



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

ANÁLISIS PARA ESTABLECER CONDICIONES ESTABILIDAD DE JUGO DE BETABEL MICROENCAPSULADO MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN

Nombres completos de los autores:

I.Q. Luis Antonio Escalona García

I.I. Thelma Fuentes Ortega

Dr. Julian Cruz Olivares

Dr. Sandra Luz Martínez Vargas

Dr. Armando Ramírez Serrano

Dr. César Pérez Alonso* (cpereza@uaemex.mx)

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Cuerpo Académico de Ingeniería Química, Paseo Colón esq. Paseo Tollocan s/n, Col. Residencial Colón, C.P. 50120, Toluca, Estado de México, México.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

**ANÁLISIS PARA ESTABLECER CONDICIONES ESTABILIDAD DE JUGO DE
BETABEL MICROENCAPSULADO MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN**

L.A. Escalona-García^a, T. Fuentes-Ortega^a, J. Cruz-Olivares^a, S.L. Martínez-Vargas^a, A. Ramírez-Serrano^a, C. Pérez-Alonso^{a*}

^aUniversidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Cuerpo Académico de Ingeniería Química, Paseo Colón esq. Paseo Tolloca s/n, Col. Residencial Colón, C.P. 50120, Toluca, Estado de México, México, *E-mail: cpereza@uaemex.mx.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

RESUMEN

En este trabajo se microencapsuló jugo de betabel (BJ) (*Beta vulgaris* L.) mediante secado por aspersión empleando goma Arábica como agente encapsulante. Las isothermas de adsorción y la entropía mínima integral $(\Delta S_{int})_T$ fueron determinadas a 25, 35 y 40 °C. La temperatura de transición vítrea (T_g) se midió por calorimetría diferencial de barrido y modelada con la ecuación de Gordon-Taylor. El conjunto de valores contenido de humedad-actividad de agua ($M-a_w$) obtenidos a partir de la entropía mínima integral, así como el conjunto de valores de contenido de humedad crítico (CMC)-actividad de agua crítico (CWA) obtenidos a partir de la T_g resultaron ser similares, teniendo valores en el intervalo de 5.11 a 7.5 kg H₂O/100 kg s.s. para el contenido de humedad y de 0.532 a 0.590 en el intervalo de a_w . Estas condiciones críticas de almacenamiento fueron considerados como las mejores para incrementar la estabilidad de las microcápsulas.

ABSTRACT

In this work was microencapsulated beetroot juice (BJ) (*Beta vulgaris* L.) by spray-drying using as protective colloid gum Arabic. The adsorption isotherms of the microcapsules and the minimum integral entropy $(\Delta S_{int})_T$ were determined at 25, 35 and 40 °C. The glass transition temperature (T_g) was measured by differential



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

scanning calorimetry and modeled by Gordon-Taylor equation. The water contents-water activity ($M-a_w$) sets obtained from $(\Delta S_{int})_T$, and critical water content (CWC) and critical water activity (CWA) from the T_g were similar, being in the range of water content of 5.11-7.5 kg H₂O/100 kg d.s. and in the water activity range of 0.532-0.590. These critical storage conditions were considered as the best conditions for increase the stability of the microcapsules.

Palabras clave: Estabilidad, Jugo de Betabel, Secado por aspersion, Actividad de agua critica, Contenido de humedad crítico, Temperatura de transición vítrea, Entropía mínima integral.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los países latinoamericanos, entre ellos nuestro país, tienen una creciente necesidad de exportación de distintos productos con características específicas y de buena calidad que permita competir en un mercado cada vez más globalizado, de ahí la importancia de vincular la investigación con el sector agrícola e industrial para el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan un mejor manejo y aprovechamiento de las materias primas producidas.

La mayor parte de la producción de betabel (*Beta vulgaris* L.) se utiliza en la producción de jugos y alimentos deshidratados en la industria de los alimentos y recientemente es utilizado en la industria farmacéutica y de cosméticos. Los



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

principales Estados productores de este vegetal son el Estado de México, Puebla, Jalisco, Baja California y Guanajuato.

