

C1-1

MODELIZACIÓN ANALÍTICA DE PARÁMETROS TEXTURALES PARA LA PREDICCIÓN DEL DESARROLLO DE HARINOSIDAD EN MANZANA

Barreiro P¹; Verlinden B. E²; De Smedt V²; Nicolai B²; Ruiz-Altisent, M¹

*Lº de Propiedades Físicas; Dpto. Ingeniería Rural; ETSIA-UPM
Flanders Centre/Laboratory of Postharvest Technology. Catholic University. Leuven, Belgium*

Resumen

La harinosidad es un desorden textural asociado con la ausencia de crujiente, de dureza y de jugosidad. Estos parámetros texturales pueden ser determinados mediante propiedades mecánicas relacionadas (resistencia a esfuerzo cortante, módulo de elasticidad...), y modelizadas mediante un sistema complejo que combina reacciones bioquímicas y fenómenos de transporte de agua. En este artículo se combinan reacciones metabólicas bien conocidas: respiración, hidrólisis del almidón y solubilización de la lamela media, con la pérdida de turgencia y la deshidratación de los tejidos para extraer consecuencias sobre el desarrollo de harinosidad. Este modelo mecanicista, todavía en fase de revisión, se emplea en este artículo para ajustar datos procedentes de manzana Golden Delicious correspondientes a distintas fechas de recolección y condiciones de almacenamiento. Se lleva a cabo un análisis de sensibilidad.

Palabras Clave: Simulación, EcosimPro, comportamiento dinámico, calidad de la fruta sistema de control cinético.

1 INTRODUCCIÓN

La aceptación de la fruta por el consumidor está basada tanto en el sabor y el aroma, como en aspectos texturales. Los primeros dependen de la composición química, mientras que los últimos se han relacionado tradicionalmente con la cuantía y composición de los polisacáridos estructurales.

Ha habido algunos intentos de modelar el comportamiento dinámico de algunos compuestos químicos como los azúcares en hortalizas. Así, Hertzog y cols. en 1997 modelaron la evolución de los azúcares en tubérculos de patata como un compromiso entre la degradación del almidón y la respiración. Por otra parte, Tijkens y cols. en 1997

desarrollaron un modelo dinámico que describe la pérdida de firmeza en manzana a partir de su relación con reacciones químicas y bioquímicas. De la misma manera, Verlinden y De Baerdemaeker han modelado en tejido de zanahoria, la dinámica de reacciones enzimáticas que afectan a polisacáridos estructurales durante tratamientos caloríficos. Estos últimos autores establecen a su vez un vínculo entre el comportamiento mecánico macroscópico en tejido de zanahoria sometido a tracción y la cantidad de lamela media y el porcentaje de células rotas en el tejido.

A pesar de los trabajos mencionados, existen pocos estudios que clarifiquen cómo las reacciones bioquímicas relacionadas con componentes no estructurales, por ejemplo el movimiento de agua, pueden afectar a las propiedades mecánicas y por tanto a la percepción de la textura.

La harinosidad es un atributo textural definido por Jowitt en 1974 como: "poseyendo la propiedad textural manifestada por la presencia de elementos laminares estructurales separados". A un nivel microscópico, De Smedt y cols. en 1998 confirmaron que la superficie de rotura en tejidos harinosos muestra menor cantidad de células rotas, así como células más redondeadas. Dicho estudio se llevó a cabo bajo los auspicios de un proyecto europeo (FAIR CT 95 0302. Harinosidad en fruta) en el que este desorden textural fue abordado desde un amplio espectro de enfoques. Uno de ellos ha sido el desarrollo de un procedimiento instrumental para la determinación de harinosidad a partir de la definición sensorial (Barreiro y Cols, 1998a&b). En estos estudios, la harinosidad se definió como un atributo sensorial multidimensional relacionado con la pérdida de crujiente de dureza y de jugosidad. Estos parámetros unidimensionales pueden ser determinados mediante rotura a esfuerzo cortante, y compresión confinada de probetas de fruta.

Otro ámbito de trabajo dentro del mencionado proyecto de investigación está relacionado con la identificación de las condiciones de campo y de almacenamiento que favorecen la aparición de harinosidad (barreiro y Cols, 1998ª y De Smedt,

2000). En general fecha de recolección tardías y frutos grandes, atmósfera no controlada y alta humedad relativa favorecen el desarrollo de harinosidad.

