

## ESTABILIZACION DE ALIMENTOS POR DESHIDRATAACION

R.J. Aguerre<sup>1,2</sup>, M.P. Tolaba<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Morón, (CONICET) E-mail: [rjaguerre@gmail.com](mailto:rjaguerre@gmail.com)

<sup>2</sup> Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján, (6700) Luján, Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup> Departamento de Industrias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, Ciudad Universitaria, (1428) Buenos Aires, Argentina.

### RESUMEN

Basado en la teoría de BET modificada, se obtuvo una ecuación que permite calcular el grado de llenado de cada capa. También se ha obtenido una ecuación para evaluar el máximo cubrimiento monomolecular del alimento y se analizó para relacionar este parámetro al valor de monocapa. El concepto de cubrimiento monomolecular fue utilizado para formular a un modelo simple que puede usarse para predecir la velocidad de oxidación de lípidos de un alimento en función de la actividad de agua.

### INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la actividad de agua al valor de la monocapa es de importancia debido a los problemas relacionados a la estabilidad de alimentos durante el almacenamiento. Salwin (1959) encontró que el nivel de humedad al cual los alimentos tienen una estabilidad del almacenamiento óptima es cercano a la humedad de monocapa calculado de la ecuación de BET.

Salwin postuló que esta cantidad de agua puede formar una película protectora sobre las partículas de alimento, previniendo así a la exposición al oxígeno. Sin embargo, existe evidencia experimental de que la humedad necesaria para la estabilidad óptima no siempre coincide con el valor de monocapa de BET. Strolle y Cording (1965) y García Gómez y col.(1983), entre otros, trabajando con papa deshidratada y productos oleaginosos, respectivamente, han encontrado que la humedad óptima para asegurar estabilidad durante el almacenamiento difiere del valor de monocapa dado por la teoría de BET. Por otro lado, la interpretación dada por Salwin (1959) acerca del efecto protector de la monocapa ha recibido algunos comentarios críticos por Labuza (1968). Según este autor el aumento en la velocidad de oxidación por encima de la humedad

óptima correspondiente al valor de monocapa de BET, no está de acuerdo con la teoría de capa de agua protectora.

El objetivo de este trabajo fue reinterpretar la teoría postulada por Salwin (1959) a la luz de teoría de BET modificada (Aguerre y col., 1989). Se formularon algunos conceptos derivados de esta teoría en las condiciones matemáticas. Basado en estos conceptos, un modelo simple fue postulado para describir la velocidad de oxidación de lípidos respecto a la actividad de agua.

## METODOLOGIA

Según la teoría de adsorción multicapa desarrollada por Brunauer, Emmett y Teller (1938), es posible calcular la humedad total adsorbida en cada capa como una función de actividad de agua. En este modelo, la superficie de adsorción se divide en partes de área  $S_0, S_1, \dots, S_j$ , cubiertas con 0, 1, 2, ... , j, capas de adsorbato. Entonces puede expresarse que:

$$\frac{V_i}{V_m} = \frac{\sum_{j=i}^{\infty} S_j}{\sum_{j=0}^{\infty} S_j} \quad (1)$$

donde  $V_i$  es el volumen total adsorbido en la capa  $i$  y  $V_m$  es el volumen adsorbido cuando toda la superficie se cubre con una capa del monomolecular de adsorbato.  $S_j$  tiene el mismo significado que en la teoría de BET y su expresión es  $S_j = CS_0x^j/j$  (Aguerre y col., 1989).

Siguiendo el esquema de BET, el volumen total adsorbido  $V$  es:

$$\frac{V}{V_m} = \frac{\sum_{j=1}^{\infty} jS_j}{\sum_{j=0}^{\infty} S_j} \quad (2)$$

Resolviendo las sumatorias de la ecuación (2) se obtiene:

$$\frac{V}{V_m} = \frac{Cx}{(1-x)(1-C \ln(1-x))} \quad (3)$$

donde  $x$  es la actividad de agua y  $C$  es una constante.

