*Artículo Original*

# Cinética del Rehidratado del Haba Seca

## *Dry Broad Bean Rehydration Kinetics*

Gustavo Ricardo De Gumucio del Villar *[1]

[1] Director Ejecutivo del Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA)

Facultad de Tecnología

Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca.

Sucre-Bolivia

*Correspondencia:

rigumu@hotmail.com

Recibido: 12 de diciembre de 2013

Aceptado: 10 de enero de 2014

**Resumen**

Con el objetivo de mejorar los usos del haba seca, rehidratándola para consumo o para su posterior descascarado, se realizó la rehidratación de habas de ASOHABA (Puna, del Departamento de Potosí) en tres lotes de habas, remojando en agua potable a temperatura ambiente de 18ºC. Para el presente estudio se consideraron las mediciones de las habas del tercer descarte en las cuales no se modificó ni el pH, ni la temperatura durante el proceso de rehidratación. La toma de muestras se realizó cada 3 horas para tener variaciones hasta un gramo en el peso. Los resultados gravimétrico en balanza semi-analítica son con precisión de +/- 1mg. El tiempo de hidratación máximo en el que se alcanzó la humedad de saturación fue de 2,25 días, 55 horas con 145.18% de aumento en peso de agua. A los resultados obtenidos se aplicó el modelo matemático modificado de Michaelis-Menten, en tres variaciones: Sin reactivo o sustratos, exponencial y con factor de corrección de proporcionalidad.

Los resultados obtenidos son aceptable al obtener coeficientes de correlación de r = 0.949 y 0.937, por lo que se puede utilizar el modelo para estimaciones de ingeniería, con el cuidado del manejo de esta magnitud de error.

***Palabras clave:*** Haba, Rehidratación, Modelo matemático, Michaelis-Menten

**Abstract**

Seeking to improve the uses of dry broad bean, by rehydrating it either for consumption or for later shelling; dry broad beans from ASOHABA (Puna, Potosì region) were rehydrated by sinking them in potable water at 18 ºC in three different groups .

For this study only data from the third group was considered, in this group neither the pH level nor the temperature level during the rehydration process were modified. Broad beans samples for measurement were extracted every 3 hours to measure variations until 1 gr. of weight. Gravimetric results using semi analytic balance have an accuracy of +/- 1mg.

The maximum rehydration time at which the humidity saturation was reached was 2.25 days, 55 hours and with a 145.18 % of water weight increase.

Modified mathematical model of Michaelis-Menten was applied to the results, in three different variations: Without reactive or substrates, exponential and with proportionality correction factor.

Obtained results are acceptable since correlation coefficients obtained were r = 0.949 and 0.937. Thus this model could be used for engineer estimations, with the considerations related to the management of this error magnitude.

***Keywords:*** Broad beans, Rehydrating, Mathematical model , Michaelis-Menten

Copyright © 2014 De Gumucio del Villar. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de Creative Commons, el que permite uso sin restricción y reproducción en cualquier medio, citando la autoría del trabajo original.

## Antecedentes

Dentro de los productos andinos, el haba (Vicia Faba) es considerada como uno de los principales alimentos que forman parte de la alimentación cotidiana de las familias de nuestro medio, especialmente de la población rural. Tanto en su forma fresca, como en su forma seca adecuada para su conservación durante la época mayoritaria del año en la que no se produce.

El haba en estado seco, es un producto que se encuentra disponible en los centros de abasto durante todo el año y que no tiene mucha demandada comercial, debido a la dureza que la caracteriza en ese estado, tanto de la cáscara como de la pulpa.

La dificultad que se presenta en el descascarado del haba seca por los métodos tradicionales físicos o químicos, induce a una alternativa interesante del rehidratado del haba antes del pelado.

Se tiene bastante información sobre el proceso inverso del secado del haba, pero no se encuentra datos para el rehidratado. Este proceso unitario es muy conocido en diversos alimentos(1), es común rehidratar muchos alimentos secos, para obtener nuevamente un alimento similar al fresco. Pero esto constituye métodos largos, por lo que se utiliza rehidratación en caliente (cocción y hervido) que altera notablemente la composición y propiedades de los alimentos. Cualquiera sea el método de rehidratación, en todos es necesario conocer las constantes y exponentes para el modelo matemático específico del producto, determinados mediante pruebas de laboratorio. El rehidratado de otros alimentos se ha reportado en otros estudios (2)(3)(4).