Finalmente, uno de los principales resultados del mencionado proyecto europeo ha sido la formulación de un modelo mecanicista que engloba distintas reacciones bioquímicas y transporte de agua. Las variables de estado del modelo se han relacionado a su vez con la crujientez, la dureza y la jugosidad instrumentales. Este modelo que será resumido es este artículo ha demostrado ajustarse a datos de manzana c.v. *Cox Orange pipping* sometidas a distintas condiciones de almacenamiento (De Smedt, 2000).

2 OBJETIVOS

El objetivo de este estudio es la aplicación de un modelo dinámico relativo al metabolismo del azúcar, al transporte de agua, y a la solubilización de la lamela media para simular y profundizar en las consecuencias de los distintos factores que afectan la aparición de harinosidad en manzana *Golden*.

3 MATERIAL Y MÉTODOS

Se estudiaron manzanas c.v. *Golden* para la determinación de harinosidad. Las manzanas, cultivadas en Lérida por el IRTA, corresponden a un diseño factorial completo con los siguientes factores: **1) Fecha de Recolección:** temprana y media y tardía respecto a la campaña comercial, **2) Calibre del Fruto:** mayor y menor de 75mm respectivamente, **3) Temperatura de Almacenamiento:** -0.5° , $+0.5^{\circ}$ y 2°C , y **4) Período de Almacenamiento:** 0,3 y 6 meses de almacenamiento. Las manzanas se almacenaron en cámaras comerciales, ensayándose un total de 420 manzanas.

El conjunto de ensayos efectuados a este material puede resumirse en:

- Ensayos mecánicos:
 - **Compresión confinada:** llevada a cabo con una Máquina Universal de Ensayos sobre probetas cilíndricas de 17mm de alto por 17mm de diámetro. La probeta se confina en un disco del mismo diámetro que la probeta. Se aplica una deformación máxima de 2.5mm a una velocidad de carga de 20mm/minuto. El vástago empleado en el ensayo es de 15.3mm con el fin de evitar contactos vástago/disco durante la compresión. La deformación es eliminada inmediatamente a la misma velocidad de carga efectuándose una repetición por fruto. Se determinan los siguientes parámetros: relación fuerza deformación dentro del límite elástico (N,mm, CFD) que es proporcional al módulo de Young y que se emplea como dureza instrumental; y jugosidad (mm², JUICE) correspondiente al área de jugo recogida en un papel de filtro durante el ensayo.

- **Rotura a esfuerzo cortante:** para llevar a cabo este ensayo se emplea un instrumento especial desarrollado por Jarén y Ruiz-Altisent en 1992. Este ensayo se lleva a cabo sobre probetas de 14mm de diámetro y 20mm de longitud. Se aplica una deformación creciente a 20mm/minuto hasta que se alcanza el punto de rotura. La resistencia máxima a esfuerzo cortante se emplea como crujientez instrumental.
- Ensayos químicos: **determinación de sólidos solubles (SSC)** mediante un refractómetro ATAGO PR101, y **valoración de la acidez titulable o acidez total** (meq/l) mediante valoración con sosa cáustica 0.1N y fenoltaleína como indicador de final de la valoración.

4 ESTRUCTURA DEL MODELO

El desarrollo de la estructura del modelo ha sido descrito por De Smedt en el año 2000 (ver Figura 1). Una manzana es un sistema muy complejo que puede ser resumido por un conjunto de seis variables de estado sometidas a reacciones bioquímicas (respiración, hidrólisis de almidón, y solubilización de la lamela media), y fenómenos de transporte de agua (de dentro de la célula a los espacios intercelulares, y de éstos al ambiente). La manzana es aproximada a dos compartimentos (la célula y los espacios intercelulares) que están separados por una membrana semi-permeable. El espacio intercelular puede a su vez intercambiar agua con el ambiente a través de la piel. Las variables de estado y su comportamiento dinámico están resumidos en la Tabla 1.