La ecuación (3) puede separarse en dos términos:

$$\frac{V}{V_m} = \underbrace{\frac{-C \ln(1-x)}{1-C \ln(1-x)}}_a + \underbrace{\frac{C[x+(1-x)\ln(1-x)]}{(1-x)(1-C \ln(1-x))}}_b \quad (4)$$

El término (a) representa la cantidad total de adsorbida de agua en la primer capa, mientras que el término (b) representa la cantidad adsorbida a partir de la segunda capa. Las expresiones (a) y (b) se presentan en la Fig. 1 junto con la ecuación (3) correspondiente. Puede observarse que el llenado de la primer capa predomina hasta  $x \approx 0.72$ , mientras un efecto opuesto ocurre a actividades de agua más altas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Se observa que cuando  $V = V_m$ , la actividad de agua correspondiente ( $x_m$ ) se relaciona con la constante  $C$  de acuerdo con la siguiente expresión:

$$C = \frac{1-x_m}{x_m + (1-x_m)\ln(1-x_m)} \quad (5)$$

De este resultado es posible calcular la cantidad de adsorbato que forma la primer capa, combinando esta ecuación con el término (a) de la ecuación (4). Puede demostrarse fácilmente que

$$\frac{V_1}{V_m} = 1 - x_m \quad (6)$$

Este resultado se muestra en la Figura 1, dónde puede verse que para  $x = x_m$  el cubrimiento proporcionado por la primera capa es parcial, siendo total sólo a  $x = 1$ .

El cubrimiento monomolecular ( $V_{mc}$ ), se definió como la cantidad de agua adsorbida que forma una capa del monomolecular. Esta cantidad está dada por la ecuación siguiente:

$$\frac{V_{mc}}{V_m} = \frac{S_1}{\sum_{j=0}^{\infty} S_j} = \frac{Cx}{1 - C \ln(1-x)} \quad (7)$$