El haba seca es un producto que generalmente es consumido como tostado de haba, frito y saladito, cuyo proceso de elaboración es de conocimiento generalizado. Pero no se tiene datos sobre el rehidratado de haba, como una nueva forma para su consumo. Muchos productos rehidratados como por ejemplo las arvejas, no tienen mayor diferencia organoléptica que las arvejas frescas, por lo que para épocas que no se tiene cosecha, este es un procedimiento adecuado para suplir la falencia de alimentos frescos.

Para el pelado del haba rehidratada, dado el ablandamiento que adquiere la cascara y la pulpa de haba, este método es más promisorio, fácil y económico, constituyéndose en un proceso alternativo de descascarado.

Por lo expuesto anteriormente el objetivo del presente trabajo busca determinar la cinética de rehidratado de habas secas. Con el modelo de la cinética de rehidratación, se puede diseñar los equipos para rehidratado, calcular los tiempos óptimos de rehidratación y las condiciones técnicas y económicas.

## Metodología

Se trabajaron con habas clasificadas en tres tamaños: de 1ª 2ª y 3ª de ASOHABA (Puna, del Departamento de Potosí). La determinación de la curva de hidratación se realizó por gravimetría solo con habas de 3ª adecuada para descascarado y posterior molienda para la producción de harina. Se sumergió el haba en agua a temperatura ambiente (18ºC) para luego medir el peso cada cierto tiempo. Las habas quedaron totalmente cubiertas con el agua potable, no se las trituró, ni molió, ni descascaró, para simular las condiciones a las que se realizara la rehidratación. Tampoco se instaló ningún tipo de agitación.

Ya que este fenómeno se basa en la difusión másica osmótica a través de la cáscara, de las paredes celulares y moleculares de la masa del fruto, las moléculas de agua deben difundirse, por lo que las variables que pueden influir en orden decreciente son: tamaño, temperatura, agitación, pH, y en menor grado la presión. En la experiencia todas estas variables se las mantienen constantes y no se analiza su dependencia.

### Aproximación al Modelo Matemático

***a) Hidratación con reacción por adición de reactivo acido o base o modificación de pH***

Con los resultados obtenidos, se utilizó la ecuación 1(Ec.1) propuesta por Michaelis-Menten en 1913, utilizada en estudios previos(5) que describe el consumo del sustrato por una enzima. La teoría propone que la enzima E se combina en primer lugar con el sustrato S para formar el complejo enzima-sustrato ES; a continuación este se escinde en una segunda etapa, para formar enzima libre y producto P. Se supone que estas reacciones son reversibles. Posteriormente Briggs-Haldane desarrollaron la teoría que es fundamental para el análisis cuantitativo de todos los aspectos de la cinética de las enzimas.

Ec. 1:

$$V_o = \frac{V_{max}[S]}{K_M + [S]}$$

Donde: [S] es la concentración de sustrato, Vo es la velocidad con que la enzima consume al sustrato para cualquier S, KM es la constante de Michaelis-Menten y Vmax es la velocidad máxima la cual se tiene a alta concentración de sustrato. Haciendo un cambio de parámetros de la ecuación 1 de S por t, donde t es el tiempo de hidratación, Vmax por A y KM por B. Donde A con unidades de porcentaje de hidratación y B con unidades de tiempo. Se forma la siguiente expresión: la ecuación empírica de Michaelis-Menten (Ec.1b), transformada para los propósitos de esta investigación se propone para predecir la hidratación del haba como una función del tiempo de hidratación o cocción (si la hubiera) haciendo el cambio de parámetros queda de la siguiente forma:

Ec.1a:

$$H(t) = \left[\frac{m_t - m_o}{m_o}\right] * 100$$

Ec. 1b:

$$H(t) = \frac{A\,t}{B + t}$$

Donde:
H(t)= es el porcentaje de hidratación del haba a un tiempo t,
mt= masa del haba hidratada a un tiempo t,
m0= masa de grano inicial,
t= es el tiempo de hidratación,
A y B constantes.
Las dos condiciones iníciales que debe cumplir la ecuación 1 son:
Ec. 2:

$$H(t) = \begin{cases} 0 \leftrightarrow t \to 0 \\ H_{sat} \leftrightarrow t \to \infty \end{cases}$$

