



AMIDIQ

ACADEMIA MEXICANA DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA EN INGENIERÍA QUÍMICA, A.C.

XXXII Encuentro Nacional y 1^{er} Congreso Internacional

“La Ingeniería Química
en el Año Internacional de la Química”

2011



www.amidiq.com



“LA INGENIERÍA QUÍMICA EN EL AÑO INTERNACIONAL DE LA QUÍMICA”

Memorias del XXXII Encuentro Nacional y 1^{er} Congreso Internacional de la AMIDIQ
Riviera Maya, Quintana Roo, México
Del 3 al 6 de mayo de 2011



La presentación y disposición en conjunto de:

“LA INGENIERÍA QUÍMICA EN EL AÑO INTERNACIONAL DE LA QUÍMICA”

Son propiedad de los autores.

Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método, electrónico o mecánico (INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito de los autores.

Derechos reservados conforme a la ley:

© Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ)

Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (607-95593)

ISBN: 978-607-95593-0-4

Impreso en México / Printed in México

XXXII Encuentro Nacional y 1^{er} Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

(VI) Ingeniería de Alimentos:

CLAVE	TITULO	AUTORES	ID
INGA-01	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES TERMICAS DE INULINA Y FRUCTANOS DE AGAVE (TEQUILANA WEBER VAR. AZUL) EN FUNCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA	Hugo Espinosa Andrews, Juan Alberto Resendiz Vázquez	366
INGA-02	ESTUDIO DE LA INCORPORACIÓN DE COMPUESTOS QUÍMICOS AL MEZCAL BLANCO DURANTE SU REPOSO EN BARRICAS DE ROBLE BLANCO	María Teresa Chimal Frías, José Enrique Botello Álvarez, José Luis Navarrete Bolaños, Hugo Jiménez Islas, Rita Miranda López, Ramiro Rico Martínez	839
INGA-03	EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE TOSTADO SOBRE ASPECTOS DE CALIDAD FISICOQUÍMICA DE GRANOS DE CACAO	Pedro García Alamilla, Graciela Cancino Hernández, Alberto Velázquez Rodríguez, Laura Mercedes Lagunes Gálvez, Juan Barajas Fernández, Ricardo García Alamilla	793
INGA-04	EFFECT OF THE EXTRUSION TEMPERATURE AND MOIST CONTENT ON THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF A BALANCED BOVINE CATTLE FEED MADE OUT OF BEAN FLOUR	Jessica Vargas Rodríguez, Efrén Delgado Licon, Marcela Ibarra Alvarado, Damián Reyes Jaquez, Jesús Rodríguez Miranda, Dante Yamid Díaz Barboza, Esther Araiza Rosales	499
INGA-05	EFFECT OF HIGH HYDROSTATIC PRESSURES ON BEEF MEAT PRESERVATION	Beatriz Sánchez Basurto González, Alberto Tecante, Mariana Ramírez Gilly, Patricia Severiano Pérez, María de los Ángeles Valdivia López, María del Carmen Wachter Rodarte	773
INGA-06	LA VÁLVULA-S: MODELADO DEL FLUJO DE SÓLIDOS GRANULARES UTILIZANDO UN MODELO HIDRODINÁMICO	Felipe Santoyo, Guadalupe Guatemala, Luis Virgen, Jorge Alberto García, Enrique Arriola Guevara	758
INGA-07	ESTUDIO DE LA TRANSFORMADA WAVELET DE SEÑALES ULTRASÓNICAS DURANTE EL PROCESO DE FERMENTACIÓN DE YOGURT	Luis Ricardo Reyes Estévez, Francisco Castellanos León, Luicita Lagunes Rivera, Andres Pech Pérez	3
INGA-08	NUEVO MODELO DE CAPA DELGADA PARA LA CINÉTICA DEL SECADO DE GRANOS DE CACAO EN UN LECHO FUENTE	Guadalupe Guatemala, Luis Virgen, Ignacio Orozco, Enrique Arriola	757
INGA-09	MODELACIÓN DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD DURANTE EL PROCESO DE TOSTADO DE GRANOS DE CACAO	Zenaida Guerra-Que, Ricardo García-Alamilla, Laura Mercedes Lagunes-Galvez, Juan Barajas-Fernández, Pedro García-Alamilla	573
INGA-10	EFFECTO DEL ORIGEN EN LAS PROPIEDADES INTRINSECAS DE LA GELATINA	Leticia López-Islas, Lilian Monserrat García-Lechuga, Diana Jaqueline Pimentel-González, Rafael Germán Campos-Montiel, Gabriel Aguirre-Álvarez	310
INGA-11	THE RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF RECONSTITUTED PITAYA JUICE POWDER	Lilia L. Méndez Lagunas, Narcedalia Anacleto MonterRubio, Juan Rodríguez Ramírez	843
INGA-12	SECADO DE <i>Sechium edule</i> (CHAYOTE) UTILIZANDO UN SECADOR HÍBRIDO	Víctor Alberto Corvera Pillado, Erik Abel De Los Santos Mata, Roberto Mendoza Serna, Eduardo Vázquez Zamora, Sergio Cruz Ortiz	724
INGA-13	EFFECTO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE SOBRE LA RAPIDEZ DE EVAPORACIÓN EN EL SECADO DE PAPA	Adriana De Lourdes Allier González, Sadoth Sandoval Torres	322
INGA-14	CUANTIFICACIÓN IN VITRO DE LA FRACCIÓN INDIGERIBLE DE ALGUNOS VEGETALES DE LA DIETA MEXICANA	Cesa Arnulfo Trujillo Hernández, Perla Osorio Díaz, Rodolfo Rendón Villalobos, Perla Concepción Alanis López	436
INGA-15	BIOPEPTIDES ANTIOXIDANTS OBTAINED WITH ALCALASA HYDROLYSIS OF PROTEINS OF AMARANTH (AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS L)	Adriana Ortiz Hernández, Rocío G. Rivera Acosta, Erik G. Tovar Pérez, Jorge Soriano Santos	659