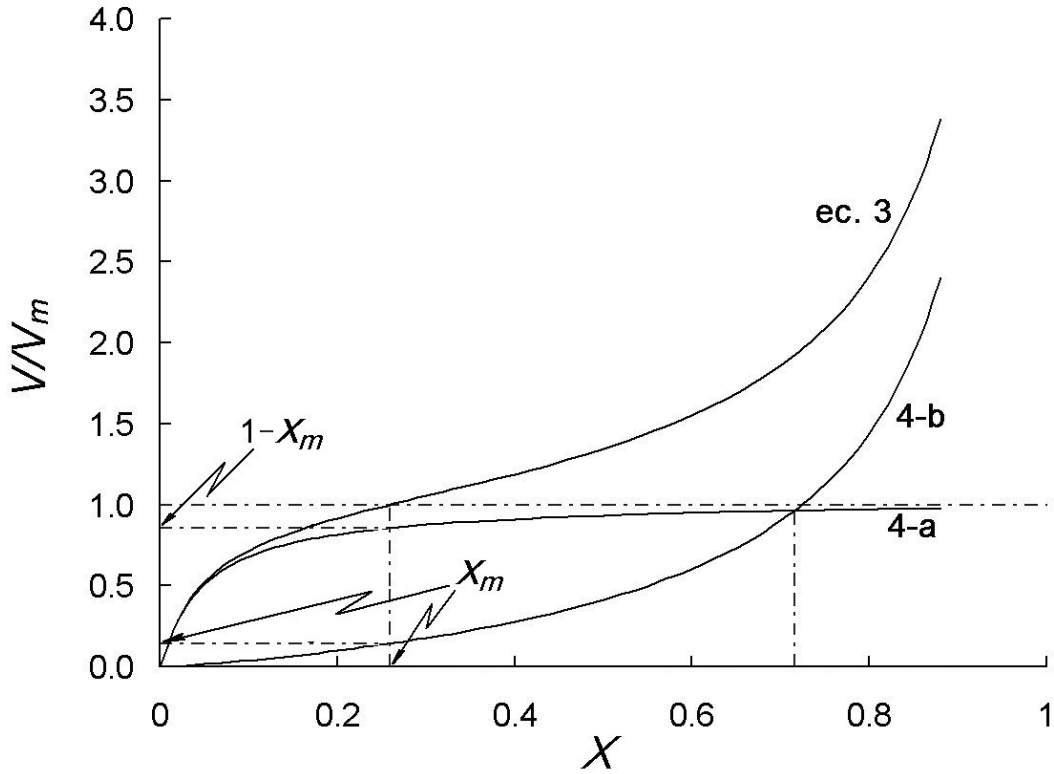


Fig. 1 Representación de la ecuación (3) y sus componentes, ecuación (4), términos (a) y (b) para  $C = 20$ .

El máximo cubrimiento monomolecular, máximo de la ecuación (7), conduce a la expresión:

$$C = \frac{1 - x_{mc}}{x_{mc} + (1 - x_{mc}) \ln(1 - x_{mc})} \quad (8)$$

Que coincide con la ecuación (5), por lo que puede concluirse que el cubrimiento monomolecular se alcanza en  $x = x_m$ . En la Figura 2 se representa la ecuación (7) para diferentes valores de la constante  $C$ . La línea discontinua está definida por la siguiente ecuación:

$$\left. \frac{V_{mc}}{V_m} \right|_{\max} = 1 - x_m \quad (9)$$

qué da el cubrimiento monomolecular máximo para diferentes valores del C. Puede verse que el máximo se incrementa con el C, mientras la actividad de agua que corresponde a este máximo disminuye.

