

Evaluación de la absorción de humedad de leche en polvo envasada en diferentes materiales y almacenada a diferentes condiciones de humedad relativa

S.C. Soto-Flores*¹, L.F. Amador-López¹, J.J. Martínez-García¹, M.G. Candelas-Cadillo¹ y J.R. Minjares-Fuentes¹

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Juárez del Estado de Durango., Av. Artículo 123 S/N, Fracc. Filadelfia, 35010, Gómez Palacio, Dgo., México. *rafael.minjares@ujed.mx

RESUMEN

La leche en polvo al ser un producto deshidratado es altamente perecedero cuando se expone a condiciones extremas de almacenamiento. Por esto, el objetivo de este estudio fue evaluar la absorción de humedad de leche en polvo envasada en diferentes materiales de envase y almacenada en diferentes condiciones de humedad relativa. Aproximadamente 5 g de leche en polvo fueron envasados en diferente material de envase (papel, plástico y aluminio) y almacenados a tres diferentes condiciones de humedad relativa (11%, 32% y 78%) a 25 °C. El incremento de peso fue monitoreado cada 8 h durante 5 días. Una muestra expuesta directamente a la condición de almacenamiento fue tomada como testigo. La leche envasada en papel presentó un mayor incremento de peso en las distintas humedades de almacenamiento, alcanzando un incremento de aproximadamente 30%, superando en algunos casos a la muestra testigo, lo cual podría ser atribuido a la absorción de agua por parte del material. Por el contrario, la leche envasada en aluminio fue la que presentó la menor tasa de absorción de humedad (1.16×10^{-4} g/g·h). Estos resultados demuestran que el aluminio extiende la vida útil de un producto deshidratado debido a la baja tasa de absorción de agua.

Palabras clave: leche en polvo, tiempo de almacenamiento, material de empaque, almacenamiento de alimentos, vida de anaquel.

ABSTRACT

Powdered milk, being a dehydrated product, is highly perishable when exposed to extreme storage conditions. Therefore, the objective of this study was to evaluate the moisture absorption of powdered milk packaged in different packaging materials and stored in different relative humidity conditions. Approximately 5 g of powdered milk were packed in different packaging materials (paper, plastic and aluminum) and stored at three different relative humidity conditions (11%, 32% and 78%) at 25 °C. Weight gain was monitored every 8 h for 5 days. A sample directly exposed to the storage condition was taken as a control. The milk packaged in paper presented a greater increase in weight in the different storage moisture, reaching an increase of approximately 30%, surpassing in some cases the control sample, which could be attributed to the absorption of water by the material. On the contrary, the milk packaged in aluminum was the one that presented the lowest moisture absorption rate (1.16×10^{-4} g/g·h). These results demonstrate that aluminum extends the shelf life of a dehydrated product due to the low rate of water absorption.

Keywords: milk powder, storage time, packing material, food storage, shelf-life.

INTRODUCCIÓN

El principal propósito del envasado de alimentos es mantener la inocuidad y la calidad de los alimentos antes de que lleguen al consumidor, actuando como una barrera entre los alimentos y el ambiente exterior. El tipo de material de embalaje utilizado dependerá del costo, propiedades de barrera y conveniencia, además de su funcionalidad (Gopirajah & Anandharamakrishnan, 2017).

Debido a que los productos en polvo envasados se almacenan, distribuyen y comercializan en humedades superiores al 20%, los productos tienden a sufrir absorción de humedad aumentando su contenido de humedad durante la vida útil, lo que afecta en los atributos de calidad física, química y biológica de los productos de leche en polvo. El modo de deterioro mayor se rige por interacciones entre las características del producto, el envasado y el entorno de almacenamiento (Wang & Lee, 2019). La absorción de agua por los productos secos, lleva a la aglomeración de productos en polvo volviéndose pegajosos o formando cristalización al rebasar determinado nivel, incluso crea condiciones que permiten el crecimiento de microorganismos (Langowski, 2017).