XXXII Encuentro Nacional y 1^{er} Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DE INULINA Y FRUCTANOS DE AGAVE (*TEQUILANA WEBER VAR. AZUL*) EN FUNCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA

THERMAL PROPERTIES OF CHICORY ROOT INULIN AND AGAVE FRUCTANS (*TEQUILANA WEBER VAR. AZUL*) AS A FUNCTION OF WATER ACTIVITY

H. Espinosa-Andrews^{1*}, J. A. Resendiz-Vazquez¹.

¹*Departamento de Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, Guadalajara, Jalisco, 44270 México.*

*e-mail: hespinosa@ciatej.net.mx

Resumen

En este trabajo se estudiaron las propiedades térmicas de fructanos de achicoria (GR) y fructanos de agave (*AgF*) en función de la actividad de agua (a_w). Las muestras fueron deshidratadas en el interior de un calorímetro diferencial de barrido a 110°C, posteriormente se realizó un barrido de temperatura modulada de 40 a 170°C (4°C/min, 60s, $\pm 1^\circ\text{C}$) en atmósfera de nitrógeno (50 mL/min). Las muestras deshidratadas GR y AgF presentaron una temperatura de transición vítrea (T_g) de 131.8 y 109.6°C, respectivamente. Las ramificaciones de los AgF actúan como plastificantes internos repercutiendo en pequeños decrementos en la T_g cuando son comparados con polisacáridos lineales GR. Las muestras equilibradas a diferentes a_w (0.35 a 0.75) evidenciaron que la T_g disminuyó conforme aumentó la a_w , debido al efecto plastificante del agua. Se observó que las T_g fueron menores para las muestras AgF en comparación con las muestras GR a una a_w . A una a_w aproximada de 0.53 la T_g presentó valores de 23.4 y 16.0°C para GR y AgF, respectivamente. La temperatura y el contenido de agua son factores que controlan el colapso de la estructura, pegajosidad y apelmazamiento de los fructanos.