El betabel es una fuente vegetal que contiene predominantemente dos tipos de pigmentos llamados betalainas; las betacianinas que le dan una tonalidad rojo-violeta y las betaxantinas que le proporcionan una tonalidad amarilla. El betabel rojo ha sido la fuente vegetal más popular de betalainas para ser empleado como colorante natural, esto se debe a que el principal componente del betabel, la betanina, es quien le confiere esta tonalidad rojo intenso, además de que el betabel es rico en antioxidantes y minerales (Nemzer et al., 2011).

Las características del betabel demandan a la industria alimentaria la implementación de diferentes procesos; como la tecnología de microencapsulación, para conservar las propiedades funcionales de dicho vegetal y procesarlo para obtener productos de alto valor agregado. Es por ello que científicos e ingenieros se enfocan a desarrollar productos mínimamente procesados, que aporten un beneficio a la salud, que presenten un sabor de frescura y que además tenga una vida de anaquel prolongada, por lo que se continúa trabajando en la generación de nuevos conocimientos en el campo de la encapsulación de colorantes.

En México prácticamente toda la infraestructura de microencapsulación está basada en la técnica de secado por aspersión. Esto se debe a la versatilidad de estos equipos que son ampliamente utilizados en la producción de café



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

instantáneo, leche en polvo, producción de maltodextrinas, bebidas en polvo, sucedáneos de leche, etc. En cuanto a la tecnología de microencapsulación la gran mayoría está dirigida a la encapsulación de sabores y colorantes para obtener polvos que fluyan libremente, que no se apelmacen y sean fácilmente mezclables con otros ingredientes secos (Mosquera et al., 2012; Carrillo-Navas et al., 2011).

Por lo tanto, el objetivo general de este trabajo se dividió en cuatro actividades: i) microencapsular jugo de betabel por secado por aspersion; ii) establecer condiciones de estabilidad máxima de las microcápsulas de jugo de betabel en el punto de entropía mínima integral; iii) relacionar el estado físico de las microcápsulas mediante la temperatura de transición vítrea; y iv) determinar el porcentaje de retención de betanina presente en el jugo de betabel microencapsulado y acondicionado a distintas temperaturas y actividades de agua.

II. METODOLOGÍA

Materiales

El betabel se adquirió en un supermercado en la ciudad de Toluca, Estado de México. Como agente encapsulante se utilizó goma Arábica (GA) (*Prosopis laevigata*), la cual fue adquirida en Industria Ragar, S.A. de C.V. (Ciudad de México, México). Todos los reactivos empleados fueron grado analítico y fueron



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

comprados en la compañía SIGMA ALDRICH S.A. de C.V. Toluca, México. En todos los experimentos se utilizó agua bidestilada.

Extracción del jugo de betabel

El betabel fue lavado, se eliminó la corteza y se cortó en cubos, los cuales fueron exprimidos en un extractor de jugos comercial marca Taurus®, una vez extraído el jugo este fue filtrado con una coladera (tamiz no. 9) (2000 μ m) con el objeto de eliminar los sólidos totales en suspensión y obtener así, jugo de betabel libre de sólidos.

Formulación de disolución acuosa de jugo de betabel y GA

Se preparó una disolución acuosa al 30% p/p con goma Arábica y el jugo de betabel a temperatura ambiente (~20 °C). Las soluciones se agitaron con un homogeneizador Ultra-Turrax T50 basic (IKA-WERKE Works Inc., Wilmington, NC, EUA) a una velocidad de 5800 r.p.m. durante 5 min, con un baño de hielo para mantener la disolución por debajo de los 30 °C. Las soluciones se almacenaron a 4 °C durante 24 h antes de ser utilizadas para minimizar el crecimiento de bacterias.

Formación de microcápsulas



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

La disolución posteriormente se alimentó a una velocidad de 40 mL/min a un secador por aspersión Nichols/Niro (Turbo Spray PLA, NY, EUA). Dicho secador se precalentó a una temperatura de entrada de $150 \pm 5^\circ\text{C}$ y una temperatura de salida de $80 \pm 5^\circ\text{C}$, con una presión de aire comprimido de 4 bar (Carrillo-Navas et al., 2011).