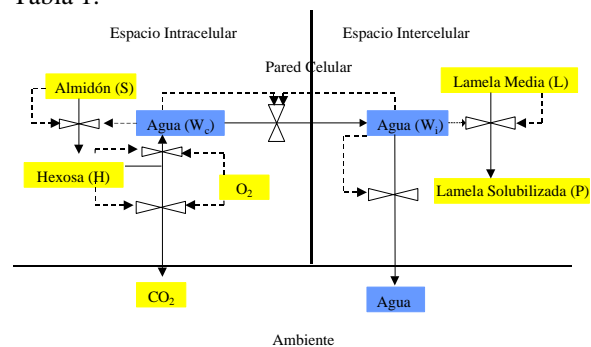


Figura 1. Representación esquemática del modelo.

Las relaciones entre las variables de estado y las variables mecánicas macroscópicas están resumida en la Tabla 2.

El modelo contiene 14 parámetros que han de ser estimados. Aunque la mayor parte de ellos pueden ser acotados a partir de datos bibliográficos. (ver Tabla 3.). La notación empleada en el modelo está descrita en la Tabla 4.

5 SIMULACIÓN CON ECOSIMPRO

La integración numérica del modelo se llevó a cabo con ECOSIMPRO. Todo el modelo, 6 variables de

estado y 2 condiciones de contorno (temperatura y humedad relativa ambientales), se han incluido dentro de un solo componente.

```
CONST REAL Rgas = 8.314
CONST REAL MW_S = 180.
CONST REAL MW_H = 180.
CONST REAL MW_P = 194.
CONST REAL MW_L = 194.
CONST REAL MW_H2O = 18.
```

```
FUNCTION NO_TYPE DISCR(OUT REAL x)
  BODY
  RETURN
END FUNCTION
```

COMPONENT appledgerdef

```
DATA
  REAL ks = 4.63e-07
  REAL kh = 1.39e-08
  REAL kl = 1.22e-07
  REAL hmc_Ac = 3.47e-12
  REAL hmi_Ai = 6.94e-14
  REAL Eo = 1.00e5
  REAL a = 9.33e6
  REAL b = 3.00e+01
  REAL c = 1.61e+01
  REAL d = 2.63e+00
  REAL e = 3e-06
  REAL f = 6.77e-01
  REAL g = 8.8e+07
  REAL Ap = 2.27e-4
  REAL lp = 17
  REAL Nc = 6.6e7
```

DECLS

```
BOUND REAL T
BOUND REAL phi
REAL B
REAL E
REAL H
REAL L
REAL P
REAL PSI_c
  REAL PSI_pc
  REAL PSI_pic
REAL PSI_i
REAL PSI_amb
REAL S
REAL Wc
REAL Wi
REAL m_apple
REAL m_apple_o
REAL weight_loss
REAL SF
REAL CFD
REAL Vw
  REAL VH
  REAL VS
```

```
REAL V
REAL JUICE
REAL Lo
REAL Po
  REAL SSC -- añadido
  REAL days
INIT
  m_apple_o = S * MW_S + H * MW_H + L *
MW_L + P * MW_P + \
  Wc * MW_H2O + Wi * MW_H2O
  Lo = L
  Po = P
CONTINUOUS
  DISCR(m_apple_o)
  DISCR(Lo)
  DISCR(Po)
  --Hydrolysis of starch
  S' = - ks * S * Wc / ( S + H + Wc)
  --Oxidation of sugars
  H' = - kh * H + ks * S * Wc / ( S + H + Wc)
  --Hydrolysis of the middle lamella
  L' = - kl * L * Wi / (L + P + Wi)
  P' = kl * L * Wi / (Lo + Po + Wi)
  --Water balance in the cell
  Wc' = 6 * kh * H - ks * S * Wc / (S + H + Wc) \
- hmc_Ac * (PSI_c - PSI_i)
  --Water balance in the intercellular space
  Wi' = hmc_Ac * (PSI_c - PSI_i) - hmi_Ai \
* (PSI_i - PSI_amb) - kl * L * Wi / (Lo + Po + Wi)
  Vw = MW_H2O / 1e6
  VH = MW_H / 1e6
  VS = MW_S / 1e6
  V = (H * VH + Wc * Vw + S * VS) / Nc
  PSI_c = PSI_pic + PSI_pc
  PSI_pc = a - b * V**(-1/2)
  PSI_pic = Rgas * T / Vw * log(Wc / (Wc + H \
+ S))
  PSI_i = Rgas * T / Vw * log(Wi / (Wi + P + L))
  PSI_amb = Rgas * T / Vw * log(phi/100)
  --Output variables
  B = L / (Lo + Po)
  JUICE = c * (Wi + B * Wc)
  SF = d * exp(e * PSI_pc)
  E = Eo + f * PSI_c + g * L
  CFD = (Ap / lp) * E
  SSC = H * MW_H * 100 / (Wc * MW_H2O)
  weight_loss = 100 * (m_apple_o - m_apple) /
m_apple_o

  m_apple = S * MW_S + H * MW_H + L *
MW_L + P * MW_P + \
  Wc * MW_H2O + Wi * MW_H2O
  days = TIME / 3600. / 24.
END COMPONENT
```

