

Rehidratación de frutos de la Rosa rubiginosa secados con aire caliente

Ohaco Elizabeth H.¹; De Michelis Antonio²; Lozano Jorge E.³

¹Universidad Nacional del Comahue - FATA. Villa Regina, Río Negro, Argentina.

²Conicet-INTA AER El Bolsón. Argentina.

³Plapiqui (UNS). Bahía Blanca. Argentina.

Los autores son miembros del CONICET / ademichelis@bariloche.inta.gov.ar



Resumen

El objetivo de este trabajo es evaluar la efectividad de un tratamiento físico previo al secado de los frutos de *Rosa rubiginosa* (rosa mosqueta), a través de dos modelos matemáticos, sobre la cinética de rehidratación. El pretratamiento consistía en realizar tres perforaciones superficiales de 1mm por fruto en la zona ecuatorial y en puntos equidistantes. El secado se efectuó en un equipo experimental con flujo de aire vertical bajo las siguientes condiciones de trabajo: velocidad de aire de 5m/s, 5% de humedad relativa y a distintas temperaturas: 60, 70 y 80°C; comparando con muestras sin pretratar. Se utilizaron dos modelos empíricos para evaluar la cinética de rehidratación: Peleg y Weibull. Los parámetros cinéticos de ambos modelos empíricos (k_1 y β) muestran el mismo comportamiento: aumentan a medida que disminuye la temperatura de rehidratación, tanto en frutos sin tratamiento como en frutos pretratados, independientemente de la temperatura de deshidratación. Esto significa que a mayor temperatura de rehidratación los frutos de rosa mosqueta, pretratados o no, tienen una mayor facilidad de absorber agua. De acuerdo a los resultados del análisis estadístico, los dos modelos que se utilizaron son adecuados para describir la cinética de rehidratación de los frutos de rosa mosqueta: sin tratamiento y pretratados mecánicamente.

Sin embargo, y como consecuencia de la sobreabsorción de agua mediante fenómenos no difusionales, debido a la estructura de estos frutos, la validez de los modelos para estimar por ejemplo: los tiempos de rehidratación, debe acotarse a valores de contenido de humedad del producto rehidratado, en base seca, entre 0,1 y 1,1; ya que las humedades de equilibrio (X_e) obtenidas con los modelos empleados son mayores incluso que la humedad inicial de las muestras frescas utilizadas en los ensayos.

Palabras clave: pretratamiento, rosa mosqueta, rehidratación, secado, modelado.

Introducción

En el caso de los alimentos deshidratados, para asegurar propiedades aceptables del producto ya reconstituido se deben conocer la cinética y el comportamiento de los mismos durante la rehidratación. En el proceso de rehidratación se involucran dos flujos de masa en contracorriente, un flujo de agua de la solución de rehidratación hacia el producto, y un flujo de solutos de los productos alimenticios hacia la solución (Giraldo *et al.*, 2006). La rehidratación es un proceso complejo cuyo objetivo es el reestablecimiento de las propiedades del material fresco, cuando un producto seco está en contacto con el agua (Lewicki, 1998; Falade y Abbo, 2007). Algunos estudios apuntan a que la habilidad del material seco para rehidratarse depende de las condiciones de la rehidratación, tales como: temperatura, tiempo y cantidad de agua presente para la rehidratación; sin embargo, no hay consistencia en el procedimiento utilizado o en la nomenclatura. La temperatura afecta a la velocidad de absorción de agua, ya que las velocidades aumentan a medida que lo hace la temperatura, pero temperaturas muy altas provocan una rápida destrucción de la membrana celular. Así, Ogwal y Davis (1994) observaron en la rehidratación de alubias que el tiempo requerido para alcanzar la capacidad máxima de absorción disminuía a temperaturas elevadas. Sin embargo, Sopade *et al.* (1992) en productos como maíz, mijo y sorgo no observaron un efecto significativo de la temperatura sobre la capacidad máxima de absorción de agua durante la rehidratación, lo que demuestra que cada producto se