Estas condiciones de frontera se determinan en base a lo observado experimentalmente, donde: H(t) = 0 significa que sólo se encuentra presente en el grano la humedad endógena, es decir el grano no ha empezado a hidratarse; H(t) = Hsat es la humedad que tendría el grano si se hidratara por un tiempo infinito, Hsat es la humedad de saturación (o humedad de equilibrio como la llama Peleg, 1988) donde el grano no tiene cambios significativos en la hidratación a medida que trascurre el tiempo de hidratación. Evaluando las condiciones iníciales ecuación 2 en 1, obtenemos lo siguiente:
Ec. 3:

$$\lim_{t \to 0} H(t) = \lim_{t \to 0} \frac{A\,t}{B+t} = 0$$

Ec. 4:

$$\lim_{t \to \infty} H(t) = \lim_{t \to \infty} \frac{A\,t}{B+t} = \lim_{t \to \infty} \frac{\frac{A*t}{t}}{\frac{B+t}{t}} = A = H_{sat}$$

Entonces la ecuación 1 toma la forma:

Ec. 1c:

$$H(t) = \frac{H_{sat}\,t}{B+t}$$

Haciendo un análisis del parámetro B (tiene unidades de tiempo), cuando B→0 y a B→ ∞ de la Ec. 1c se tiene:
Ec. 5:

$$\lim_{B \to 0} H(t) = \lim_{B \to 0} \left[\frac{H_{sat}\,t}{B+t}\right] = H_{sat}$$

Ec. 6:

$$\lim_{B \to \infty} H(t) = \lim_{B \to \infty} \left[\frac{H_{sat}\,t}{B+t}\right] = 0$$

Ec. 7:

$$\lim_{t \to B} H(t) = \lim_{t \to B} \left[\frac{H_{sat}\,t}{B+t}\right] = \frac{H_{sat}}{2}$$

Entonces el parámetro B es un tiempo de retardo en la hidratación de las muestras, donde influirá en alcanzar el punto de saturación $H_{sat}$. Cuando B→0 nos aproximamos rápidamente a $H_{sat}$ y mientras B→ ∞, la muestra no se hidrataría.

La Ec. 1c se aproxima mucho mejor con las correlaciones empíricas siguientes:

Ec. 1d:

$$\boldsymbol{H(t) = \frac{H_{sat}\,t^K}{B+t}}$$

Ec. 1e:

$$\boldsymbol{H(t) = \frac{K\,H_{sat}\,t}{B+t}}$$

El exponente k en Ec. 1d representa el orden de la cinética que difiere ligeramente del valor de Ec. 1, es decir es un pseudo primer orden, o Ec.1e como constante que corrige el coeficiente a un valor más práctico y real.

**b) *Velocidad de hidratación***
Para determinar la velocidad de hidratación del grano se obtiene derivando la Ec. 1d y como resultado obtenemos:

Ec. 8:

$$V = \frac{dH}{dt} = \frac{H_{sat}\,k(B+t)t^{K-1} - H_{sat}t^K}{(B+t)^2}$$

Si k=1

$$V = \frac{dH}{dt} = \frac{H_{sat}\,B}{(B+t)^2}$$

De la Ec.1e:

$$V = \frac{dH}{dt} = \frac{K\,H_{sat}\,B}{(B+t)^2}$$

Condiciones de frontera que debe cumplir la Ec. 8 son:
Ec.9:

$$V = \frac{dH}{dt} = \begin{cases} V_{max} \leftrightarrow t \to 0 \\ 0 \leftrightarrow t \to \infty \end{cases}$$

Hemos encontrado la velocidad máxima cuando t→0 y su valor es $V_{max}= H_{sat}/B$.

**c) *Dependencia con la Temperatura***

Los valores de la velocidad de la hidratación dependen del tiempo, la temperatura del agua de cocción ecuación 2 y de la concentración de reactivo o pH. Podemos observar que la velocidad de hidratación crece al aumentar la temperatura de rehidratación o cocción. La dependencia de la temperatura del agua de cocción se puede modelar con la siguiente ecuación:

Ec. 10:

$$H_{sat}(T) = H_o + C * e^{T/k1}$$

Donde:

$H_{sat}(t)$= es el porcentaje de hidratación del haba a una temperatura T

Ho= es el porcentaje inicial de contenido de agua, que puede ser 0 considerando la humedad endógena del grano.