Para conservar adecuadamente los productos pulverizados, como la leche en polvo, se debe tener un amplio conocimiento de las características del producto las cuales suelen estar influenciadas en gran medida por el método de secado y las variadas condiciones de procesamiento (Brousse *et al.*, 2012; Pugliese *et al.*, 2017). Por lo tanto es importante analizar la tasa de absorción de humedad del medio ambiente hacia el producto en polvo para realizar con mayor precisión la vida de anaquel de dichos productos a fin de ofrecer un producto de calidad e inocuo. Basado en todo esto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la absorción de humedad de leche en polvo envasada en diferentes materiales de envase y almacenada en diferentes condiciones de humedad relativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

La materia prima usada en este estudio fue leche en polvo adquirida en un centro comercial de la región, con un contenido inicial de humedad de $1.68 \pm 0.04\%$.

Envasado y almacenamiento de la muestra

Aproximadamente 5 g de leche en polvo fueron envasados en bolsas de diferente material (papel Kraft, aluminio y polietileno). Posteriormente, las muestras fueron almacenadas en diferentes condiciones de humedad relativa (87%, 32% y 11%). Para esto, se usó un desecador de vidrio que contenía una solución de sal para lograr la humedad relativa dentro del desecador: NaCl (87%), MgCl₂ (32%) y LiCl (11%), a 25 °C. La muestra de leche en polvo sin envasar fue almacenada a las condiciones previamente descritas, fue tomada como testigo. La absorción de humedad fue determinada mediante el análisis gravimétrico cada 8 h durante 5 días de almacenamiento. Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

Cinética de la absorción de agua

Entre los modelos más utilizados en la cinética de absorción de agua, se puede mencionar el propuesto por Pilosof *et al.* (1985), este modelo con la finalidad de describir la cinética de absorción de agua de alimentos en polvos, propone la ecuación de dos parámetros:

$$q = \frac{Q \cdot t}{B + t} \quad (1)$$

Donde q es cantidad de agua absorbida en el tiempo t (g agua/g muestra), Q la máxima capacidad de absorción de agua (g agua/g muestra), B el tiempo (h) en que se absorbió la mitad de la máxima capacidad de absorción ($Q/2$).

La tasa de absorción de agua puede derivarse diferenciando la Ec. 1 con respecto al tiempo, lo que da como resultado:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{1}{B \cdot Q} (Q - q)^2 \quad (2)$$

Donde $(Q - q)$ es el factor de no saturación porque representa la cantidad de agua que aún debe ser absorbida para alcanzar el equilibrio y $(B \cdot Q)^{-1}$ la constante de velocidad de específica K , por lo tanto, K puede calcularse como:

$$K = (B \cdot Q)^{-1} \quad (3)$$

La velocidad de absorción de agua inicial (g agua/g muestra \cdot h) viene dada por la Ec.2, siendo $t = 0$

$$R_0 = \frac{Q}{B} \quad (4)$$

Los valores Q y B se obtuvieron a partir de la Ec. 2 y los datos experimentales se analizaron mediante regresión no lineal.

Análisis estadístico

Se hicieron gráficas de las cinéticas y se analizaron usando el modelo de Pilosof en el software estadístico SigmaPlot, versión 7.0. Se utilizó un Análisis de varianza (ANOVA) de modelo lineal general con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ para evaluar el efecto del material de envase y el tiempo sobre la absorción de humedad. Además, se aplicó un ANOVA de un solo factor para la comparación de medias de la ganancia del peso de cada tratamiento (material de envase) se realizaron mediante la prueba Tukey en Minitab 19.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinética de absorción de agua de leche en polvo

Los resultados del análisis gravimétrico de la absorción de agua de las muestras de leche en polvo almacenada en diferentes condiciones humedad, se muestran en la Figura 1-3. Como se puede observar, la absorción de agua se incrementa al aumentar el tiempo de almacenamiento. De manera general, la absorción de agua de leche en polvo presenta un comportamiento exponencial. Como se muestra en las Figuras 1-3, la muestra envasada en papel kraft (cartón) es la que absorbe la mayor cantidad de agua del ambiente indistintamente de la humedad relativa a la que se almacene, mientras que la muestra envasada en aluminio absorbe la menor cantidad de agua del ambiente. Es importante destacar que en condiciones de humedad relativa intermedia ($MgCl_2$: 32%), la muestra envasada en papel y plástico presentan un comportamiento similar en las primeras 60 h de almacenamiento.