Isotermas de Adsorción de agua en las microcápsulas

Las microcápsulas se colocaron en desecadores conteniendo P_2O_5 por 3 semanas a temperatura ambiente para reducir al máximo el contenido de humedad ($\sim 1\%$). Los datos de adsorción de humedad se obtuvieron siguiendo el método gravimétrico de Lang et al. (1981). Posteriormente las microcápsulas (1 ± 0.001 g) se colocaron en desecadores conteniendo soluciones saturadas salinas en el intervalo de actividades de agua de 0.11 a 0.85. Las microcápsulas se mantuvieron a 25, 35 °C y 40 °C hasta alcanzar el equilibrio. La ganancia de humedad de las microcápsulas se determinó por diferencia en peso después de secarlas a 60 °C en presencia del desecante perclorato de magnesio. La actividad acuosa y el contenido de humedad de las microcápsulas se midieron con un medidor de actividad de agua Aqualab con compensador de temperatura (modelo series 3 TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EUA) y con una balanza



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

analítica electrónica (Ohaus AP200, NY, EUA). El proceso de adsorción se modeló con la ecuación de GAB:

$$M = \frac{M_0 C K a_w}{1 - K a_w} \frac{1}{1 - K a_w + C K a_w} \quad \text{Ec. (1)}$$

donde M es el contenido de humedad en el equilibrio kg H₂O/100 kg s.s., M_0 es el contenido de humedad de la monocapa kg H₂O/100 kg s.s., a_w es la actividad de agua, C y K son constantes de la ecuación de GAB [adimensional].

Determinación de la entropía mínima integral

La determinación de la entropía mínima integral se llevó de acuerdo a la metodología descrita por Pérez-Alonso *et al.* (2006).

Determinación de la temperatura de transición vítrea de los microencapsulados

La temperatura de transición vítrea de los microencapsulados acondicionados a distintas actividades de agua se evaluó empleando un calorímetro diferencial de barrido modulado TA Instruments modelo Q1000 (New Castle, DE, EUA). Se colocaron 10 mg de microcápsulas en el equipo y se calentaron las microcápsulas



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
 Multidisciplinario
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
 ISBN: 978-607-95635

de -100 a 200 °C empleando una tasa de calentamiento de 3 °C/min (Mosquera et al., 2012). Finalmente se estimó la Tg empleando la ecuación de Gordon-Taylor:

$$Tg = \frac{x_M Tg_M + kx_W Tg_W}{x_M + kx_W} \quad \text{Ec. (2)}$$

donde Tg , Tg_M , y Tg_W son la temperatura de transición vítrea teórica, de la microcápsula y del agua, respectivamente; x_M y x_W son las fracciones peso del sólido y del agua, y k es un parámetro empírico. La temperatura de transición vítrea del agua pura se tomó como $Tg_W = -135$ °C. Todas las mediciones se llevaron a cabo por triplicado.

III. RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran los parámetros obtenidos de la ecuación de GAB, demostrando un ajuste satisfactorio a los datos experimentales, el módulo de desviación relativo promedio fue menor al 5%.

Tabla 1. Parámetros estimados de la ecuación de GAB

T (°C)	M_0 (kg H ₂ O/100 kg s.s.)	C	K	R^2	E (%)
----------	---	-----	-----	-------	---------



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

25	4.69	6.42	0.787	0.999	1.07
35	4.30	5.12	0.795	0.999	0.96
40	3.64	3.53	0.839	0.999	1.26

Las isotermas de adsorción describen los equilibrios de estado, la isoterma de GAB ha sido ampliamente utilizada para describir el comportamiento de sorción en alimentos, en intervalos de actividad de agua de 0.1 a 0.9 siendo de mayor aplicabilidad para el interés de alimentos. El valor de la monocapa (M_0) indica qué cantidad de agua está fuertemente adsorbida en sitios específicos, y es considerada como el valor óptimo para que un alimento sea más estable (Pérez-Alonso et al., 2006). Los valores obtenidos de la monocapa se encuentran entre 3.64 y 4.69 kg H₂O/100 kg s.s., estos valores disminuyen al aumentar la temperatura. La variación del valor de la monocapa con la temperatura indica que existen más sitios activos de adsorción de agua con el incremento de ésta, lo cual puede ser resultado de cambios estructurales, como el hinchamiento de las microcápsulas estudiadas.