Palabras clave: DSC, transición vítrea, actividad de agua, fructanos de achicoria, fructanos de agave

Abstract

In this work we studied the thermal properties of chicory fructans (GR) and agave fructans (AgF) as a function of water activity (a_w). The samples were dried inside a differential scanning calorimeter to 110°C, then subjected to a modulated temperature scanning from 40 to 170°C (4°C/min, 60s, $\pm 1^\circ\text{C}$) in nitrogen atmosphere (50 ml/min). Dried samples of AgF and GR showed the presence of a glass transition temperature (T_g) at 131.8 and 109.6°C, respectively. The ramifications of AgF act as internal plasticizers impacting small decreases in T_g when compared with linear polysaccharides such as GR. The samples equilibrated at different a_w (0.35 to 0.75) showed that the T_g decreased with increasing a_w , due to water plasticizing effect. It was observed that the T_g was lower for AgF compared with GR, at a_w value. A a_w of about 0.53, T_g showed values of 23.4 and 16.0°C for GR and AgF, respectively. The temperature and moisture content are factors that control the collapse of the structure, stickiness and caking of the fructans.

Key words: DSC, glass transition, water activity, chicory fructans, agave fructans.

INTRODUCCIÓN

El interés en los fructanos continúa en incremento debido a que se ha descubierto por la industria de los alimentos como un ingrediente alimenticio saludable. Los fructanos se encuentran naturalmente presentes en muchas plantas como carbohidratos de reserva y han sido correlacionados con la capacidad de la planta a resistir los ciclos climáticos de frío y sequía. Los fructanos tienen diferentes estructuras y longitudes de cadenas, en un intervalo arriba de tres hasta unos cientos de unidades de fructosa. Uno de los fructanos más simples es la inulina línea, la cual consiste moléculas de fructosa unidas por enlaces β (1 -2) fructosil-fructosa, presente en las plantas

XXXII Encuentro Nacional y 1^{er} Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

pertenecientes a la Asterales (achicoria) (Ritsema y Smeekens, 2003). Los fructanos del agave *tequila Weber var. Azul* (AgF) consisten en una mezcla compleja, que contiene principalmente fructanos altamente ramificados y neo-fructanos (Figura 1) (Waleckx *et al.*, 2008; López *et al.*, 2003)

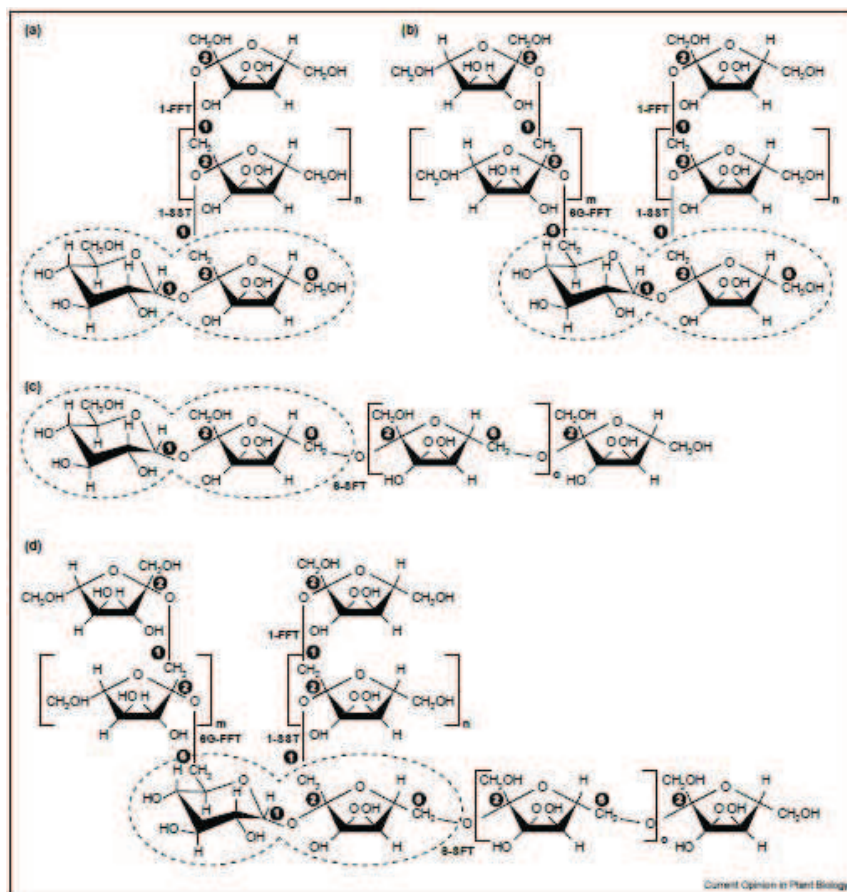


Figura 1. Ejemplos de diferentes tipos de fructanos, a) Inulina lineal, b) Neo-series, c) Levanos y d) Graminanos (extraída de Ritsema y Smeekens, 2003).