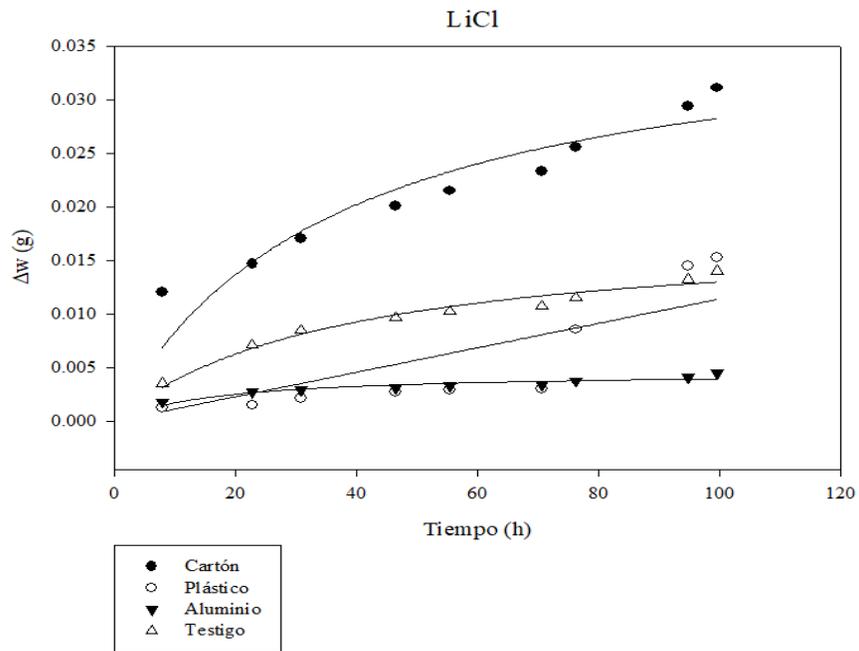


Figura 1. Cinética de absorción de agua de leche en polvo almacenada en una humedad relativa de 20%.

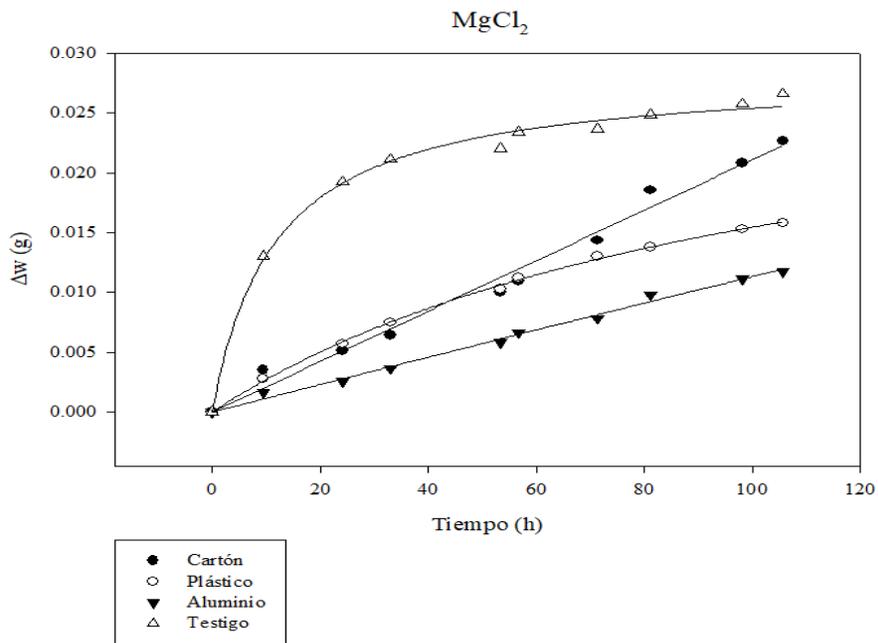


Figura 2. Cinética de absorción de agua de leche en polvo almacenada en una humedad relativa de 32%.