En la figura 1 se presenta los gráficos de entropía integral en función del contenido de humedad a las tres temperaturas de estudio 25, 35 y 40 °C para las microcápsulas.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

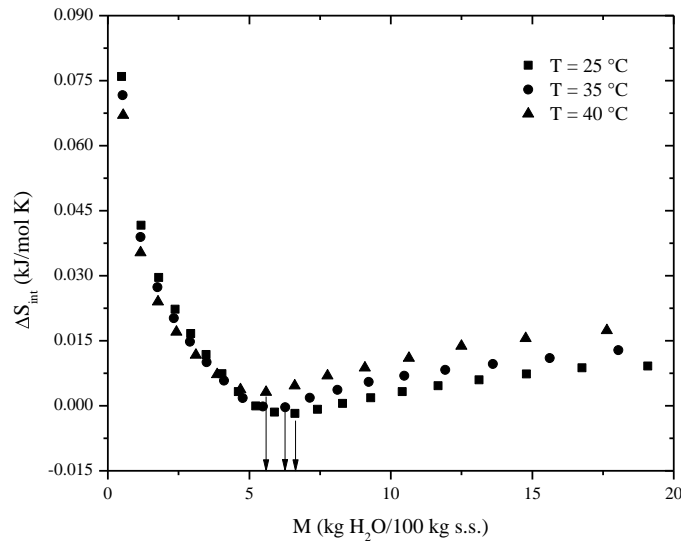


Figura 1. Entropía integral como función del contenido de humedad de las microcápsulas de jugo de betabel

Todos los valores de entropías integrales fueron negativos dentro del intervalo de contenido de humedad y de temperatura estudiados. La entropía integral mínima es interpretada como la condición de máxima estabilidad del sistema agua-microcápsula, es decir, de acuerdo a la segunda ley de la termodinámica un sistema es más ordenado cuando su ΔS es igual a cero o se aproxime. Conforme las microcápsulas adsorben humedad, la entropía disminuye hasta un mínimo,



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

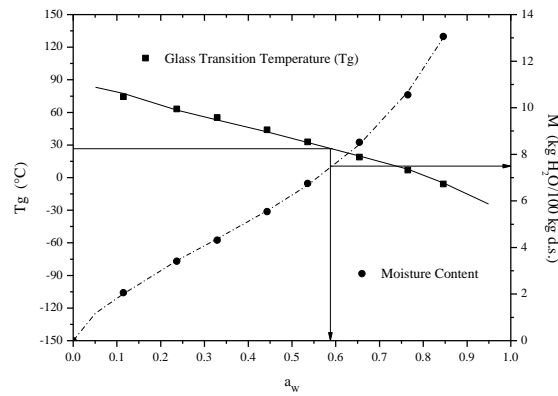
punto que es considerado como el de máxima estabilidad, ya que es donde las moléculas de agua alcanzan un arreglo más ordenado dentro del sólido. En nuestro estudio, los valores de entropía integral se localizaron en 6.63 kg H₂O/100 kg s.s., 6.26 kg H₂O/100 kg s.s. y 5.29 kg H₂O/100 kg s.s. a 25, 35 y 40°C, respectivamente.

En la figura 2 se muestran los datos de las isotermas de adsorción y la temperatura de transición vítrea de las microcápsulas en orden de determinar las condiciones críticas de estabilidad CWA y CMC a las temperaturas estudiadas de 25, 35 y 40 °C, respectivamente. Los valores de CWA a 25 °C fue de 0.587 y CMC de 7.50 kg H₂O/100 kg s.s., para la microcápsulas a 35 °C la CWA fue de 0.565 y CMC fue de 6.280 kg H₂O/100 kg s.s., mientras que para las microcápsulas a 40 °C la CWA fue de 0.554 y CMC de 5.11 kg H₂O/100 kg s.s. Tanto la actividad acuosa como la temperatura de transición vítrea han sido ampliamente utilizadas para evaluar condiciones de estabilidad y manejo de microcápsulas. Roos (1995) reporta que el grado de plastificación de biosólidos es resultado de efectos combinados entre el agua y la temperatura. De acuerdo a este autor, la predicción de la estabilidad de un alimento basado solamente en los datos de las isotermas de adsorción no es suficiente, ya que cambios fisicoquímicos o estructurales como la aglomeración, colapso, pegajosidad, transformaciones amorfas a cristalinas no se pueden relacionar con el contenido de humedad en la monocapa. Lo anterior sólo se puede relacionar mediante un diagrama de estado donde se correlaciona



