

Modelación de la Solubilidad de Panela Granulada y Otros Edulcorantes en Agua

N. Lara¹, A. Clavijo², V. Barrera³

1. Departamento de Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Panamericana Sur, Km 1, Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador

2. Facultad de Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

3. Facultad de Ciencia e Ingeniería de Alimentos, UTA, Ambato, Ecuador

nlara@interactive.net.ec

Resumen

En esta investigación se trabajó con muestras experimentales y muestras artesanales de panela granulada de composición conocida. Con fines comparativos se utilizaron muestras de sacarosa, fructosa, glucosa y azúcares comerciales. Se evaluó el efecto de las variables independientes (genotipo de caña panelera, temperatura de la fuente de calentamiento y la condición higiénica de la caña) sobre las constantes de solubilidad de las muestras experimentales de panela granulada. La solubilidad de las muestras en agua se determinó desde 0 a 92 °C. Las constantes de solubilidad se obtuvieron mediante regresión simple de las curvas experimentales. Análisis de varianza fue aplicado para evaluar en primer lugar, el efecto de los tratamientos de panela granulada y en segundo lugar, la influencia de las muestras en general sobre las constantes de solubilidad. Con excepción de la glucosa, el modelo recíproco en Y fue seleccionado para interpretar la variación de la solubilidad en función de la temperatura. Para glucosa se estableció el modelo raíz cuadrada de X. Los estadísticos de regresión respaldaron la validez de las constantes de solubilidad. Únicamente, la condición higiénica de la caña tuvo efecto significativo sobre la constante de solubilidad b de las muestras experimentales de panela granulada. La comparación estadística entre tratamientos con efecto significativo y el resto de muestras, evidenció diferencias en solubilidad entre panela granulada y azúcares de grado alto de refinamiento. La composición de la panela granulada influyó en las diferencias encontradas. Con este edulcorante se obtuvo un sistema de multicomponentes, a diferencia del resto de sistemas azúcar-agua.

Palabras Claves: *Panela granulada, sólidos solubles, curvas de solubilidad, modelación, sacarosa, fructosa, sólidos totales*

Abstract

In this study, the experimental and artisanal samples of granulated panela were used. Also, for comparison: sucrose, fructose, glucose, and commercial sugars were used. The effect of independent variables (sugarcane genotype, heating temperature and sanitary condition of the sugarcane) on solubility constants of experimental panela samples was evaluated. For all samples, the solubility in water was determined from 0 to 92 °C, and using the experimental data of solubility against temperature values, the modeling of the solubility was computed by simple regression. Variance analysis was performed focusing two main aspects: first, the effect of the granulated panela treatments and second, the influence of the all samples on the solubility constants. No included glucose, the reciprocal-Y model was selected in order to predict the solubility as a function of temperature. Concerning to glucose, the square root-X was selected. The goodness of the constants of fitting solubility models evaluated in terms of regression statistics and coefficients. Only, the sanitary condition of sugarcane showed significant effect on the solubility constant b. On the other hand, the statistic comparison including the remaining samples exhibited significant differences by solubility between granulated panel and sugars with high refinement. These differences were due to composition of granulated panela which in aqueous solution became a multicomponent system instead of a single liquid solution like sugar-water.

Keywords: *Granulated panela, soluble solids, solubility curves, modeling, sucrose, fructose, total solids.*

