

Determinación experimental de densidad y porosidad en alimentos sólidos y líquidos

Apellidos, nombre	Talens Oliag, Pau (pautalens@tal.upv.es)
Departamento	Tecnología de Alimentos
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen de las ideas clave

La densidad, o *densidad absoluta*, es una magnitud intensiva que expresa la relación entre la masa y el volumen de una sustancia líquida o de un objeto sólido. Podemos hablar de densidad real o aparente según el objeto presente o no porosidad (fracción de aire ocluido en su interior). En este artículo docente vamos a presentar distintas formas de determinar experimentalmente la densidad y porosidad de un alimento. Además, se describirá en qué casos se está determinando una densidad real y/o una densidad aparente.

2 Introducción

La densidad, o densidad absoluta, es una magnitud intensiva que expresa la relación entre la masa y el volumen de una sustancia líquida o un objeto sólido (ecuación 1). Su unidad, en el Sistema Internacional, es kilogramo por metro cúbico (kg/m^3), aunque frecuentemente también es expresada en g/cm^3 [1]. Cuando hablamos de densidad, es importante diferenciar entre densidad real y densidad aparente. La densidad real viene dada por la relación existente entre la masa de producto y su volumen real, es decir, el volumen que ocupa el objeto sin tener en cuenta el aire presente en su interior. La densidad aparente, es el cociente entre la masa de producto y el volumen aparente del mismo, es decir, el volumen que ocupa el objeto incluyendo el aire ocluido en su interior. La relación entre ambas densidades permite estimar la porosidad del alimento, que no es más que el volumen de aire que hay ocluido en el interior del alimento (ecuación 2). Dado que los alimentos líquidos generalmente carecen de porosidad, el valor de densidad real será igual al valor de densidad aparente. Por el contrario, en alimentos sólidos estos valores podrán ser diferentes o iguales, según el alimento tenga o no tenga aire ocluido en su interior.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\rho - \rho_a}{\rho} \quad (2)$$

3 Objetivo

Con la redacción de este artículo docente se persigue que los alumnos comprendan y adquieran destreza en la determinación experimental y cálculo, a través de los ejemplos presentados, de la densidad real, densidad aparente y porosidad en alimentos.

4 Desarrollo

En el punto 4.1 veremos diferentes formas de determinar experimentalmente la densidad de un alimento en el laboratorio. Veremos que métodos utilizar según se trate de un alimento líquido o sólido diferenciando si la densidad determinada es una

densidad real o densidad aparente. Para el caso de alimentos con aire ocluido en su interior veremos cómo podemos determinar la porosidad del mismo.

En el punto 4.2, y con el fin de adquirir destreza en el cálculo de densidad, veremos un ejemplo real de determinación para alimentos líquidos usando el método del picnómetro.

En el punto 4.3, y con el fin de adquirir destreza en el cálculo de densidades y porosidad, veremos un ejemplo real de determinación para alimentos sólidos

4.1 Determinación experimental de densidad y porosidad de un alimento.

Existen distintas formas para determinar experimentalmente la densidad de un alimento.

Para determinar la densidad de **alimentos líquidos** es muy habitual hacer uso de **picnómetros** y de **areómetros** (figura1). Se use un método u otro, dado que los alimentos líquidos no presentan porosidad, o lo que es lo mismo, aire ocluido en su interior, la densidad determinada será la **densidad real** del alimento.

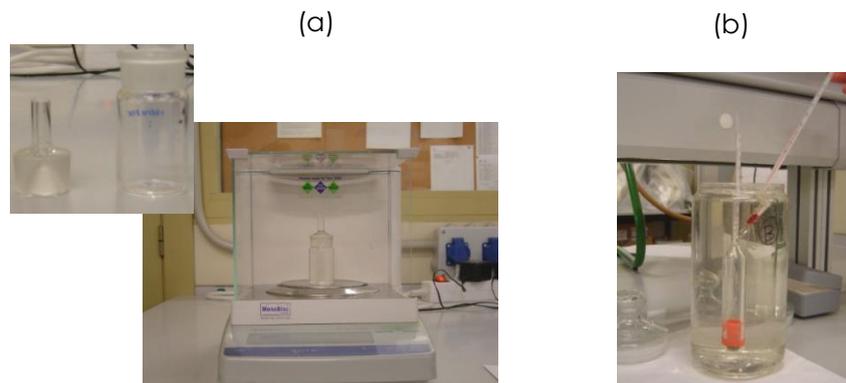


Figura 1. Foto de un picnómetro (a) y de un areómetro (b)