6 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO Y DISCUSION

Dado el elevado número de parámetros a estimar en relación con los datos experimentales disponibles, el ajuste de los valores iniciales, y de los parámetros se hizo de forma manual para dos conjuntos de datos extremos (recolección temprana y tardía). Por este motivo en el momento actual el modelo sólo debe evaluarse cualitativamente. Todos los valores predichos por el modelo ajustan los datos experimentales con un nivel de tolerancia dentro por debajo del error típico de los datos experimentales.

Los valores iniciales así como los parámetros del modelo para dos fechas de recolección extremas están, presentados en la Figura 2 y la Tabla 5 respectivamente.

Una comparación de los valores ajustados para manzanas *Golden* en recolección temprana y tardía (ver Tabla 5) indica que las manzanas cosechadas de forma tardía tienen en el momento de la recolección menos almidón (S_0), más cantidad de hexosa (H_0) y una tasa de respiración mayor (k_H) que las manzanas tempranas. El nivel de lamela media solubilizada en recolección (L_{03}) fue también menor para las manzanas tardías aunque con un ritmo de solubilización inferior que las manzanas tempranas (k_L).

En el modelo mecanicista, tal y como puede comprobarse en el elemento de ECOSIMPRO, se considera que:

- la crujientez instrumental (SF) sólo depende de la presión de turgencia (Ψ_p) en el interior de la célula,
- la dureza instrumental (CFD) está principalmente relacionada con la cantidad de lamela media no solubilizada (L) y sólo en una pequeña cuantía vinculada con la presión de turgencia de las células (Ψ_p) y otros componentes estructurales (aproximadamente una contribución respectiva del 65%, 30% y 5%),
- la jugosidad (JUICE) se deriva en un 90% de la combinación del porcentaje de células rotas (B) y del agua intracelular (W_c) durante una carga. El agua en los espacios intercelulares completa la contribución a la jugosidad, y
- el contenido en sólidos soluble es proporcional al ratio contenido en hexosa (H) sobre agua intracelular. Por tanto la combinación de pérdida de turgencia y tasa de respiración es crítica en la dinámica de los sólidos solubles.

Se ha llevado a cabo la simulación temporal de las variables de estado y de las variables macroscópicas (crujientez, dureza y jugosidad instrumentales) para humedad ambiente del 95% y 99% y para tasas de respiración ($0.1 k_H$ y k_H , ver Figura 3). Tal y como es esperable, la humedad relativa tiene un gran efecto sobre la tasa de transpiración: el agua es bombeada desde la célula a los espacios intercelulares, y de estos al ambiente, descendiendo la crujientez de acuerdo con ello. El pequeño efecto de la humedad

relativa sobre la dureza se debe también a la pérdida de turgencia.

Un aspecto interesante en este modelo, es el efecto de los componentes químicos como la cantidad de hexosa sobre la evolución de algunos parámetros texturales como la crujientez y la dureza. Una tasa de respiración elevada promueve la pérdida de potencial osmótico dentro de la célula permitiendo el descenso del potencial de turgencia y de la crujientez. Como consecuencia, se produce un incremento en la cantidad de agua en los espacios intercelulares que permite un incremento ligeramente superior de la degradación de la lamela media y por tanto descenso de la dureza. El rango de variación de la tasa de respiración empleado respiración ($0.1 k_H$ a k_H), es incluso pequeño comparado con el referenciado por algunos autores respiración ($0.1 k_H$ a $10 k_H$; Hertog y cols., 1997) de manera que podrían esperarse en la resultados incluso más acentuados.