comporta de una manera distinta debido a las características de su matriz estructural y al estado en que ésta se encuentre. Investigaciones realizadas con el fin de relacionar la duración y la severidad de los tratamientos durante el secado convectivo con el grado y la velocidad de rehidratación mostraron una mayor velocidad de rehidratación y mayor capacidad de absorción al disminuir el tiempo de secado (McMinn y Magee, 1997). El menor tiempo de tratamiento supone un menor encogimiento de las muestras y por lo tanto, la presencia de más o menos espacios intercelulares que inducen, eventualmente, un aumento en la velocidad de rehidratación.

Los objetivos de este trabajo son: 1) Analizar cómo influyen la temperatura del aire de secado durante la deshidratación de frutos de rosa mosqueta con y sin tratamiento previo al secado, y la temperatura del agua de rehidratación sobre el proceso de rehidratación de estos frutos. 2) Proponer, en base a modelos ya de-sarrollados, la cinética de rehidratación para estos frutos.

Materiales y métodos

Materia prima

Los frutos de rosa mosqueta (*Rosa rubiginosa*), cosechados a mano en El Bolsón - Río Negro, se mantuvieron refrigerados a 2°C y 90% de humedad relativa hasta el momento de efectuar los diferentes pre-tratamientos y posterior secado. El contenido inicial de humedad de los frutos frescos fue de $53,9 \pm 3,3$ % en base húmeda y se determinó por el método de secado en estufa de aire a 102°C hasta peso constante, por triplicado.

Pretratamiento

Se realizaron tres perforaciones por fruto en forma manual con un punzón metálico de 1,11 mm de diámetro, en la zona ecuatorial y en puntos equidistantes del fruto.

Procedimiento de secado

Tanto los frutos sin tratamiento como los pretratados fueron distribuidos uniformemente dentro de una cesta perforada, parte del equipo de secado experimental, de 22,5 cm de diámetro y 10 cm de altura, formando una sola capa. La cesta se colocaba o removía en forma lateral con facilidad, pudiendo cerrarse la conducción con el uso de burletes para evitar fugas de aire con la bandeja insertada, para permitir la pesada periódica de la muestra. Los frutos se deshidrataron enteros, sin pedúnculo, en un equipo experimental de secado de ciclo cerrado, con aire forzado, descrito en detalle en Ohaco *et al.*, (2009), que permitió regular y controlar las variables operativas. Tanto la temperatura como la velocidad y contenido de humedad del aire se midieron a la entrada de la cámara de secado.

Experiencias de secado

Se trabajó con frutos de rosa mosqueta sin tratamiento y perforados, se llevaron a cabo distintas experiencias variando la temperatura del aire de secado: 60, 70 y



COTNYL S.A.
COMPROMISO CON LA CALIDAD



El especialista en termoformado



Servicio gratuito para Argentina:
0-800-555-0175

Calle 97 N869 (B1650IAA)

Gral. San Martín - Buenos Aires - Argentina

Tel.: (54 11) 4754-4446

info@cotnyl.com - www.cotnyl.com

80°C, con una velocidad (5m/s) y humedad relativa (5%) del aire constantes.

Procedimiento de rehidratación

Los frutos deshidratados sin tratar y pretratados (aproximadamente 4 g) fueron rehidratados por inmersión en un baño termostatzado de agua destilada a temperatura constante. Las muestras se retiraron del baño a diferentes periodos de inmersión y fueron pesadas en la balanza antes mencionada, luego de escurrir y secar con papel tisue el exceso de agua superficial. El comportamiento de las muestras se evaluó en función de la temperatura del agua de rehidratación (20, 40, 60 y 80°C). Cada experimento de rehidratación se realizó por duplicado.

Modelización de cinéticas de rehidratación

Se aplicaron dos modelos para la estimación de los parámetros cinéticos.