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

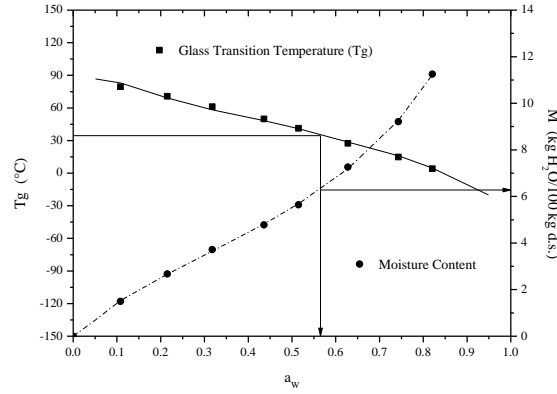
la temperatura de transición vítrea, actividad de agua y contenido de humedad del alimento.



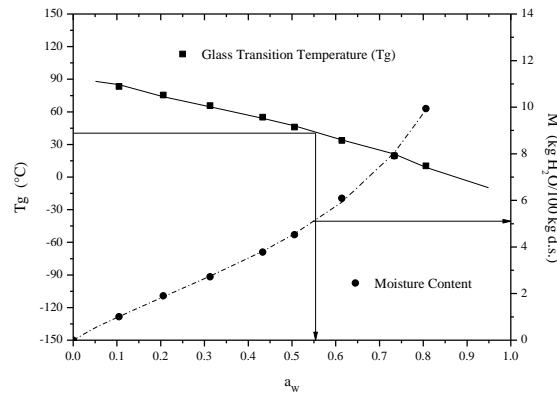
(a)



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635



(b)



(c)



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

Figura 2. Variación de la temperatura de transición vítrea (línea sólida) y el contenido de humedad (línea punteada) con respecto a la actividad de agua de las microcápsulas de jugo de betabel.

Los resultados anteriores se relacionan con el hecho de que si las microcápsulas se almacenan por arriba de la CWA y CMC, estas serán susceptibles a sufrir cambios estructurales sufriendo aglomeración, colapsamiento, fracturas y pérdidas de calidad del material encapsulado, en este caso, del jugo de betabel.

IV. CONCLUSIONES

Al establecer las condiciones de estabilidad mediante la actividad acuosa crítica y contenido de humedad crítico de las microcápsulas de jugo de betabel, este aditivo alimenticio aumenta su valor agregado y puede tener nuevas aplicaciones mediante la formulación de productos alimenticios. Este producto puede utilizarse como antioxidante, colorante natural y/o sustituto de azúcar. Además se puede impulsar su cultivo en las regiones agrícolas del Estado de México para posicionarlo como un Estado productor y procesador de betabel.

RECONOCIMIENTOS

16 | *“Congreso Internacional de Investigación e Innovación 2014” Multidisciplinario, 10 y 11 de abril de 2014. México*



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma del Estado de México por el financiamiento para la realización del trabajo a través del proyecto 3457/2013CHT.

V. BIBLIOGRAFÍA

Carrillo-Navas H., Rodea-González D.A., Cruz-Olivares J., Barrera-Pichardo J.F., Román-Guerrero A., Pérez-Alonso, C. 2011. Storage stability and physicochemical properties of passion fruit juice microcapsules by spray drying. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10(3): 421-430.

Lang K.W., McCune T.D., Steinberg M.P. 1981. A proximity equilibration cell for rapid determination of sorption isotherms. *Journal Food Science* 46: 936-938.

Mosquera L.H., Moraga G., Martínez-Navarrete N. 2012. Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and Arabic gum. *Food Research International* 47: 201-206.

Nemzer B., Pietrkowski Z., Spórna A., Stalica P., Threeshier W., Michałowski T., Wybraniec S. 2011. Betalainic and nutritional profiles of pigment-enriched red beet root (*Beta vulgaris* L.) dried extracts. *Food Chemistry* 127: 42-53.

Pérez-Alonso C., Beristain C.I., Lobato-Calleros C., Rodríguez-Huezo M.E., Vernon-Carter E.J. 2006. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. *Journal of Food Engineering* 77: 753-760.

Roos Y.H. 1995. Phase transitio