La inulina ha atraído mucho la atención en la industria de alimentos y farmacéutica por sus múltiples beneficios tales como fibra dietética y prebiótico natural, así como por sus propiedades tecnofuncionales relacionadas con el incremento de la vida de anaquel de los alimentos (Kawai *et al.*, 2011; Franck, 2002). Actualmente, la inulina es empleada como un ingrediente en alimentos horneados (panificación), lácteos, en fórmulas de infantes y suplementos dietéticos como resultado de sus propiedades benéficas a la salud (Seipert *et al.*, 2008). Varios estudios referentes a las propiedades fisicoquímicas de fructanos de achicoria han sido reportados en la literatura. Estos reportes son basados en la determinación de sus propiedades térmicas e isothermas de sorción de agua, comúnmente usadas para evaluar la estabilidad de almacenamiento, así como en el diseño y control de procesos, por ejemplo, en la predicción del punto final de secado y la optimización de selección de ingredientes en las formulaciones de alimentos (Sablani *et al.*, 2007). Kawai *et al.* (2011) evaluaron los efectos del contenido de humedad, peso molecular y cristalinidad en la temperatura de transición vítrea (T_g) de muestras de fructanos de achicoria. Ellos observaron que la T_g de los fructanos de achicoria disminuyó con el incremento del contenido de humedad y grado de polimerización. Zimeri y Kokini (2002) observaron que muestras de fructanos de achicoria nativa presentó una estructura semi-cristalina, que, a 25°C y valores de actividad de agua inferiores a

XXXII Encuentro Nacional y 1^{er} Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

0.75, fue encontrada en un estado vítreo. Sin embargo, no existen estudios que permitan conocer las propiedades térmicas de fructanos de diferente naturaleza. El objetivo del presente estudio fue evaluar las propiedades térmicas de muestras de fructanos de achicoria (GR) y fructanos de agave (*Tequilana Weber Var. azul*) en función de la actividad de agua (a_w).

METODOLOGÍA

Materiales

Se adquirió inulina de achicoria Orafiti-GR (GR, Beneo Orafiti). Los fructanos de agave (AgF) fueron obtenidos mediante la técnica de extracción de Arrizon *et al.* (2010) con algunas modificaciones, a partir de cabezas de *Agave Tequila Weber Var. Azul* de 6 años. Las sales de $MgCl_2$, K_2CO_3 , $Mg(NO_3)_2$, NaBr, KI y NaCl fueron adquiridas en Sigma-Aldrich.

Calorimetría Diferencial de Barrido Modulado (MDSC)

Se determinaron las transiciones térmicas de las muestras de polisacáridos empleando un calorímetro diferencial de barrido modulado (MDSC) Q2000 TA-Instrument (New Castle, DE, EUA). Las transiciones térmicas de los polisacáridos deshidratados fueron obtenidas colocando 15 mg de muestra en charolas de aluminio TZERO. Las muestras fueron deshidratadas en el interior del MDSC a 110°C durante 5 min. Posteriormente, las muestras siguieron un barrido de temperatura modulada 4°C/min desde 40 a 170°C con una modulación de $\pm 1.0^\circ C$ cada 60s. Las transiciones térmicas en función de a_w fueron obtenidas colocando 15 mg de la muestra equilibrada a las diferentes a_w en charolas herméticas (TZERO) empleando una charola vacía como referencia. El programa térmico consistió en rampas de calentamiento de -50°C a 80°C con una velocidad de calentamiento de 10°C/min. La celda del DSC fue purgada empleando un flujo de 50 mL/min de N_2 .

Isotermas de Sorción.