1 - Modelo de Peleg

El modelo propuesto por Peleg (1988) se presenta en la ecuación 1:

$$X = X_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (1)$$

Donde k_1 es una constante cinética (h.kg sólidos secos/kg agua) y k_2 es un segundo parámetro de este modelo (kg sólidos secos/kg agua).

Si el tiempo de rehidratación es suficientemente largo, el contenido de humedad de equilibrio (X_e) (ecuación 2) se puede expresar:

$$X_e = X_0 + \frac{1}{k_2} \quad (2)$$

2 - Modelo de Weibull

El modelo de Weibull es presentado en la ecuación 3:

$$X = X_e + (X_0 - X_e) e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (3)$$

Donde α y β son los parámetros del modelo de Weibull. Siendo α el parámetro de forma que se asimila a un índice de comportamiento del producto durante la rehidratación. El parámetro β está relacionado con la cinética del proceso, presentando una relación inversa con la velocidad del mismo (Saguy *et al.*, 2005a).

Determinación de la bondad de los ajustes

La calidad de ajuste de los modelos utilizados en los datos experimentales se evaluó por medio de distintas

pruebas estadísticas: coeficiente de regresión lineal (r^2), suma de cuadrados (SSE), error cuadrático medio (RMSE) y la función Chi cuadrado (χ^2). Los menores valores de la SSE, RMSE y χ^2 , junto con los mayores valores de r^2 , fueron seleccionados como los criterios óptimos a fin de evaluar la calidad de los modelos utilizados (Doymaz, 2009; Sacilik, 2007).

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos experimentales se determinó utilizando el software Statistica versión 7.0, aplicando un análisis de varianza (ANOVA) para estimar las diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95% ($p < 0,05$).

Resultados y discusión

Efecto del secado sobre las características de rehidratación

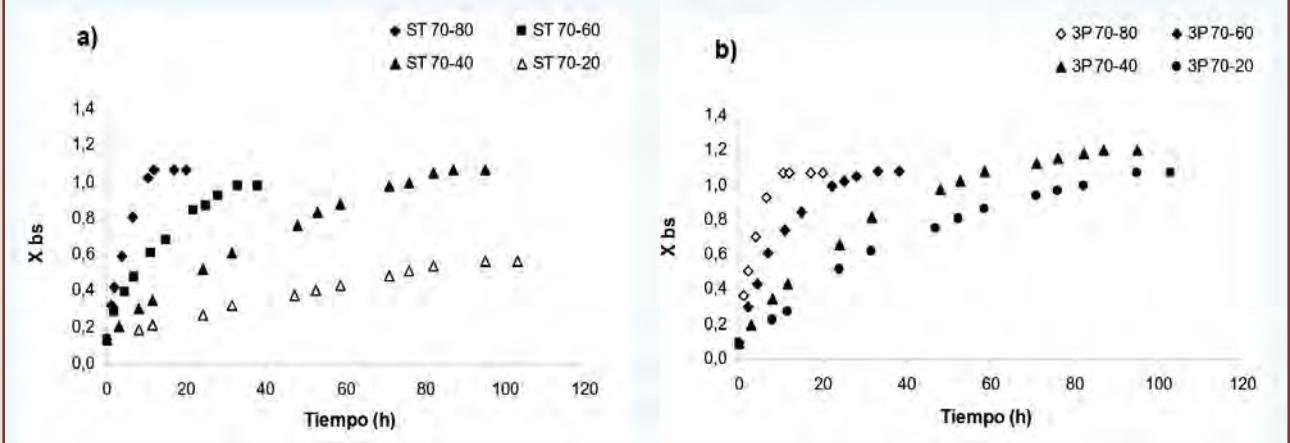
En la figura 1 se presentan las curvas de rehidratación experimentales para frutos de rosa mosqueta sin tratamiento y pretratados, deshidratados a 70°C, a modo de ejemplo; y rehidratados a diferentes temperaturas (20, 40, 60 y 80°C) en función del tiempo de rehidratación. Se puede apreciar que la temperatura del agua de rehidratación ejerce un marcado efecto sobre la velocidad de rehidratación de los frutos de rosa mosqueta y sobre las cantidades de agua absorbidas por parte de estos frutos. A mayor temperatura aumentan estos dos parámetros en todos los casos estudiados. Resultados similares han sido reportados por otros autores (Kaymak-Ertekin, 2002; Krokida y Marinos-Kouris, 2003; García-Pascual *et al.*, 2006).