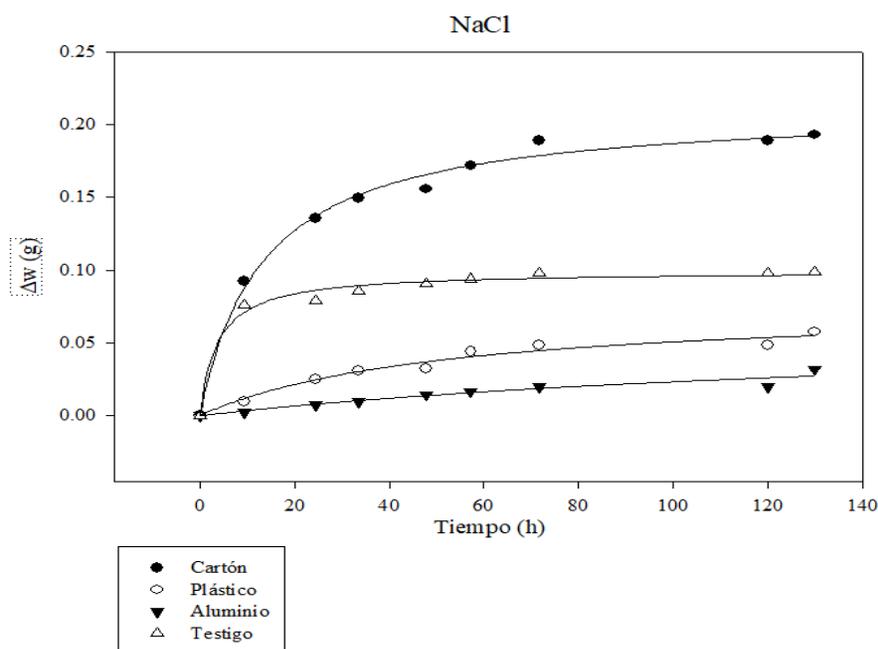


Figura 3. Cinética de absorción de agua de leche en polvo almacenada en una humedad relativa de 87%.

Según Sopade *et al.* (2007) el modelo de Peleg, Pilosof – Boquet – Batholomai y Singh-Kulshrestha son matemáticamente el mismo modelo, y cualquiera de ellos puede usarse para modelar comportamientos de sorción de materiales alimentarios y no alimentarios por lo que, en la Tabla 1 se presentan los valores de los parámetros obtenidos por regresión no lineal del modelo cinético propuesto por Pilosof *et al.* (1985).

Tabla 1. Parámetros cinéticos del modelo de Pilosof en los diferentes tratamientos aplicados.

HR	Tratamiento	Q (g agua/g muestra)	B (h)	K	R_0 (g agua/g muestra·h)	R^2
20% (LiCl)	Testigo	1.78E-02	3.70E+01	1.5192	4.81E-04	0.9812
	Plástico	2.39	2.10E+06	1.9943E-09	1.14E-04	0.8364
	Aluminio	4.60E-03	1.68E+01	12.9727	2.75E-04	0.9318
	Cartón	3.85E-02	3.63E+01	0.7152	1.06E-03	0.9247
32% (MgCl ₂)	Testigo	2.83E-02	1.16E+01	3.0438	2.44E-03	0.9969
	Plástico	3.22E-02	1.09E+02	0.2855	2.96E-04	0.9995
	Aluminio	5.09E-01	4.40E+03	0.0004	1.16E-04	0.997
	Cartón	8.41	3.99E+06	2.9795E-10	2.11E-04	0.9928
87% (NaCl)	Testigo	9.95E-02	3.77E+00	2.6632	2.64E-02	0.9926
	Plástico	7.70E-02	5.17E+01	0.2513	1.49E-03	0.9843
	Aluminio	6.25E-02	1.68E+02	0.0953	3.72E-04	0.9582
	Cartón	2.12E-01	1.33E+01	0.3536	1.59E-02	0.996

La cinética de absorción se evaluó a través del incremento de peso de la leche en polvo en el tiempo. Los datos experimentales se ajustaron al modelo de Pilosof con un $R^2 > 92\%$ para cada tratamiento confirmando que es un modelo que describe muy bien el incremento del peso de la muestra en el tiempo. El modelo establece que la mayor capacidad de absorción de agua es para los tratamientos de una HR de 87%, esto afirma lo descrito por Langowski, (2017) que establece que si un producto inicialmente seco se expone a aire de mayor humedad relativa, se establecerá un mayor valor de su contenido de agua, acompañado de una mayor actividad de agua.