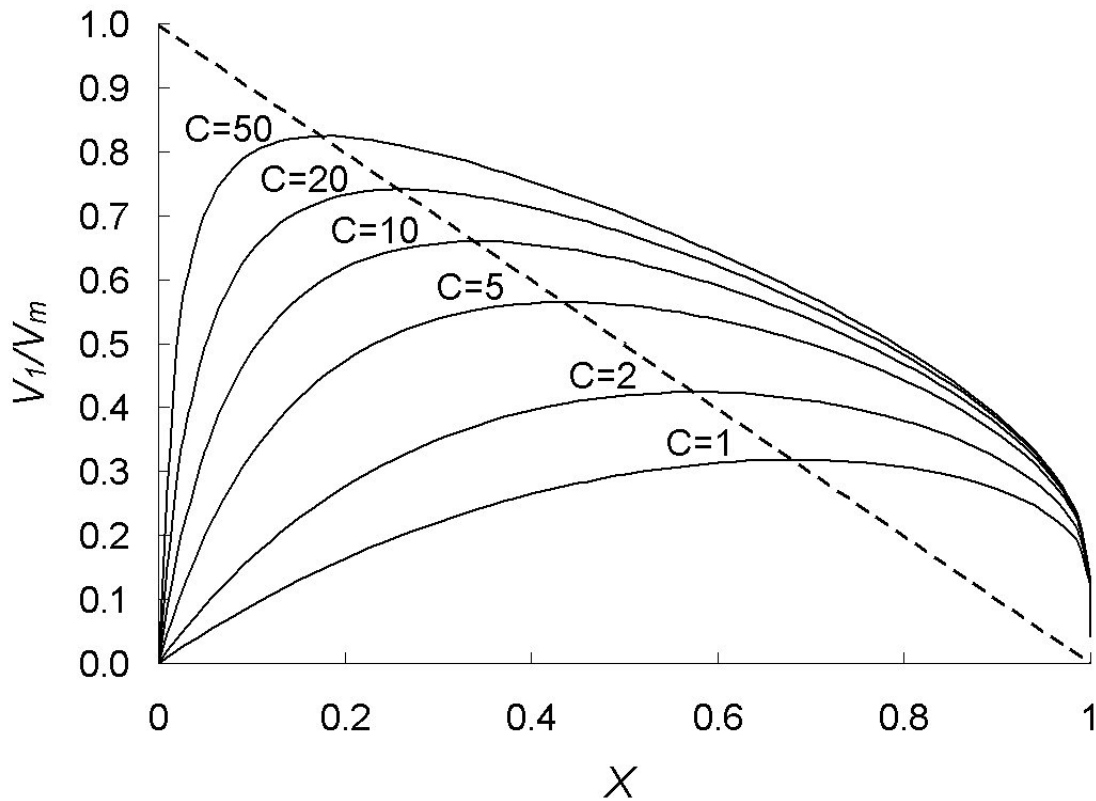


Fig.2 Variación de  $V_{mc}$  con la actividad de agua para diferentes valores de la constante C

### CINETICA DE OXIDACION

La teoría de Salwin (1959) se reinterpretará ahora, aplicando el concepto de cubrimiento monomolecular. En particular, se analizará la cinética de oxidación de lípidos; éste es un proceso que normalmente ocurre en los alimentos durante el almacenamiento. Este tipo de reacción muestra un mínimo en la velocidad de reacción cerca del valor de humedad de monocapa (Labuza, 1968; Karel y col 1975)

En este trabajo se supone que el efecto protector ante el ataque por oxígeno es debido al cubrimiento monomolecular. Por consiguiente, el proceso de la oxidación se producirá sólo en las superficies que están totalmente secas o cubiertas con dos o más capas de agua. La velocidad de la reacción total,  $r$ , puede expresarse como:

$$r = r_d \frac{1}{1 - C \ln(1-x)} + r_h \frac{C[1-x - \ln(1-x)]}{1 - C \ln(1-x)} \quad (10)$$

donde  $r_d$  y  $r_h$  son las velocidades de reacción en la superficie seca y la superficie humectada con dos o más capas respectivamente. Los factores de peso en la ecuación

(10) corresponden a las partes de la superficie dónde el proceso de oxidación tiene lugar. La variación de  $r$  con la actividad de agua se muestra en Fig. 3, para diferentes relaciones de  $r_d / r_h$ . Debe señalarse que la forma de estas curvas está de acuerdo, en general, con aquéllas informadas en la bibliografía para la oxidación de lípidos (Labuza, 1968; Karel y col., 1975; Quast y col., 1972). Las curvas mostradas en la Fig. 3 presentan un mínimo. El valor de este mínimo, es decir, la actividad de agua para que la velocidad de oxidación es mínima, puede representarse mediante una recta (línea discontinua en la figura 3).