Un **picnómetro** es un recipiente preparado para medir con mucha precisión el volumen que ocupa una determinada cantidad de líquido en su interior. El método del picnómetro se basa en medir con precisión el peso del picnómetro vacío, el peso del picnómetro lleno del alimento líquido y el peso del picnómetro lleno de un líquido referencia, el cuál presenta una densidad conocida (generalmente el líquido de referencia usado es el agua). A través de la masa de líquido de referencia y su densidad, podemos estimar cual es el volumen del picnómetro (ecuación 1), y dado que hemos determinado la masa del alimento líquido que cabe en el picnómetro podemos estimar la densidad que tiene el alimento líquido, nuevamente haciendo uso de la ecuación 1. Una forma más simple de calcularlo es haciendo el cociente entre la masa de alimento y la masa del líquido de referencia, multiplicado por la densidad del líquido de referencia. Dado que la densidad varía con la temperatura, todas las determinaciones deben realizarse a la misma temperatura. Para obtener resultados fiables usando el método del picnómetro se requiere cierta destreza y tener en cuenta algunas precauciones como que el llenado del picnómetro sea correcto y quede

perfectamente enrasado, que no queden burbujas de aire en el interior o gotas de líquido en el exterior del picnómetro.

La medida de la densidad haciendo uso de **areómetros** se basan en la ley de Arquímedes la cual indica que un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo experimenta un empuje vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado [2]. Los areómetros son tubos de vidrio dotados en su parte inferior de un doble ensanchamiento. El de arriba, vacío, y el de abajo más pequeño y lleno de un lastre, que puede ser mercurio o perdigones. De este modo se logra que el centro de gravedad esté muy bajo y el centro de empuje bastante más arriba y, por tanto, que se mantengan verticales al introducirlos en un líquido. Siguiendo el principio de Arquímedes, el areómetro se hundirá hasta que el peso del líquido desalojado iguale al peso del areómetro. Los areómetros presentan una escala que permite determinar la densidad del líquido en el momento que el areómetro queda en equilibrio con el líquido. Los areómetros reciben nombres especiales según del líquido que se trate. Ejemplos de ello serían los lactodensímetros, utilizados para medir la densidad de la leche, sacarómetros utilizados para medir la concentración de sacarosa en una disolución, salómetros utilizados para medir la concentración de sal en una disolución o alcoholómetros utilizados para medir la cantidad de alcohol en una bebida alcohólica.

En el caso de **alimentos sólidos** la densidad suele determinarse a partir de sus dimensiones características, si el objeto presenta una forma regular, utilizando el método de gradientes de densidades o usando el picnómetro.

Dado que muchos alimentos sólidos pueden tener porosidad (aire ocluido en su interior), para estos alimentos podremos determinar tanto la densidad real (si no se tiene en cuenta el aire ocluido en su interior), como la densidad aparente (si tenemos en cuenta el aire ocluido en su interior). Si el alimento carece de porosidad, ambas densidades tendrán el mismo valor.

Para calcular la densidad de un alimento en base a sus **dimensiones características**, bastará con pesar el producto, y posteriormente medir las dimensiones características del producto para calcular su volumen. El cociente entre la masa y el volumen nos permitirá determinar la densidad. Si el alimento es poroso, la determinación será la de la densidad aparente, ya que, por este método, estamos determinando el volumen aparente del producto.

El **método de gradiente de densidades** se basa en construir una columna graduada de distintos líquidos no miscibles con densidades conocidas. El procedimiento consiste en introducir el objeto en la columna, y dejar que se equilibre, de modo que la densidad será exactamente la que corresponda al fluido que se encuentre a esa altura en la columna. El principal problema del método es que es muy lento y que no debe existir interacción entre la muestra y los líquidos de referencia, pero si los líquidos de referencia son adecuados el método es muy preciso. Si el alimento es poroso, la determinación será la de la densidad aparente, ya que, los líquidos son inmiscibles con el alimento, y por tanto no penetran hacia el interior del mismo.

Si se hace uso de un **picnómetro** (figura 1), el fundamento se basa en determinar la masa que desplaza una muestra del alimento en el interior del picnómetro. Para ello se pesa el picnómetro vacío, el picnómetro con la muestra del alimento, el picnómetro con un líquido de referencia y el picnómetro con el líquido de referencia y la muestra, ambos juntos en su interior. La densidad se calculará como el cociente entre la masa de muestra y la masa de líquido de referencia desplazado por la muestra, multiplicado por la densidad del líquido de referencia. Generalmente como líquido de referencia se usa agua, aunque si el producto tiene mucha miscibilidad con el agua se usan otros solventes orgánicos como por ejemplo tolueno. El tolueno presenta una tensión

superficial baja, no tiene tendencia a absorberse a la superficie del alimento y su acción disolvente sobre los constituyentes es muy pequeña. Por otro lado, presenta un alto punto de ebullición, su densidad relativa y viscosidad no cambia con la exposición atmosférica y tiene una densidad muy baja.

Si se trata de un alimento poroso, con el método del picnómetro pueden determinarse tanto la densidad real, como la densidad aparente. Para determinar la densidad real, bastará con extraer el aire del interior del alimento, por ejemplo, colocando el picnómetro en el interior de un desecador y efectuar vacío, con una bomba de vacío.

4.2 Ejemplo de determinación de densidad real de alimentos líquidos usando el método del picnómetro

Como ejemplo veremos el cálculo de la densidad real de una leche, usando agua como líquido de referencia.