C= constante con unidades de hidratación que depende de cada producto

K1= constante con unidades de temperatura

## Resultados

Los tamaños y pesos promedios de las habas de 1º, 2º y 3º con sus respectivas desviaciones estándar, se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Tamaño y peso de habas utilizadas

| Haba | Nº de mediciones | Peso (g) | Largo (cm) | Ancho (cm) |
|---|---|---|---|---|
| 1ª | 23 | 2,5+/-0,45 | 2,9+/-0,27 | 2,2+/-0,34 |
| 2ª | 23 | 2,3+/-0,26 | 2,7+/-0,22 | 1,8+/-0,07 |
| 3ª | 23 | 1,6+/-0,44 | 2,3+/-0,23 | 1,5+/-0,14 |

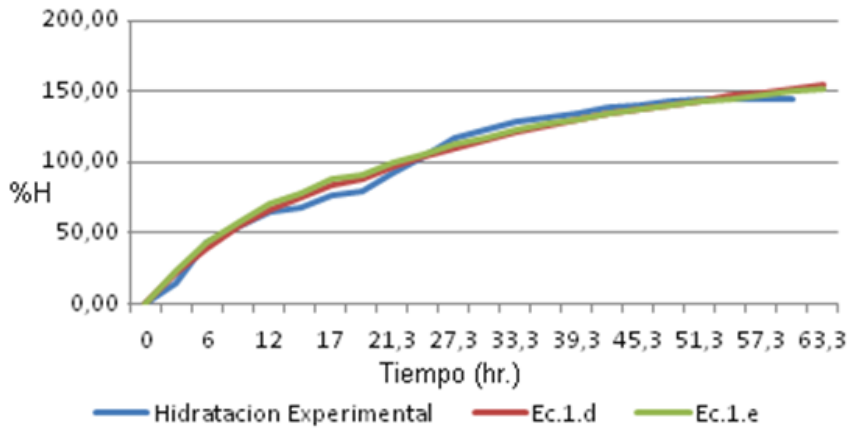
En cuanto a la curva de hidratación, se puede indicar que la máxima hidratación se produce hasta las 55 horas con 145.18% de hidratación, tiempo a partir del cual se mantiene constante la cantidad de agua. A las 36 horas (día y medio) y hasta las 48 horas (dos días) la curva es una zona de mayor hidratación, a partir de la cual empieza a declinar y se puede encontrar un tiempo límite óptimo de hidratación (Tabla 2 y Figura 1).

**Tabla 2.** Hidratación de haba de tercer descarte

| Hora | Tiempo (h) | Peso de haba (g) | Hidratación (%) | H(t) Calculo Ec. 1d | H(t) Calculo Ec. 1e |
|---|---|---|---|---|---|
| 00:00 | 0,00 | 7,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 03:00 | 3,00 | 8,323 | 14,64 | 20,95 | 23,83 |
| 06:00 | 6,00 | 10,362 | 42,73 | 39,13 | 42,73 |
| 09:00 | 9,00 | 11,2 | 54,27 | 54,29 | 58,09 |
| 12:00 | 12,00 | 12 | 65,29 | 67,06 | 70,82 |
| 14:00 | 14,00 | 12,2 | 68,04 | 74,50 | 78,16 |
| 17:00 | 17,00 | 12,8 | 76,31 | 84,37 | 87,79 |
| 18:20 | 18,33 | 13 | 79,06 | 88,33 | 91,62 |
| 21:20 | 21,33 | 14 | 92,84 | 96,43 | 99,41 |
| 24:20:00 | 24,33 | 14,78 | 103,58 | 103,58 | 106,20 |
| 27:20:00 | 27,33 | 15,78 | 117,36 | 109,95 | 112,19 |
| 30:20:00 | 30,33 | 16,21 | 123,28 | 115,66 | 117,51 |
| 33:20:00 | 33,33 | 16,6 | 128,65 | 120,81 | 122,25 |
| 36:20:00 | 36,33 | 16,8 | 131,40 | 125,50 | 126,52 |
| 39:20:00 | 39,33 | 17 | 134,16 | 129,78 | 130,38 |
| 42:20:00 | 42,33 | 17,3 | 138,29 | 133,70 | 133,88 |
| 45:20:00 | 45,33 | 17,4 | 139,67 | 137,32 | 137,08 |
| 48:20:00 | 48,33 | 17,6 | 142,42 | 140,67 | 140,01 |
| 51:20:00 | 51,33 | 17,7 | 143,80 | 143,78 | 142,70 |
| 54:20:00 | 54,33 | 17,8 | 145,18 | 146,69 | 145,18 |
| 57:20:00 | 57,33 | 17,8 | 145,18 | 149,40 | 147,48 |
| 60:20:00 | 60,33 | 17,8 | 145,18 | 151,94 | 149,61 |
| 63:20:00 | 63,33 | 17,8 | 145,18 | 154,33 | 151,59 |

**Nota:** La primera columna es la hora en la que se obtuvo la muestra, la segunda es el tiempo calculado en horas a partir del inicio del experimento, la tercera columna es la pesa de la muestra de haba que inicialmente tiene 7,26 gramos. La cuarta columna es el porcentaje de hidratación calculada con la ecuación 1a. Las dos últimas columnas son calculadas con el modelo matemático corregido, Ec.1d y Ec. 1e.