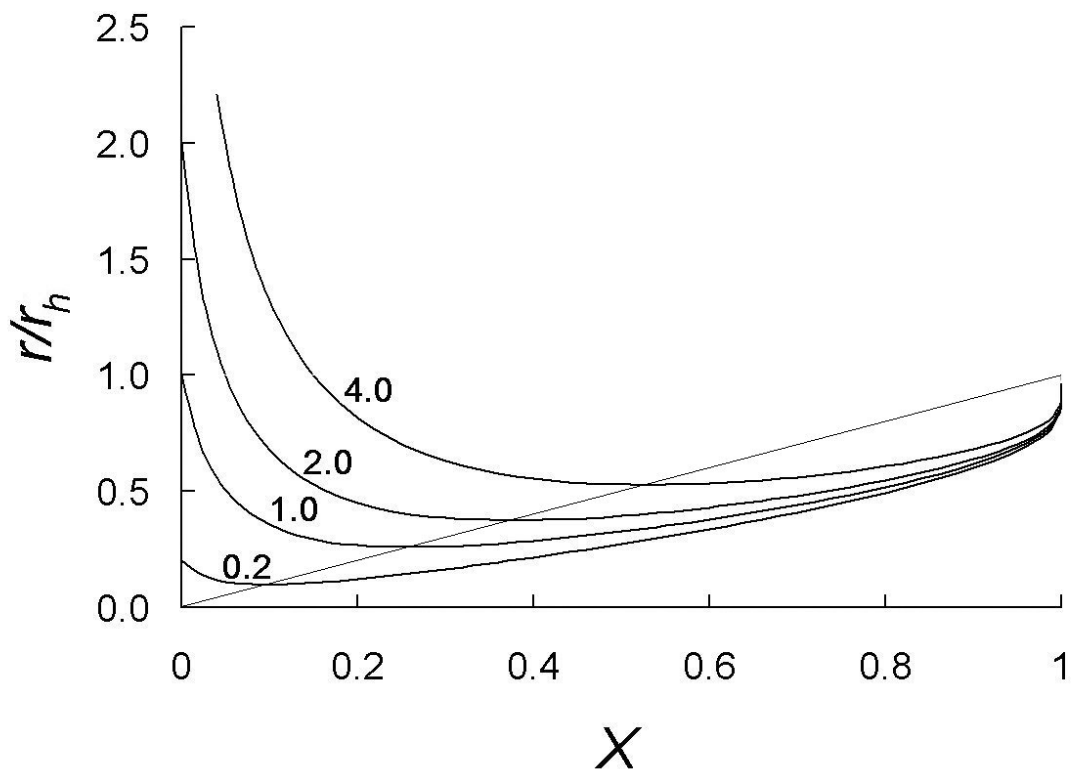


Figura 3 Variación de la velocidad de reacción con la actividad de agua para diferentes valores de  $r_d / r_h$  ( $C = 20$ )

### CONCLUSIONES

Como resultado de la ecuación (10), la actividad de agua que corresponde a la velocidad de reacción mínima depende de la relación  $r_d/r_h$ . Puede verse que este mínimo sólo aparece al valor de monocapa cuando el  $r_d = r_h$ . Como se muestra en la Fig. 3, el mínimo aparece a la derecha de  $x_m$  cuando  $r_d > r_h$ , y a la izquierda cuando  $r_d < r_h$ . En otros términos, la velocidad de reacción mínima puede ocurrir a actividades de agua mayores o menores que el monocapa. Estos resultados, junto con la teoría de la película

protectora de Salwin (1959), explicaría los resultados experimentales obtenidos por distintos autores (Strolle y Cording. 1965; Garcia Gomez y col. 1983) que indican que la estabilidad óptima de algunos alimentos no siempre coinciden con la humedad de monocapa.

## REFERENCIAS

- AGUERRE, R.J., SUAREZ, C., VIOLLAZ, P.E.- *New BET type multilayer sorption isotherms. Part I: Theoretical derivation of the model.*- Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie/FST 22, 188-191 (1989)
- BRUNAUER, S., EMMETT, P.H. y TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*, 68, 309-319 (1938)
- GARCIA GOMEZ, R.M., CANO MUNOZ, G., CONTRERAS CANO, J. y HERMIDA BUN, J.R. *Rivista /italiana delle Sostanze Grasse*, 60, 201-204 (1983)
- GENOT, B. Some remarks on the mathematical nature of the BET equation and presentation of a new method of determination of  $V_{mf}$  with a direct demonstration of this quantity (Point M). *Journal of Colloid and Interphase Science*, 50, 413-418 (1975)
- KAREL, M., OWEN, R.F. y LUND, D.B. *Principles of Food Science. Part II: Physical Principles of Food Preservation.* Marcel Dekker Inc., pp. 255, 256 (1975)
- LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. *Food Technology*, 22, 263-272 (1968)
- QUAST, D.G., KAREL, M. y RAND, W.M. Development of a mathematical model for oxidation of potato chips as a function of oxygen pressure, extent of oxidation and equilibrium relative humidity. *Journal of Food Science*, 37, 673-678 (1972).
- SALWIN, H. Defining minimum moisture contents for dehydrated foods. *Food Technology*, 13, 594--595 (1959)
- STROLLE, E.O. y CORDING, 1., JR. Moisture equilibria of dehydrated mashed potato flakes. *Food Technology*, 19, 171-173 (1965)