Las isotermas de sorción fueron determinadas a 20°C, utilizando el método gravimétrico de celdas de equilibrio. Las muestras fueron colocadas en desecadores de vidrio con soluciones saturadas en el intervalo de actividad acuosa (a_w) de 0.11 a 0.95. Tres veces por semana, las muestras fueron removidas y pesadas hasta alcanzar una pérdida o ganancia de masa de 0.001g en dos sucesivos muestreos. Una vez alcanzado el equilibrio se determinó la actividad acuosa (a_w) con un medidor de actividad de agua Aqualab con compensador de temperatura (modelo series 3 TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EUA). El contenido de humedad fue determinado gravimétricamente mediante el deshidratado de la muestra en un horno a 105°C por 24h para determinada la masa de sólidos en la muestra. (Zimeri y Kokini, 2002). Los resultados fueron ajustados al modelo de Gordon-Taylor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 2 muestra los termogramas obtenidos por MDSC de las muestras deshidratadas GR y AgF. La señal de flujo de calor reversible muestra la presencia de una transición vítreo para las muestras, mientras que la señal de calor no reversible muestra la presencia de una relajación entálpica de las muestras. Los resultados encontrados difieren con los reportados por Blecker *et al.* (2003) y Dan *et al.* (2009) quienes reportaron que, muestras de inulina presentaron un proceso de fusión a temperaturas alrededor de 150°C. Estos resultados fueron mal interpretado como un proceso de fusión, probablemente debido, a que la contribución endotérmica de la relajación entálpica era lo suficientemente grande para interferir con la señal de Tg; pero nuestros resultados concuerdan con los presentados por Ronkart *et al.* (2009) quienes reportaron temperaturas de transición vítreo y relajación entálpica en muestras comerciales de inulina (Fibruline). En ocasiones la señal de Tg es interferida con otros picos inducidos por la historia térmica del material, como una entalpía de relajación debido al envejecimiento o fusión de cristales recristalizados, en estos casos se sugiere emplear la MDSC, para separar las transiciones reversibles (transición vítreo, fusión) de las transiciones irreversibles (entalpía de relajación, evaporación cristalización y descomposición) (Liu *et al.*, 2006).

XXXII Encuentro Nacional y 1^{er} Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

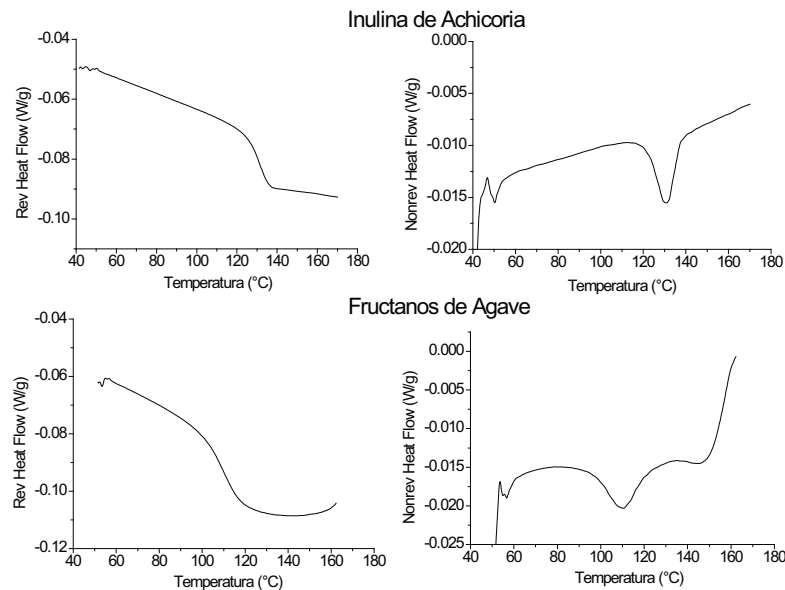


Figura 2. Calorimetría diferencial de barrido modulada de las muestras deshidratadas GR y AgF

El flujo de calor reversible muestra una T_g de 109.6 y 131.3°C para las muestras deshidratadas de AgF y GR, respectivamente. Los AgF presentaron una T_g menor a la observada para la muestra GR, debido a que las ramificaciones (enlaces β -2-6) en los fructanos actúan como un plastificante interno induciendo pequeños decrementos en la T_g . La señal de flujo de calor no reversible presentó procesos de relajación entálpicas con temperatura de pico (T_p) de 131.1 y 110.3°C con energías asociadas de 1.00 J/g y 1.52 J/g para las muestras de GR y AgF, respectivamente.