**Figura 1.** Comparación de Curva de hidratación experimental y modelo matemático




***Aplicación del modelo matemático***

Utilizando la Ec. 1d se obtienen los siguientes resultados:

$H_{sat}$ =145.18
$V_{max}$ = 2 a 19 derivada de la tabla experimental por medio de diferencias finitas
$V_{max}$ = 7.3717533
B = Hsat/Vmax =145.18/ 7.3717533 = 19.6940937
k =1.08
r = 0.949158 índice de correlación aceptable

Ec. 11:

$$H(t) = \frac{H_{sat}\, t^k}{B + t} = \frac{145.18 * t^{1.08}}{19.6940937 + t}$$

Para la Ec. 1e:

$H_{sat}$ =145.18
$V_{max}$ = 6,3047761
B = Hsat/Vmax =145.18/ 6,3047761= 23.0269874
k =1.42380037
r = 0.93736 índice de correlación aceptable

Ec. 12:

$$H(t) = \frac{H_{sat}\, t^k}{B + t} = \frac{206.7073377 * t}{23.0269874 + t}$$

## Conclusiones y Recomendaciones

Una recomendación para los consumidores cuando vayan a rehidratar habas, es la de mantener un tiempo de dos días como máximo a temperatura ambiente y agua potable exenta de contaminación microbiana. Mayor tiempo es inútil ya que no se conseguirá mayor hidratación y para un menor tiempo las habas todavía no estarán rehidratadas y posiblemente obtengan un alimento duro.

Este procedimiento a su vez es una de las mejores vías para el pelado del haba, ya que al obtener la cáscara hidratada blanda, flexible, fácil y descascarado económico.

Es recomendable repetir el experimento a diferentes T y pH, para obtener un modelo completo.

El modelo aproxima suficientemente bien a condiciones ambientales, excepto en el límite superior de la asíntota que sobrepasa la tendencia hacia $H_{sat}$.

El valor de $V_{max}$, derivada para t=0 de 7.3718 es un valor estimado, ya que la derivación numérica es complicada en esta zona de la gráfica, por el tiempo de retardo que se aprecia, inmerso en el parámetro B.

Se sugiere también realizar mayor investigación que busque acelerar el tiempo de hidratación(3).

Es aconsejable este tipo de trabajos de investigación para otros alimentos (4) como ser arvejas, pero con variaciones de temperatura, sal y pH de la solución acuosa.

## Referencias Bibliográficas

1. Fellows PJ. Food Processing Technology: Principles and Practice, Second Edition. CRC Press; 2000. 612 p.

2. Gulati T, Chakrabarti M, Sing A, Sing A, Duvuuri M, Banerjee R. Comparative Study of Response Surface Methodology, Artificial Neural Network and Genetic Algorithms for Optimization of Soybean Hydration. Food Technol Biotechnol. 5 de marzo de 2010;48(1):11-8.

3. Naviglio D, Formato A, Pucillo GP, Gallo M. A cyclically pressurised soaking process for the hydration and aromatisation of cannellini beans. J Food Eng. junio de 2013;116(3):765-74.

4. Zambrano ML, Rodríguez DB, Álvarez A. Estudio Cinético y de Superficie de Respuesta para la Rehidratación de Zanahorias (Daucus carota) Liofilizadas. Inf Tecnológica. enero de 2007;18 (4):47-56.

5. Fernández-Muñoz JL, Gruintal-Santos MA, Hernández-Osorio I, San Martín Martinez E, Calderón A, Díaz-Góngora JAI, et al. Modelo matemático de la cinética y velocidad de hidratación del grano de maíz blanco dentado durante la cocción alcalina. Superficie y Vacío. 20(4):4-9.

***Cite este artículo como:*** De Gumucio GR. Cinética del rehidratado del Haba Seca. Ad Astra. 2014; 5 (1): 13-17.