El pretratamiento aplicado a los frutos de rosa mosqueta afecta la permeabilidad de las membranas celulares, por lo que la rapidez con la que se lleva a cabo la transferencia de agua durante el secado se incrementa conforme aumenta la temperatura, disminuyendo el tiempo y reduciendo el daño estructural con un aumento de la porosidad, facilitando la rehidratación de las muestras en un menor tiempo, esto coincide con lo reportado por Gowen *et al.* (2008) en soja cocida.

Modelado de las curvas de rehidratación

Modelos de rehidratación. Las tablas 1 y 2 muestran los resultados obtenidos por el modelo de Peleg para frutos sin tratamiento (ST) y pretratados (3P), respectivamente; donde los coeficientes de correlación $r^2 > 0,998$. El parámetro k_1 muestra una tendencia a disminuir con el aumento de la temperatura de rehidratación, entre 20 y 80°C, independientemente de la temperatura de secado, tanto en frutos sin tratamiento como en frutos pretratados. Esto muestra una mayor velocidad de absorción de agua a mayor temperatura de rehidratación en el rango de temperaturas bajo estudio. Los valores obtenidos confirman que la rehidratación de las muestras pre-

Figura 1 - Curvas de rehidratación experimentales: a) frutos sin tratamiento (ST) y b) frutos perforados (3P); deshidratados a 70°C, con velocidad del aire de 5m/s y 5% de humedad relativa; en función de la temperatura de rehidratación.



tratadas es más rápida que las muestras sin tratamiento previo al secado, e independientemente de la temperatura a la cual fueron deshidratadas.

La constante k_2 del modelo de Peleg tiende a aumentar junto con la temperatura de rehidratación. Solomon (2007) sugiere que este parámetro está relacionado con la capacidad máxima de absorción de agua o con el contenido de humedad de equilibrio, de tal manera que los valores más bajos de k_2 muestran una capacidad de absorción de agua superior y viceversa. Por lo tanto, los resultados muestran que la capacidad de absorción de agua aumenta a medida que disminuye la temperatura del agua de rehidratación entre 20 y 80°C, en frutos pretratados y sin tratar, que han sido deshidratados a 60 y 70°C. k_2 puede cambiar con la temperatura si hay un cambio en el material, esto fue reportado por López *et al.* (1995) para avellanas, Sanjuán *et al.* (2001) para tallos de brócoli y Maskan (2001) para productos de trigo.

Las tablas 3 y 4 muestran los resultados obtenidos por el modelo de Weibull para frutos sin tratamiento (ST) y pretratados (3P), respectivamente; donde los coeficientes de correlación $r^2 > 0,999$. El parámetro de forma de Weibull (α) aumenta al aumentar la temperatura de rehidratación, a todas las temperaturas de deshidratación, tanto en frutos sin tratamiento como en frutos pretratados. Los altos valores de α indican una baja velocidad de absorción de agua al inicio de la rehidratación, y este comportamiento empeora con el aumento de la temperatura de rehidratación, se puede asumir que este comportamiento está asociado a las características propias del fruto, en especial a la presencia de la cutícula cerosa, que actúa como barrera física.