Una de las características de los sistemas vítreos es que presentan un colapso a una temperatura por encima de la T_g , mostrando cambios macroscópicamente visibles repercutiendo en la estabilidad de las matrices, como la pérdida y oxidación de los lípidos encapsulados y sabores, la pérdida de actividad enzimática, oscurecimiento no enzimático, rigidez e incrustaciones, o colapso estructural (Buitink *et al.*, 2000). Estos cambios de estados físicos son controlados por la T_g , la cual determina precisamente el contenido de humedad crítica del sistema donde tales cambios comienzan a ocurrir (Labuza *et al.*, 2004). Por debajo de esta región de a_w o de la T_g , un material es vítreo o brillante/duro mientras que por encima de esta, los materiales muestran una textura amorfa, de correosa a suave-pegajosa. El efecto plastificante del agua es un importante factor que contribuye a las características y estabilidad de almacenamiento de los polisacáridos. La figura 3 presenta el comportamiento térmico de las muestras GR y AgF a diferentes a_w .

XXXII Encuentro Nacional y 1^{er} Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

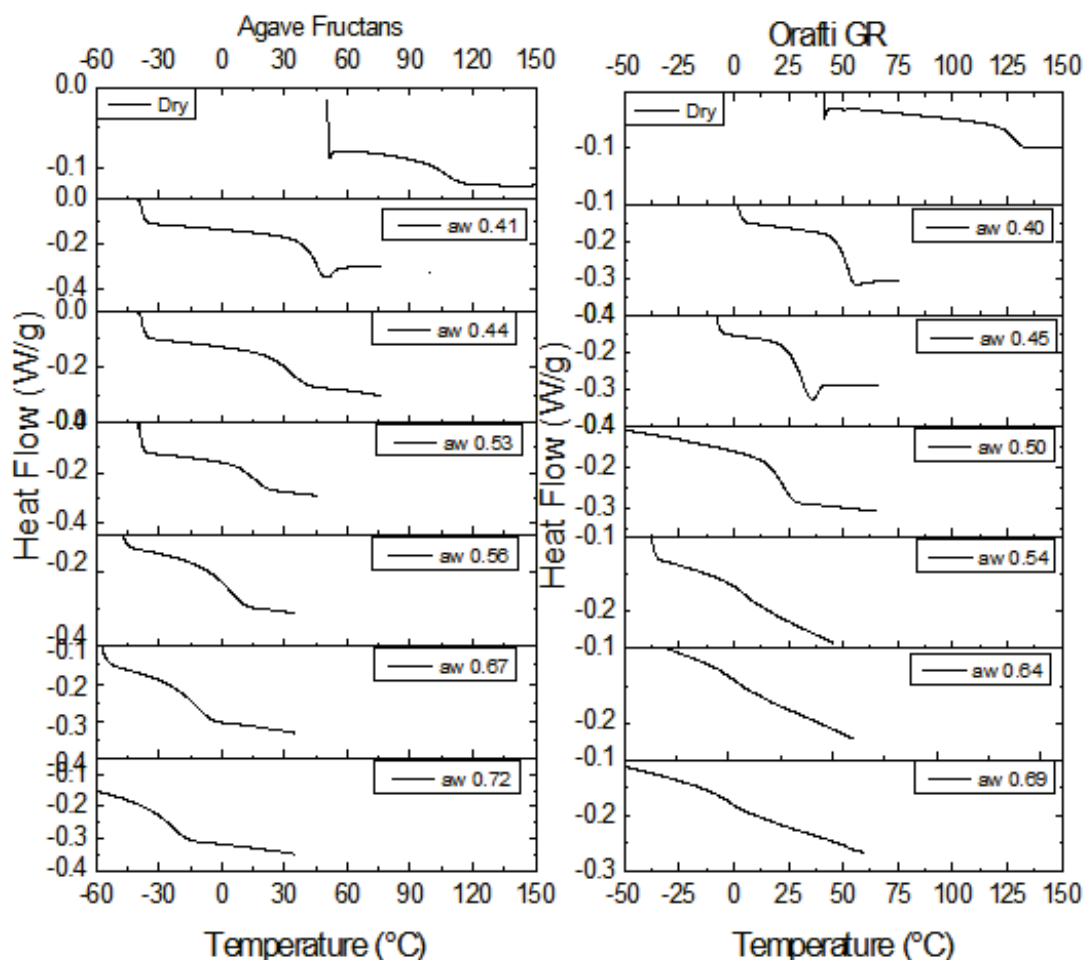


Figura 3. Temperatura de transición vítrea de muestras AgF y GR en función de la a_w .