El efecto de la tasa de respiración en el contenido en sólidos solubles es comparable al de la humedad relativa del ambiente. Una humedad relativa elevada (baja pérdida de agua) combinada con una tasa de respiración elevada reduce significativamente el nivel de sólidos solubles. Descenso que no se registra para humedades relativas bajas con la misma tasa de respiración.

Agradecimientos

Al Proyecto Europeo FAIR CT 950302 por la financiación del estudio. A Pedro Cobas y Ramón Pérez-Vara por su introducción a ECOSIMPRO.

Referencias

- [1] Stevens, B. L. & Lewis, F. L., (1992) "Aircraft control and simulation", John Wiley & Sons, Inc, USA.
- [1] Barreiro, P.; Ortiz C; Ruiz-Altisent M; Recasens I; Asensio M.A. (1998a). Mealiness in apples. Comparison between human and instrumental procedures and results. Proceedings of From Sensors to Decision Support System in Agriculture, Food Industry and Environment. SENSORAL 98. Edited by Veronique Bellon-Murel, CEMAGREF Editions ISBN 2-85362-499-4, Vol 2, 162-163.
- [2] Barreiro, P.; Ruiz-Altisent, M.; Ortiz, C.; De Smedt, V.; Schotte, S.; Bhanji, Z.; Wakeling, I (1998b) Comparison between sensorial and instrumental measurements for mealiness assessment in apples. A collaborative test. Journal of Texture Studies 29 (5), 509-525.
- [3] Belitz H.D. and Grosch W. 1997. Food Chemistry. Ed Springer-Verlag ISBN (3-540-15043-9).
- [4] De Smedt, V.; Pauwel, E. De Baerdemaeker, J. and Nicolaï B. (1998) Microscopic observation of mealiness in apples: a quantitative approach.

- Postharvest Biology and Technology 14, 151-158.
- [5] De Smedt V. (2000). Measurement and modelling of mealiness in apples. PhD Thesis. Katholieke University Leuven (under evaluation)
- [6] Hall D.O; Scurlock J.M.O; Bolhar-Nordenkamp H.R; Leegood R.C; and Long S. P. (1993). Photosynthesis and Production in a changing environment. Ed. Chapman and Hall, London. ISBN 0 412 42900 4
- [7] Harker, F.R. and Hallett, I.C. (1992). Physiological changes associated with development of mealiness of apple fruit during cool storage. HortScience 27(12), 1291-1294.
- [8] Hertog M.L.A.T.M; Tijkens L.M.M and Hak P.S. (1997). The effects of temperature and senescence on the accumulation of reducing sugars during storage of potato tubers: a mathematical model. Postharvest Biology and Technology 10, 67-79
- [9] Jarén C.; Ruiz-Altisent M. (1992). Clasificación de la madurez de los frutos mediante impactos no destructivos. Actas de la 24 CIMA pp:545-552 Zaragoza 1-4 Abril.
- [10] Jowitt, R. (1974) The terminology of food texture. Journal of Texture Studies 5, 351-358.
- [11] Paoletti F.; Moneta E.; Sinesio F. (1993). Mechanical properties and sensory evaluation of selected apple cultivars. Lebensm.-Wis. u.-Technol. 26, 264-270
- [12] Reeve R.M. (1953). Histological investigations of texture in apples. II structure and intercellular spaces. Food Research 18, 604-615
- [13] Tijkens L.M.M; Van Schaik A:C:R; Hertog M.L.A.T. and De Jager A. (1997) Modelling firmness of Elstar apples during storage and transport. Proceeding of Effect of Preharvest and Postharvest Factors during Storage of Fruit. Warsaw. Poland 2.
- [14] Verlinden, B.E. and J. De Baerdemaeker, (1997). Modeling low temperature blanched carrot firmness based on heat induced processes and enzyme activity. Journal of Food Science 62(2):213-218.
- [15] Verlinden, B.; Nicolai, B.; and De Baerdemaeker, J. (1997) Modeling the relationship between macroscopic vegetable tissue strength and the strength of cell walls and middle lamella: a stochastic approach. ASAE paper NO. 97