1. Introducción

La disolución de azúcares en agua forma soluciones moleculares (Vaclavik, 2002), estudiadas por muchos años como modelos de sistemas para determinar la validez de leyes fundamentales que gobiernan un amplio rango de aplicaciones (Martins et al., 2009; Adem et al., 2008a; Maciej y Mathouthi, 2006). Cuando un cristal de azúcar se disuelve, se produce un intercambio de los enlaces de hidrógeno, se rompen los puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo polares de las moléculas de azúcar y son reemplazados por los puentes de hidrógeno establecidos con las moléculas de agua (Vaclavik, 2002). Este proceso se denomina disolución (Ibarz et al., 2000), e inicia cuando los cristales de azúcar se hidratan gradualmente y cada molécula de azúcar se rodea de moléculas de agua (Vaclavik, 2002). La hidratación de los azúcares es variable, depende, por ejemplo, de su estructura, el grado de pureza y se incrementa con el aumento de la temperatura (Ibarz et al., 2000; Belitz, 1999). A más de la sacarosa o azúcar común, otros edulcorantes de importancia son: glucosa, fructosa y azúcar invertido (BeMiller, 2007; Belitz, 1999), los cuales están presentes en la panela granulada (Clavijo 2008). Con enfoque en las soluciones ideales y la ley de Raoult (Sahin y Sumnu, 2009), por varias décadas, la disolución sacarosa-agua ha sido analizada como sistema modelo para predecir el efecto de los edulcorantes sobre los sistemas alimenticios. Sin embargo, las sustancias alimenticias incluyen una mezcla de componentes, están lejos de ser termodinámicamente ideales (Maciej y Mathouthi, 2006) y pueden ser explicados con mayor consistencia desde los fundamentos físico-químicos de los sistemas dispersos (Tscheuschner, 2001). En la actualidad, el sistema sacarosa-agua es a menudo referido con fines comparativos, ya que, la inclinación hacia los edulcorantes naturales ha incrementado el interés por predecir la cinética de disolución (solubilidad) de azúcares en sistemas compuestos por varios tipos de azúcares (Nowak, et al., 2009; Martins, et al., 2009). Además, la disolución de edulcorantes tiene gran importancia en la diversidad de sistemas alimenticios debido a que son ingredientes básicos y con influencia, tanto en los atributos sensoriales, como en las propiedades físicas, químicas, térmicas y reológicas de alimentos y bebidas (Sahin y Sumnu, 2009; BeMiller, 2007; Maciej y Mathouthi, 2006; Vaclavik, 2002). La panela es un edulcorante natural constituido, mayormente, por sacarosa y en pequeña proporción glucosa, fructosa, minerales y otros componentes propios de los genotipos de caña panelera (Clavijo, 2008), por su forma granular es un tipo de azúcar artesanal con interés creciente en los segmentos de mercado nacional e internacional, inclinados hacia el consumo de productos naturales. En la actualidad, ya se dispone de información sobre

el proceso de elaboración (Anwar, 2010; Clavijo et al., 2008; Mujica et al., 2007; Kumar and Tiwari, 2006, Rane and Jabade, 2005; Tiwari et al., 2004a; Tiwari et al., 2004b; Tiwari et al., 2003) y algunas propiedades de la panela granulada (Rao et al 2010). Sin embargo, propiedades como la solubilidad en agua y el grado de saturación, de importancia en la fase de granulación de la panela, todavía no han sido estudiadas. En este sentido, como parte inicial y con base a datos experimentales, el presente trabajo está orientado a predecir el comportamiento de la solubilidad de la panela granulada en agua por efecto de la temperatura y en comparación a otros edulcorantes.

2. Materiales y métodos

2.1. Muestras utilizadas

2.1.1 Tratamientos de panela granulada. Muestras de panela granulada de un estudio previo (Clavijo, 2008), realizado para evaluar el efecto de las variables independientes: genotipos de caña panelera, temperatura de la fuente de calentamiento y condición higiénica de la caña fueron utilizadas. En el estudio referido, las muestras de panela fueron elaboradas con caña lavada-pelada y caña sucia (con corteza) de los dos genotipos paneleros (POJ 28-78 y POJ 27-14), cultivados en la parroquia Pacto al noroccidente de Quito, Provincia de Pichincha. La concentración del jugo hasta alcanzar el punto de solidificación del azúcar o punto de panela, con valores superiores a 75 °Brix, se realizó por ebullición en sistema abierto a las condiciones ambientales del laboratorio del Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina; para ello se utilizó una paila evaporadora (CUISINART) con reóstato para el control del calentamiento a 149 y 177°C (Clavijo, 2008, Clavijo et al., 2008).

2.1.2. Muestras de panela granulada artesanal. Las muestras de panela granulada (Panela 1 y Panela 2) fueron adquiridas en dos asociaciones de producción artesanal, localizadas en la Parroquia y dedicadas, mayormente, a la producción para el mercado justo europeo.

2.1.3. Muestras de azúcares de mayor grado de refinamiento. Con fines comparativos se utilizaron: sacarosa, fructosa y glucosa de grado reactivo, así como, muestras comerciales de azúcar blanca y azúcar morena, adquiridas del mercado local, en Quito.

2.2. Preparación de soluciones y mediciones de solubilidad

Se aplicó el método descrito en Adem, et al., (2008a), con las siguientes modificaciones: el período máximo de agitación considerado fue de 8 horas en vez de las

24 horas sugeridas en el método. Tanto las soluciones de panela granulada, como las de azúcares fueron preparadas con base al porcentaje de sólidos secos de las muestras. Se inició con disoluciones muestra-agua en relación 1:1, en peso. En este caso se utilizó una plancha calentadora de 9 puestos (DATAPLATE PMC 730 series), con control digital de temperatura y agitación magnética. Se trabajó a 0, 20, 40, 60 y 92 °C. Se utilizó baño de hielo en escarcha o de agua para estabilizar la temperatura fijada en cada uno de los recipientes de ensayo. Pesos conocidos de muestra fueron añadidos hasta la observación permanente de partículas de azúcar suspendidas en la fase líquida. Después de la sedimentación de las partículas suspendidas, se determinó en la fase líquida el contenido de sólidos solubles mediante un refractómetro digital (ATAGO). Las pruebas de solubilidad fueron realizadas por duplicado. Se utilizó dos lotes de muestras provenientes de dos repeticiones.