Las interacciones entre las moléculas de agua con la parte hidrofílica de los polisacáridos son observados como un decremento en la temperatura de transición vítrea al incrementar el contenido de agua. La T_g en función de la a_w para los sistemas AgF y GR se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Temperatura de transición vítrea de muestras de fructanos en función de a_w .

a_w	GR (°C)	AgF (°C)
Deshidratado	131.3	109.6
MgCl ₂	52.6	46.4
K ₂ CO ₃	42.1	34.2
Mg(NO ₃) ₂	23.4	16.0
NaBr	4.6	4.9
KI	-4.6	-12.7
NaCl	-16.1	-24.5

XXXII Encuentro Nacional y 1^{er} Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

Los valores de actividad de agua crítica son obtenidos a partir de la Tg correspondiente a la temperatura ambiente y son estimados a 0.52 y 0.49 g de H₂O/g de sólidos para GR y AgF, respectivamente. De esta manera, para asegurar la preservación de la estabilidad de los polisacáridos, estos deberán de contener humedades menores al 9% para GR y 11% para AgF cuando son almacenados a 25°C. Los datos experimentales fueron ajustados al modelo Gordon Taylor (figura 4).

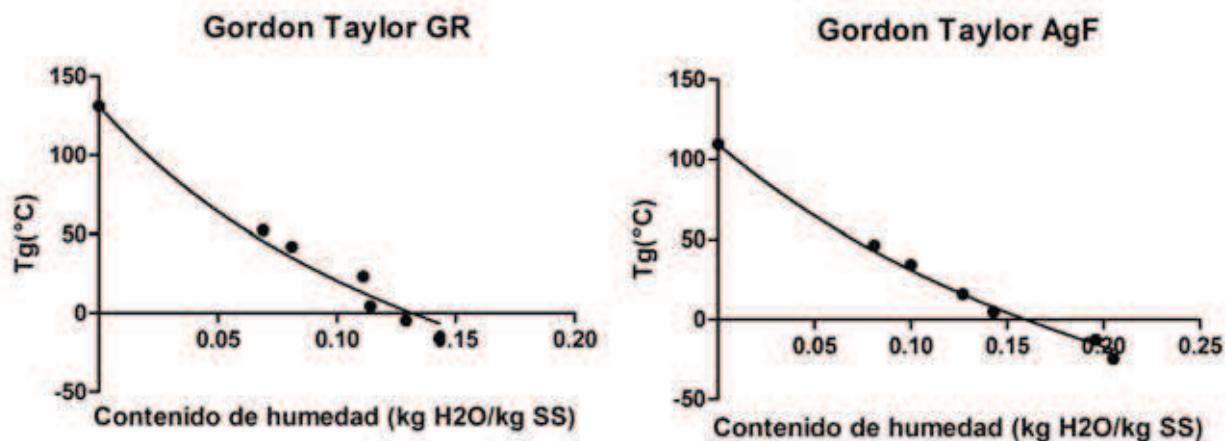


Figura 4. Temperatura de transición vítrea en función del contenido de humedad para las muestras de fructanos, ajuste de la ecuación de Gordon-Taylor.

La ecuación de Gordon-Taylor es un modelo de plastificación del agua en alimentos sólidos comúnmente usado. La constante k representa la sensibilidad del efecto plastificante del agua, altos valores de k , representan una mayor dependencia del contenido de humedad de la Tg. Kawai *et al.* (2011) observaron en muestras de inulina comercial, que los valores de k disminuye linealmente con el incremento de la Tg. En general, los polisacáridos presentan altos valores de Tg y bajos valores de k . Sin embargo, la presencia de ramificaciones de AgF, mostraron bajos valores de Tg y k . La plastificación a nivel molecular permite un incremento en el espacio intermolecular o volumen libre, disminución de la viscosidad y al mismo tiempo, un incremento de la movilidad (Ferry, 1980).