Tabla 1. Resumen del modelo. Cada línea corresponde a una variable de estado: disolución de puentes de almidón (S), cantidad de unidades de hexosa (H), disolución de puentes de lamela media (L), residuos de pectina (P), cantidad de agua en el compartimento celular (W_c), y cantidad de agua en los espacios intercelular (W_i); ver Tabla 4 para la notación.

$$\frac{dS}{dt} = -k_s S \frac{W_c}{S + H + W_c}, \text{ with } S_n(t=0) = S_{n0}$$

$$\frac{dH}{dt} = +k_s S \frac{W_c}{S + H + W_c} - k_h H, \text{ with } S(t=0) = S_0$$

$$\frac{dL}{dt} = -k_l L \frac{W_i}{L_0 + P_0 + W_i}, \text{ with } L(t=0) = L_0$$

$$\frac{dW_c}{dt} = +6k_h H - k_s S \frac{W_c}{S + H + W_c} - h_{mc} A_c (\Psi_c - \Psi_i) \text{ with } W_c(t=0) = W_{c0}$$

$$\frac{dW_i}{dt} = h_{mc} A_c (\Psi_c - \Psi_i) - h_{mi} A_i (\Psi_i - \Psi_\infty) - k_l L \frac{W_i}{L_0 + P_0 + W_i}, W_i(t=0) = W_{i0}$$

Tabla 2. Relación de las variables de estado con algunas variables intermedias: índice de rotura de células (B , -), y con las variables experimentales: **jugosidad** ($JUICE$, mm2), **crujientez** (SF , N), **dureza** (CFD , N/mm) and **sólidos solubles** (SSC , °BRIX or %)

$$B = L / (L_0 + P_0) \quad JUICE = c * (W_i + B * W_c) \quad SSC = (H * M_H * 100) / (W_c * M_W)$$

$$SF = d \exp(e \Psi_{pc}) \quad CFD = A_p / l_p * (E_o + f * \Psi_{pc} + g * L)$$

Table 3. Datos extraídos de la bibliografía para acotar el rango de variación de las variables de estado, y de las variables intermedias y de los parámetros del modelo

$W_c + W_i$	85% del peso fresco ó 47 moles por kg peso fresco (Belitz & Grosch, 1997)
$H + S$	11% del peso fresco ó 0.6 moles por kg peso fresco (Belitz & Grosch, 1997)
$P + L$	0.6% del peso fresco ó 0.03 moles por kg peso fresco (Belitz & Grosch, 1997)
A_c	6.45 m2 por kg de peso fresco (derivado de Reeve, 1953)
k_s	0.0161 – 0.0033 1/día
k_h	8.39 10 ⁻⁵ – 1.53 10 ⁻² 1/día (Hertog et al., 1997)
Ψ_p	0.54 a 1.13 Mpa (Harker & Hallet, 1992)
	se hace 0 para un contenido de agua aproximado del 80% (Hall et al., 1993)
Ψ_π	-1.33 a -1.8 Mpa (Harker & Hallet, 1992)
B	80 a 40% para tejido fresco y harinoso respectivamente (De Smedt et al., 1998)

