboratorio, los cambios cualitativos que observamos en el *vaso de tormenta* son consecuencia de la variación de la solubilidad del alcanfor por la temperatura. A mayor temperatura, mayor solubilidad del alcanfor y por tanto menor cantidad de cristales precipitados. Tanto el cloruro de amonio (NH_4Cl) como el nitrato de potasio (KNO_3) no parecen afectar al comportamiento del vaso de tormenta. Ambas sales permanecen disueltas y no se ven afectadas sensiblemente por los cambios de temperatura, como demuestran los valores constantes del pH (4,04) y de la conductividad eléctrica ($20,22 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$). Estos resultados se corroboraron a través de la obtención de la dinitrofenihidrazona del alcanfor y de la del precipitado de los vasos de tormenta. La solubilidad del alcanfor disminuye $0,06 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ por cada $^{\circ}\text{C}$.

Podríamos valorar la fiabilidad del *vaso de tormenta* como relativamente aceptable en relación con el tiempo meteorológico en condiciones extremas. Si los cambios de temperatura son muy bruscos podrían observarse cambios apreciables en el aspecto del *vaso de tormenta*. En cualquier caso, su efectividad sería discutible, dado que el margen de predicción sería escaso.

El *vaso de tormenta* podía predecir una gran tormenta o un anticiclón importante pero en general es muy difícil que pueda servir para climas moderados, puesto que estas condiciones no suelen ir acompañadas de variaciones abruptas de temperatura. Extender su uso más allá de lugares con climas extremos sería ineficaz puesto que las variaciones en el aspecto de los cristales serían prácticamente inapreciables, la altura de los cristales permanecería casi constante y el aspecto de los mismos aunque variara no respondería a ninguna base científica puesto que según el recipiente o el movimiento al que se viera sometido el vaso, la cristalización tendría una forma u otra.

5. Bibliografía

Camargo, M., L. Esquivel, E. García-Báez, B. Rizo, (2008), *Laboratorio de química orgánica aplicada. Manual de Prácticas*, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Interdisciplinaria de biotecnología, México D.F.

FitzRoy, R. (1863). *The Weather book: a manual of practical meteorology* (Vol.2), Londres, Longman, Roberts & Green.

Mills, A. (2008). “The chemical weather glass: composition and operation” en *Weather*, Vol. 63,

Rowe, R. C., Sheskey, P.J., Quinn, M. E. (2009). *Handbook of Pharmaceutical Excipients*. 6^a edición. Reino Unido, Pharmaceutical Press.