CONCLUSIONES

La temperatura de transición vítrea es un parámetro fundamental en la estabilidad de los alimentos. Particularmente, este comportamiento tiene un efecto significativo en la estabilidad de las matrices de encapsulación, influenciado fuertemente los fenómenos de oxidación y pegajosidad de los sistemas encapsulados. Como una consecuencia de la estructura ramificada de los fructanos de agave (AgF), la Tg de fue significativamente inferior a la presentada por los fructanos de achicoria (GR). Los resultados mostraron que los fructanos de achicoria (GR) presentaron una mayor afinidad por el agua.

AGRADECIMIENTOS.

Se agradece al Fondo de Ciencia Básica SEP-CONACyT por el financiamiento de este trabajo a través del convenio CB-2008-01/104109.

REFERENCIAS

1. Arrizon, J. Morel, S. Gschaedler, A. Monsan, P. (2010) Comparison of the water-soluble carbohydrate composition and fructan structures of Agave tequilana plants of different ages. *Food Chemistry* 122, 123–130

XXXII Encuentro Nacional y 1^{er} Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

2. Blecker C, J. P. Chevalier, C. Fournies, J. C. Van Herck, C. Deroanne y M. Paquot. (2003). Characterization of different inulin samples by DSC. Influence of polymerization degree on melting temperature. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 71, 215–224.
3. Buitink, J. van den Dries, I.J. Hoekstra, F.A. Alberda, M. Hemminga, M.A. (2000). High Critical Temperature above T_g May Contribute to the Stability of Biological Systems. *Biophysical Journal* 79, 1119–1128
4. Dan, A. Ghosh, s. Moulik, S. P. (2009). Physicochemical Studies on the Biopolymer inulin: A Critical Evaluation of Its Self Aggregation, Aggregate-Morphology, interaction with Water and Thermal Stability. *Biopolymers*, 91, 9, 687-699.
5. Ferry. J. D. Viscoelastic Properties of Polymers, 3rd, ed Wiley, New York, 1980.
6. Franck, A. (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87, 2, S287–S291.
7. Kawai, K., Fukami, K. Thanatuksorn, P. Viriyarattanasak, C. Kajiwar, K. (2011). Effects of moisture content, molecular weight, and crystallinity on the glass transition temperature of inulin. *Carbohydrate Polymers*, 83, 934–939.
8. Labuza, T. Roe, K. Payne, C. Panda, F. Labuza, T. J. Labuza, P. S. Krush, L. Storage stability of dry food systems: influence of state changes during drying and storage, drying – Proceedings of the 14th International Drying Symposium, Sao Paulo, Brazil, Vol. A, 2004.
9. Liu, Y., Bhandari, B. and Zhou*, W. (2006). Glass transition and enthalpy relaxation of amorphous food saccharides - a review, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(16), 5701-5717.
10. López, M. G. Mancilla-Margalli, N. A. Mendoza-Díaz, G. (2003). Molecular Structures of Fructans from *Agave tequilana* Weber var. *Azul*. *J. Agric. Food Chem.* 51, 7835-7840
11. Ritsema, T. Smeekeens, S. (2003). Fructans: beneficial for plants and humans. *Current Opinion in Plant Biology* 2003, 6:223–230
12. Ronkart, S. N., Paquot, P., Blecker, C. S., Fournies, C., Doran, L., Lambrechts, J. C., Norberg, B., Deroanne, C. (2009). Impact of the Crystallinity on the Physical Properties of Inulin during Water Sorption. *Food Biophysics* 4:49–58.
13. Sablani, S.S. Kasapis, S. Rahman, M.S. (2007). Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. *Journal of Food Engineering* 78, 266–271.
14. Seipert, R., Barboza, M., Milady R. Ninõnuevo, Riccardo G. LoCascio, A. Mills, D., L. Freeman, S., J. Bruce German. y B. Lebrilla, C. (2008). Analysis and Quantitation of Fructooligosaccharides Using Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry* 80, 159-165.
15. Waleckx, E. Gschaedler, A. Colonna-Ceccaldi, B. Monsan, P. (2008) Hydrolysis of fructans from *Agave tequilana* Weber var. *azul* during the cooking step in a traditional tequila elaboration process *Food Chemistry* 108, 40–48
16. Zimeri, J. E. Kokini, J. L. (2002). The effect of moisture content on the crystallinity and glass transition temperature of inulin. *Carbohydrate Polymers* 48, 299-304.

Índice