Tabla 4. Notación

A_c, A_i	(m ² /kg f.w.)	área específica de la membrana y superficie específica exterior de la manzana
A_p	(m ²)	Sección transversal de la probeta empleada en compresión confinada
b	(N/sqrt m)	Coficiente
B	(-)	índice de rotura de células
c	(mm ² kg f.w./mole)	Coficiente
d	(-)	Coficiente
e	(m ²)	Coficiente
E_0	(N/m ²)	Módulo de elasticidad de referencia del tejido de manzana fresco
f	(-)	Coficiente
g	(N kg.p.fr/m ² mole)	Coficiente
H	(mole/kg f.w.)	Moles de hexosa por kg de tejido de manzana
$h_{m,c}$	(mole/m ² .Pa.s)	Coficiente de transferencia de masa del transporte de agua a través de la pared celular
$h_{m,i}$	(mole/m ² .Pa.s)	Coficiente de transferencia de masa del transporte de agua de los espacios intercelulares al ambiente
k_L	(1/s)	constante cinética para la degradación de la lamela media
k_H	(1/s)	constante cinética para la oxidación de los azúcares
k_S	(1/s)	constante cinética para para la hidrólisis del almidón
L	(mole/kg f.w.)	Moles de enlaces hidrolizados en la lamela media por kg de peso fresco de tejido
l_p	(Mm)	Longitud de la probeta empleada en compresión confinada
M_H	(g)	Masa molecular de las unidades de hexosa
M_w	(g)	Masa molecular del agua
P	(mole/kg.f.w.)	Moles de residuo de pectina por kg de peso fresco de tejido
S	(mole/kg f.w.)	Moles de hidrólisis de puentes de almidón por kg de peso fresco de tejido
t	(S)	Tiempo
T	(K)	Temperatura
W_i	(mole/kg f.w.)	Moles de agua en los espacios intercelulares por kg de peso fresco de tejido
W_c	(mole/kg f.w.)	Moles de agua en el compartimento celular por kg de peso fresco de tejido
f_{rel}	(-)	Humedad relativa
Ψ_c	(Pa)	Potencial de agua total en el compartimento celular = $\Psi_{p,c} + \Psi_{p,c}$; PSI_c en el componente de ECOSIMPRO
Ψ_i	(Pa)	Potencial de agua total en el compartimento intercelular; PSI_i en el componente de ECOSIMPRO
y_∞	(Pa)	Potencial de agua total del ambiente = $f(T, f_{rel})$; PSI_amb en el componente de ECOSIMPRO
Ψ_p	(Pa)	Potencial osmótico: $\Psi_{p,c}$ en el compartimento celular, $\Psi_{p,i}$ en el compartimento de espacios intercelulares ; PSI_pic en el componente de ECOSIMPRO
$\Psi_{p,c}$	(Pa)	Presión de turgencia en el compartimento celular; PSI_pc en el componente de ECOSIMPRO

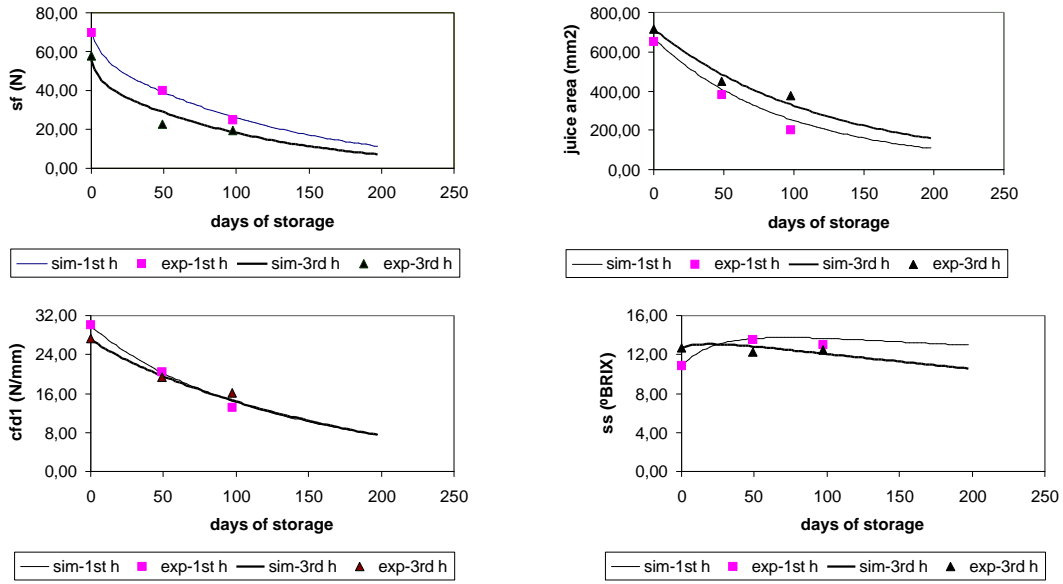


Figura 2. Datos experimentales vs. datos texturales predichos en manzana *Golden* para la fecha de recolección temprana (1st h) y tardía (3rd h), y calibre superior a 75mm grande. Los valores iniciales y los parámetros del modelo están indicados en la Tabla 5.