2.3. Modelación de las curvas de solubilidad

Los resultados de solubilidad de cada una de las muestras de panela granulada y del resto de edulcorantes analizados, expresados como gramos de sólidos solubles por gramos de agua (Adem et al., 2008a), fueron graficados en función de la temperatura para establecer las curvas de solubilidad, conocidas también como curvas de saturación debido al valor límite de soluto alcanzado, en equilibrio (Ibarz et al., 2000).

2.4. Análisis complementarios

Tanto en muestras de panela granulada de tratamientos con caña pelada y caña con corteza, como en muestras artesanales se determinaron: sacarosa, glucosa, fructosa, azúcares invertidos, macro, micro elementos, sólidos sedimentados, entre otros. Los métodos de análisis están descritos en Clavijo (2008).

2.4. Análisis estadístico

Se utilizó el software Statgraphics Plus, versión 5.1. Para evaluar la relación solubilidad versus temperatura y determinar las constantes de solubilidad se aplicó los 10 modelos de regresión simple disponibles en el software. Con los datos experimentales, se comparó automáticamente los modelos con base al coeficiente de regresión (r) y al coeficiente de determinación (R^2). Adicionalmente, para confirmar la validez de los tres modelos con más alto R^2 , se consideró el error estándar más bajo y el valor de probabilidad ($p < 0.05$) significativo. Se aplicó análisis de varianza (ADEVA) para determinar el efecto de los factores de los tratamientos de elaboración de panela granulada sobre las constantes

de solubilidad a (intersección con el eje Y) y b (pendiente o razón de variación de solubilidad en función de la temperatura). También, mediante el ADEVA se determinó si existe variación de las constantes de solubilidad entre muestras de panela granulada, azúcares grado reactivo y azúcares comerciales.

3. Resultados y discusión

3.1. Modelación de las curvas de solubilidad

Con excepción de la glucosa, el modelo que mejor explicó la variación creciente de las curvas experimentales de solubilidad fue el recíproco en Y, indicado en la ecuación (1); donde a y b son las constantes de solubilidad.

$$\text{Sólidos solubles/Agua} = 1/(a+b*\text{Temperatura}) \quad (1)$$

La validez del modelo indicado, está respaldada en el valor de probabilidad (p), el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de correlación (r) y el error estándar. El valor probabilidad evidenció la existencia de relación altamente significativa ($p < 0,01$) y significativa ($p < 0,05$) entre la solubilidad y la temperatura. El R^2 varió, de 78 a 93% con las muestras de panela artesanal, sacarosa y azúcar comercial; y de 89 a 98% con las muestras de los tratamientos de panela granulada y de fructosa. De este modo, se interpretó que la variabilidad de la temperatura está explicada dentro de dichos rangos, después de haber transformado los valores de solubilidad a la escala recíproca. El r , con valores entre -0,88 y -0,99, evidenció el grado de relación existente entre la solubilidad y la temperatura. En cuanto al error estándar del modelo, se encontró que la desviación estándar de los residuos fue menor que 0,02 para todos los tratamientos y muestras.

En el caso de la glucosa, el modelo raíz cuadrada de X, mostrado en la ecuación (2), fue más eficiente para explicar la variación de la solubilidad en función de la temperatura. Los valores de p , r , R^2 y error estándar fueron de 0,0002; 0,99; 97,60 y 0,09; respectivamente.

$$\text{Sólidos solubles/Agua} = a+b*(\text{Temperatura})^{0.5} \quad (2)$$

3.2 Efecto de los tratamientos de panela granulada

Para las muestras de los tratamientos de panela granulada del estudio de Clavijo (2008), el ADEVA mostró que las variables independientes: genotipos de caña y temperatura de la fuente de calentamiento no presentaron efecto significativo ($p > 0,05$) sobre las constantes de solubilidad de los sistemas panela

granulada-agua. Lo cual equivale a decir que, la solubilidad de la panela granulada fue estadísticamente similar entre los tratamientos resultantes de la combinación por genotipo de caña y por temperatura de la fuente de calentamiento. El único factor con influencia altamente significativa ($p < 0,01$) sobre la constante de solubilidad b de la ecuación (1) fue la condición higiénica de lavado y pelado de la caña. En tal sentido, se puede inferir que, las impurezas de la caña sin lavar y pelar fueron las causantes de la disminución significativa de la solubilidad en las muestras de panela granulada de dichos tratamientos.