En las figuras 2 y 3 se presentan las cinéticas de rehidratación a cuatro temperaturas diferentes (20, 40, 60 y 80°C), para frutos sin tratamiento previo al secado y pretratados, deshidratados 70°C a modo de ejemplo, se observa el mismo comportamiento en frutos deshidratados a 60 y 80°C.

Determinación de la bondad de los ajustes de los modelos

En base a esta evaluación, se observa un buen ajuste en general, dado que los valores de r^2 son elevados ($>0,99$), y se obtuvieron valores bajos de SSE ($<0,005$), RMSE ($<0,07$) y χ^2 ($<0,007$).

Conclusiones

Los parámetros cinéticos obtenidos con el modelo de Peleg (k_1) y con el modelo de Weibull (β) muestran el mismo comportamiento: aumentan a medida que disminuye la temperatura de rehidratación, tanto en frutos sin tratamiento como en frutos pretratados, independientemente de la temperatura de deshidratación. Esto significa que a mayor temperatura de rehidratación los frutos de rosa mosqueta, pretratados o no, tienen una mayor facilidad de absorber agua. De acuerdo a los resultados del análisis estadístico, los dos modelos que



PREGMA
INGENIERIA

EMPRESA ARGENTINA
EXPORTADORA DE
NUESTROS PRODUCTOS

Fabricadora de hielo en barra



Fabricadora de hielo en escama



Fabricadora de hielo cilíndrico



Fabricadora de hielo cilíndrico - Hielo en barra - Hielo en Escamas - Conservadoras para hielo
- Cámaras frigoríficas - Paneles y equipamientos - Hidrocoolers por inmersión - Sistema de ósmosis inversa
- Procesado de espárragos - Lavadoras y llenadoras de bidones automáticas y semi-automáticas



Fábrica: Solis N°10343 (7600)
Mar del Plata - Bs. As. - Argentina
Tel./Fax: (54 0223) 4656777/4108823
migueltgarcia@pregma.com.ar - www.pregma.com.ar

Tabla 1. Parámetros del modelo de Peleg obtenidos en frutos de rosa mosqueta sin tratamiento (ST) deshidratados a diferentes temperaturas (60, 70 y 80°C) y rehidratados a 20, 40, 60 y 80°C.

T de Rehidratación (°C)	RM ST 80°C			RM ST 70°C			RM ST 60°C		
	k_1	k_2	X_e	k_1	k_2	X_e	k_1	k_2	X_e
80	4,50	0,50	2,00	4,70	0,8	1,40	4,1	0,70	1,60
60	10,60	0,80	1,40	14,10	0,80	1,40	15,30	0,70	1,50
40	45,50	0,40	2,60	48,70	0,50	2,10	52,80	0,50	2,30
20	99,40	0,50	2,00	156,80	0,60	1,80	99,40	0,50	2,00

Tabla 2. Parámetros del modelo de Peleg obtenidos en frutos de rosa mosqueta pretratados (3P), deshidratados a diferentes temperaturas (60, 70 y 80°C) y rehidratados a 20, 40, 60 y 80°C.

T de Rehidratación (°C)	RM 3P 80°C			RM 3P 70°C			RM 3P 60°C		
	k_1	k_2	X_e	k_1	k_2	X_e	k_1	k_2	X_e
80	4,20	0,70	1,60	2,80	0,8	1,30	3,2	0,90	1,3
60	7,60	0,80	1,30	8,60	0,80	1,40	11,80	0,70	1,60
40	26,80	0,50	2,00	26,40	0,60	1,80	24,30	0,60	1,80
20	55,00	0,40	2,80	45,10	0,50	1,90	63,80	0,40	2,80