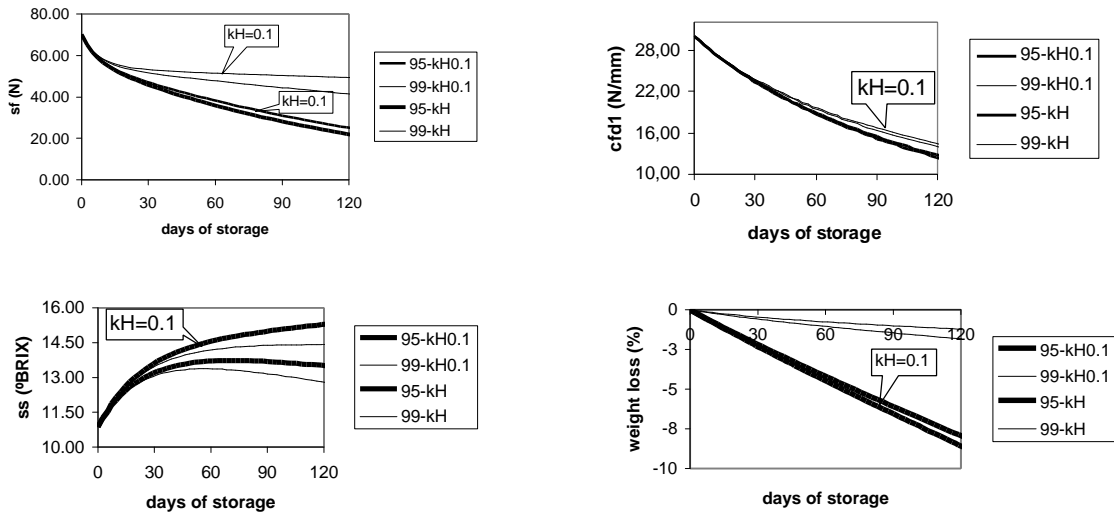


Figure 3. Cinética en almacenamiento frigorífico de manzanas *Golden* procedentes de recolección temprana para varias tasa de respiración ($0.1 k_H(1)$ & $k_H(1)$) y humedad relativa ambiente (95 & 99RH).

Table 5. Valores de las variables de estado y de los parámetros del modelo ajustados manualmente. Los datos experimentales ajustados corresponden a manzanas *Golden* en recolección temprana (1) y tardía (3).

Valores iniciales en recolección temprana (1)			Valores iniciales en recolección tardía(3)		
S_{01}	[mole/kg.p.fr]	1.5e-01	S_{03}	[mole/kg.p.fr]	3.89e-02
H_{01}	[mole/kg.p.fr]	4.84e-01	H_{03}	[mole/kg.p.fr]	5.58e-01
L_{01}	[mole/kg.p.fr]	2.06e-02	L_{03}	[mole/kg.p.fr]	1.84e-02
P_{01}	[mole/kg.p.fr]	3.04e-03	P_{03}	[mole/kg.p.fr]	6.17e-04
W_{e01}	[mole/kg.p.fr]	4.45e+01	W_{e03}	[mole/kg.p.fr]	4.39e+01
W_{i01}	[mole/kg.p.fr]	2.68e+00	W_{i03}	[mole/kg.p.fr]	1.86e+00
Parámetros del modelo: recolección temprana (1) y tardía (3)					
$k_S(1)&(3)$	[1/s]	4.63e-07	a	[Pa]	9.33e+06
$k_H(1); k_H(3)$	[1/s]	1.39e-08 ; 2.31e-08	b	[N/√m]	3.00e+01
$k_L(1); k_L(3)$	[1/s]	1.22e-07 ; 5.79e-08	c	[mm ² kg.p.fr./mole]	1.61e+01
$h_m A_c(1)&(3)$	[mole/Pa s]	3.47e-12	d	[-]	2.63e+00

1ª Reunión de Usuarios de EcosimPro, UNED, Madrid, 3-4 Mayo 2001

$h_{mi}A_i(1)&(3)$	[mole/Pa s]	6.94e-14	e	[m ²]	3.00e-06
N_c	[1/kg.p.fr]	6.60e+07	f	[-]	6.77e-01
E_o	[N/m ²]	1.00+05	g	[N kg.p.fr./m ² mole]	8.80e+07