Como se puede observar en la Tabla 1, la leche envasada en material de papel muestra una mayor tasa de absorción de humedad del medio ambiente, siendo incluso mayor a la muestra testigo. Esto podría ser atribuido a la composición del material, ya que el papel es un material que es capaz de absorber la humedad del medio, siempre y cuando la exposición sea por tiempos prolongados y en condiciones de alta humedad. Por el contrario, las muestras envasadas en aluminio y plástico mostraron comportamientos similares en las primeras horas del estudio y en condiciones de humedad superiores al 30%.

El modelo lineal general aplicado para cada HR de la ganancia del peso vs el tiempo de almacenamiento y el material de empaque tienen diferentes resultados (Tabla 2):

Tabla 2. Valores de *p* para el material de envase y tiempo en cada uno de los ambientes de almacenamiento.

Humedad Relativa	Material de envase	Tiempo
20% (LiCl)	0.000*	0.895
32% (MgCl ₂)	0.000*	0.012*
87% (NaCl)	0.000*	0.000*

* Diferencia significativa a $p < 0.05$

De acuerdo al análisis de Tukey, la comparación de medias muestra que hay diferencia significativa entre el cartón y los demás materiales de envase, el plástico y el testigo tienen un comportamiento similar entre sí, y el plástico y el aluminio también tienen un comportamiento similar en este caso.

De acuerdo a Kerry (2012) dentro de los usos finales del papel de aluminio como material de embalaje se encuentra el sistema cerrado para polvos secos como es el caso de la leche en polvo con un bajo nivel de contenido de humedad, esto por su capacidad de impermeabilidad que permite que el producto mantenga sus características fisicoquímicas y por lo tanto su vida útil sea más extensa.

CONCLUSIÓN

El presente estudio estuvo centrado en la evaluación de la absorción de humedad de leche en polvo envasada en diferentes materiales de envase y almacenada en diferentes condiciones de humedad relativa. En este contexto, el material de envase fue decisivo para la permeación de humedad ambiental hacia el producto, observándose mayores tasas de absorción en leche envasada en papel. Así mismo, el plástico mostró ser un material de envase eficiente a humedades relativas superiores a 30%, mientras que el envase a base de aluminio conservó por mayor tiempo la humedad inicial de la leche en polvo, independientemente de la humedad relativa a la que se almacenara el producto. No obstante, sería conveniente más estudios para valorar la posible interacción del material de envase y el producto cuando se almacena en condiciones de alta humedad relativa (>70%).

BIBLIOGRAFÍA

- Brousse, M. M., Nieto, A., Linares, A., & Vergara, M. (2012). Cinética de adsorción de agua en purés deshidratados de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 080-096.
- Gopirajah, R., & Anandharamakrishnan, C. (2017). Packaging of Dried Dairy Products. *Handbook of Drying for Dairy Products*.
- Kerry, J. (2012). Aluminium foil packaging. *Packaging Technology*, 163–177. <https://doi.org/10.1533/9780857095701.2.163>
- Langowski, H.-C. (2017). Shelf Life of Packed Food and Packaging Functionality. In H.-C. L. Preeti Singh, Ali Abas Wani (Ed.), *Food packaging materials : testing & quality assurance*, 12–60.
- Pilosof, A. M. R., Boquet, R., & Bartholomai, G. B. (1985). Kinetics of Water Uptake by Food Powders. *Journal of Food Science*, 50(1), 278–279. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb13334.x>
- Pugliese, A., Cabassi, G., Chiavaro, E., Paciulli, M., Carini, E., & Mucchetti, G. (2017). Physical characterization of whole and skim dried milk powders. *Journal of Food Science and Technology*, 54(11), 3433. <https://doi.org/10.1007/S13197-017-2795-1>
- Sopade, P. A., Xun, P. Y., Halley, P. J., & Hardin, M. (2007). Equivalence of the Peleg, Pilosof and Singh-Kulshrestha models for water absorption in food. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 730–734. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.007>
- Wang, H. J., & Lee, D. S. (2019). Packaging and the Shelf Life of Milk Powder Products. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22647-4>
- Wexler, A., & Hasegawa, S. (1954). Relative humidity-temperature relationships of some saturated salt solutions in the temperature range 0 degree to 50 degrees C. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 53(1), 19. <https://doi.org/10.6028/jres.053.003>