se utilizaron son adecuados para describir la cinética de rehidratación de los frutos de rosa mosqueta: sin tratamiento y pretratados mecánicamente. Sin embargo, y como consecuencia de la sobreabsorción de agua mediante fenómenos no difusionales, debido a la estructura de estos frutos, la validez de los modelos para estimar por ejemplo los tiempos de rehidratación debe acotarse a valores de contenido de humedad del producto rehidratado, en base seca, entre 0,1 y 1,1; ya que las humedades de equilibrio (X_e) obtenidas con los modelos empleados son mayores incluso que la humedad inicial de las muestras frescas utilizadas en los ensayos. Los valores de X_e obtenidos por regresión de los datos experimentales con los modelos usados, considerados difusionales, en realidad significan físicamente la máxima cantidad de agua que pueden "absorber" los frutos o humedad de saturación, por difusión de agua en la zona comestible del fruto y no tienen en cuenta los espacios huecos del fruto en su interior. Es decir que los modelos sólo tienen aplicación en la zona del fruto que posee la parte comestible.

Bibliografía

Doymaz I. (2009). An experimental study on drying of green apples. *Drying Technology*. 27: 478-485.

Falade K.O. y Abbo E.S. (2007). Air-drying and rehydration characteristics of date palm (Phoenix dactylifera L.) fruits. *J. of Food Eng.* 79: 724-730.

García-Pascual P.; Sanjuán N.; Melis R. y Mulet A. (2006). Morchella esculenta (morel) rehydration process modelling. *J. of Food Eng.* 72(4): 346-353.

Gowen A.A.; Abu-Ghannam N.; Frías J. y Oliveira J. (2008). Modelling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave-hot-air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 9: 129-137.

Kaymak-Ertekin E. (2002). Drying and rehydration kinetics of green and red peppers. *J. of Food Science*. 67(1): 168-175.

Krokida M.K. y Marinos-Kouris D. (2003). Rehydration kinetics of dehydrated products. *J. of Food Eng.* 57: 1-7.

Lewicki P. (1998). Some remarks on rehydration of dried foods. *J. of Food Eng.* 36: 81-87.

López A.; Piqué M.T.; Clop M.; Tasia J.; Romero A. y Boatella J. (1995). The hygroscopic behaviour of the hazelnut. *J. of Food Process Eng.* 25: 197-208.

Machado M.; Oliveira F.A.R.; Gekas V. y Singh R.P. (1998). Kinetics of moisture uptake and soluble-solids loss by puffed breakfast cereals immersed in water. *Int. J. of Food Science Technology*. 33(3): 225-237.

Maskan M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *J. of Food Eng.* 48: 177-182.

Mc Minn W.A.M. y Magee T.R.A. (1997). Quality and physical structure of dehydrated starchbased system. *Drying Technology*. 15 (6-8):1961-1971.

Ogwal M.O. y Davis D.R. (1994). Rapid rehydration methods for dried beans. *J. of Food Science*. 59 (3): 611-621.

Ohaco E.; Mabellini A.; Márquez C.A.; De Michelis A. y Lozano J.E. (2009). Tiempos de secado durante la deshidratación convectiva de rosa mosqueta pretratada química y mecánicamente. Libro 3: Avances en Ingeniería y Tecnología. pp:180-186 ISBN:978-987-24620-9-3. Actas del III Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. (CICYTAC 2009).

Sacilik K. (2007). Effect of drying methods on thin layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (Cucurbita pepo L.). *J. of Food Eng.* 79: 23-30.

Saguy I.S.; Marabi A. y Wallach R. (2005a). Liquid imbibition during rehydration of dry porous foods. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 6: 37-43.

Sanjuán N.; Andrés J.; Clemente G. y Mulet A. (2001). Modelling of the rehydration process of broccoli florets. *Eur. Food Res. Technology*. 212(4): 449-453.

Solomon W.K. (2007). Hydration kinetics of lupin (Lupinus Albus) seeds. *J. of Food Process Eng.* 30 (1): 119-130.

Sopade P.A.; Ajisehiri E.S. y Badau M.H. (1992). The use of Peleg's equation to model water absorption in some cereal grains during soaking. *J. of Food Eng.* 15: 269-283.