Para su determinación, necesitaremos pesar con precisión el peso del picnómetro vacío, el peso del picnómetro con leche y el peso del picnómetro con agua, líquido del cuál conocemos su densidad (por ejemplo, si hacemos las pesadas a 20 °C, se sabe que la densidad del agua a esa temperatura es de 0.998 g/cm³). Pongamos que efectuamos las 3 pesadas, a la temperatura de 20°C, y obtenemos los siguientes valores:

Peso picnómetro vacío: 35.366g

Peso picnómetro con agua: 60.059g

Peso picnómetro con leche: 60.814g

El agua se ha usado como referencia para saber cuál es el volumen del picnómetro (cociente entre la masa de agua que cabe en el interior del picnómetro y la densidad del agua). Como hemos determinado la masa de leche que cabe en el interior de ese picnómetro, ahora de volumen conocido, haciendo uso de la ecuación 1 podemos estimar fácilmente la densidad de la leche.

$$v_{\text{picnómetro}} = \frac{\text{masa}_{\text{agua}}}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{60.814 - 35.366}{0.998} = 24.7 \text{ cm}^3$$

$$\rho_{\text{leche}} = \frac{\text{masa}_{\text{leche}}}{\text{volumen}_{\text{picnómetro}}} = \frac{60.814 - 35.366}{24.7} = 1.029 \text{ g/cm}^3$$

Esto es exactamente lo mismo que el cociente entre la masa de leche y la masa de agua, multiplicado por la densidad del agua.

$$\rho_{\text{leche}} = \frac{\text{masa}_{\text{leche}}}{\text{masa}_{\text{agua}}} \cdot \rho_{\text{agua}} = \frac{60.814 - 35.366}{60.059 - 35.366} \cdot 0.998 = 1.029 \text{ g/cm}^3$$

4.3 Ejemplo de determinación de densidad real, densidad aparente y porosidad de alimentos líquidos, usando el método del picnómetro.

Como ejemplo veremos el cálculo de la densidad aparente, densidad real y porosidad de una manzana. Se usará agua como líquido de referencia, por simplificar el cálculo, y porque a nivel de laboratorio es muy sencillo su manejo, pero dado que la manzana interacciona con el agua sería recomendable usar algún otro líquido orgánico no miscible con el agua, como por ejemplo tolueno.

Para determinar la densidad aparente de la manzana, bastará con usar un trozo de manzana con un tamaño/volumen que pueda introducirse en el interior del picnómetro, y anotar el peso del picnómetro vacío, el peso del picnómetro con la muestra de manzana, el peso del picnómetro con agua y el peso del picnómetro con la manzana y el agua, ambos juntos en su interior.

Pongamos que efectuamos las 4 pesadas, a la temperatura de 20°C, y obtenemos los siguientes valores:

Peso picnómetro vacío: 35.321g

Peso picnómetro con manzana: 59.123g

Peso picnómetro con agua: 59.972g

Peso picnómetro con manzana y agua: 57.235g

La densidad aparente (ρ_a) se calculará como el cociente entre la masa de muestra y la masa de líquido de referencia desplazado por la muestra, multiplicado por la densidad del líquido de referencia.

$$\rho_a = \frac{59.123 - 35.321}{(59.972 - 35.321) + (59.123 - 35.321) - (57.235 - 35.321)} \cdot 0.998 = 0.895 \text{ g/cm}^3$$

Para determinar la densidad real de la manzana, bastará con repetir el procedimiento anterior, sólo que, para tomar el peso del picnómetro con manzana y agua, deberíamos sacar el aire ocluido en el interior de la muestra antes de realizar la pesada. Se puede hacer colocando el picnómetro con la manzana y agua en un desecador conectado a una bomba de vacío y aplicar vacío durante el un tiempo hasta comprobar que ya no sale aire hacia el exterior de la muestra.

Pongamos que efectuamos las 4 pesadas, a la temperatura de 20°C, y obtenemos los siguientes valores:

Peso picnómetro vacío: 35.266g

Peso picnómetro con manzana: 59.736g

Peso picnómetro con agua: 59.824g

Peso picnómetro con manzana y agua: 61.955g

$$\rho = \frac{59.736 - 35.266}{(59.824 - 35.266) + (59.736 - 35.266) - (61.955 - 35.266)} \cdot 0.998 = 1.093 \text{ g/cm}^3$$

Para calcular la porosidad de la manzana bastará con aplicar la ecuación 2.

$$\varepsilon = \frac{\rho - \rho_a}{\rho} = \frac{1.093 - 0.895}{1.093} = 18.1\%$$

5 Cierre

En este objeto de aprendizaje se han expuesto los fundamentos para la determinación experimental de la densidad real y densidad aparente de un alimento. Se han presentado ejemplos reales de determinación, indicando que variables deben tenerse en cuenta a la hora de su determinación experimental.

6 Bibliografía

[1] <http://es.wikipedia.org/wiki/Densidad>

[2] https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Arquímedes