Tabla 3. Parámetros del modelo de Weibull obtenidos en frutos de rosa mosqueta sin tratamiento (ST), deshidratados a diferentes temperaturas (60, 70 y 80°C) y rehidratados a 20, 40, 60 y 80°C.

T de Rehidratación (°C)	RM ST 80°C			RM ST 70°C			RM ST 60°C		
	α	β	X_e	α	β	X_e	α	β	X_e
80	1,00	7,00	1,50	1,10	5,4	1,10	1,1	4,90	1,10
60	0,90	14,00	1,20	0,80	20,90	1,20	1,00	17,10	1,20
40	0,90	135,20	2,40	0,80	158,20	2,20	0,90	110,00	1,90
20	0,80	253,90	1,90	0,80	253,90	1,90	0,80	253,90	1,90

Tabla 4. Parámetros del modelo de Weibull obtenidos en frutos de rosa mosqueta pretratados (3P), deshidratados a diferentes temperaturas (60, 70 y 80°C) y rehidratados a 20, 40, 60 y 80°C.

T de Rehidratación (°C)	RM 3P 80°C			RM 3P 70°C			RM 3P 60°C		
	α	β	X_e	α	β	X_e	α	β	X_e
80	1,10	5,40	1,30	1,00	3,7	1,10	1,1	3,90	1,1
60	1,00	9,60	1,10	1,00	11,10	1,10	1,10	12,50	1,10
40	0,90	45,40	1,50	1,00	37,00	1,30	1,10	27,80	1,30
20	0,90	150,10	2,30	1,10	44,40	1,10	0,90	143,90	2,10

Figura 2 - Variación de la humedad (bs) experimental y estimada con: a) modelo de Peleg y b) modelo de Weibull; durante la rehidratación a diferentes temperaturas (20, 40, 60 y 80°C) de frutos de rosa mosqueta sin tratamiento (ST) y deshidratados a 70°C.

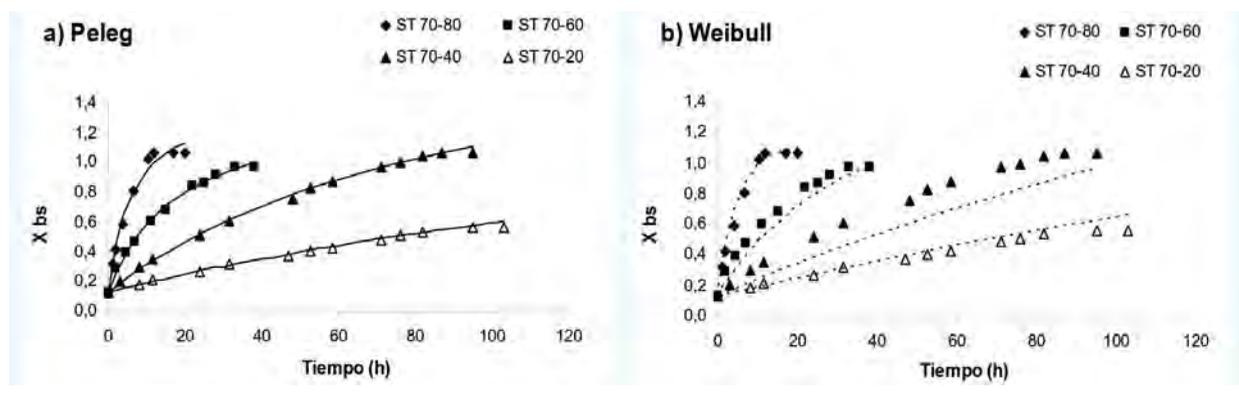


Figura 3 - Variación de la humedad (bs) experimental y estimada con: a) modelo de Peleg y b) modelo de Weibull; durante la rehidratación a diferentes temperaturas (20, 40, 60 y 80°C) de frutos de rosa mosqueta pretratados (3P) y deshidratados a 70°C.