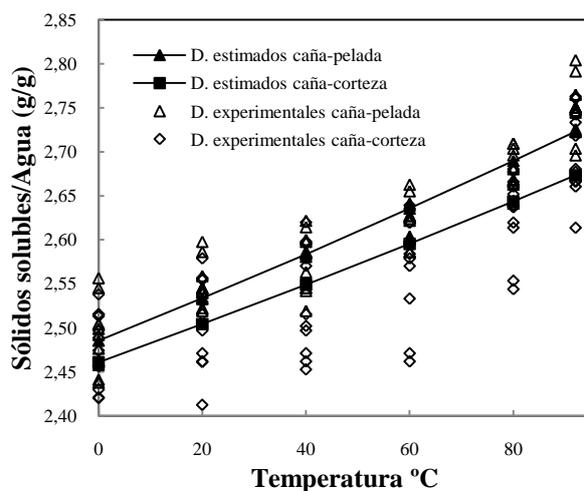


Figura 1. Efecto de la condición higiénica de la caña sobre la solubilidad de panela granulada en agua de 0 a 92 °C

En la Figura 1, se presentan los datos experimentales de todos los tratamientos de panela granulada y las curvas estimadas desde los datos agrupados con base a las dos condiciones higiénicas de la caña panelera, significativas y abreviadas como: caña-pelada y caña-corteza. En el rango de temperatura evaluado, en promedio la solubilidad, expresada en gramos de sólidos solubles por gramos de agua, fue mayor en los sistemas panela granulada-agua, preparados con las muestras de los tratamientos de caña lavada y pelada (descortezada). La dispersión mayor de los datos de solubilidad en las muestras de caña sin lavar y con corteza puede ser debida a interferencias por impurezas, lo cual apoya los principios de limpieza y sanidad de la caña en la fase de extracción de jugos para consumo directo (Nunes et al., 2010) y para producción de panela granulada (Quizanga, 2009; Carlosama 2009; Quizanga et al., 2008; Carlosama et al., 2008).

3.3. Curvas de solubilidad de panela granulada y otros azúcares

La Tabla 1, contiene los valores de las constantes de solubilidad a y b , junto a dos de los correspondientes estadísticos de validación de las ecuaciones (1) y (2). La ecuación (1) fue utilizada para predecir las curvas de solubilidad de panela granulada, sacarosa, fructosa y azúcares comerciales, con niveles de confianza de 98,8 a 99,9% ($p < 0,012$ a $p < 0,001$). La ecuación (2) permitió predecir la curva de solubilidad de la glucosa con un 99,98 de confianza ($p < 0,0002$). De acuerdo con la ecuación (1), la constante de solubilidad a fue el intercepto en la escala del inverso de la solubilidad. Además, el inverso de la solubilidad varió en $-b$ unidades por cada unidad de incremento de la temperatura. Respecto a la ecuación (2), a fue el intercepto en la escala de solubilidad y b fue la razón de variación; equivalente a decir que, existió un incremento en b unidades de solubilidad por cada unidad de incremento en la raíz cuadrada de la temperatura.

Tabla 1. Constantes y estadísticos de validación de los modelos utilizados para predecir la solubilidad de panela granulada y otros azúcares de 0 a 92 °C

Muestras	Parámetros de curvas de solubilidad			
	a	b	p	R^2
T caña pelada	0,40637	-0,00035	0,008	88,92
T caña corteza	0,40221	-0,00038	0,003	92,65
Panela 1	0,43045	-0,00055	0,007	86,73
Panela 2	0,42374	-0,00047	0,019	78,23
Sacarosa	0,41474	-0,00093	0,018	78,87
Fructosa	0,41843	-0,00100	0,001	95,11
Azúcar blanca	0,41277	-0,00085	0,012	82,63
Azúcar morena	0,41855	-0,00089	0,010	84,44
Glucosa ¹	1,11084	0,14901	0,000	97,60

¹ Constantes y estadísticos de la ecuación (2)

Sin incluir glucosa, el ADEVA aplicado a las constantes de solubilidad a y b de las muestras de la Tabla 1, mostró que la constante de solubilidad a fue estadísticamente similar ($p > 0,05$) para todas las muestras. En cuanto a la constante b , fue significativamente más alta ($p < 0,05$) en sacarosa, fructosa, azúcar blanca y azúcar morena al comparar con los valores establecidos para las muestras de panela granulada. Estadísticamente, no se encontró diferencias significativas entre muestras de azúcar de grado alto de refinamiento, como tampoco, dentro del grupo de muestras de panela granulada, esto debido

a los dos rangos de variación de $-0,00085$ a $-0,00100$ y $-0,00035$ a $-0,00055$, respectivamente.

La comparación de las curvas de solubilidad de la Figura 2, permitió visualizar, gráficamente, la significancia estadística determinada mediante análisis de varianza entre las muestras de panela granulada (tratamientos: T-caña pelada y T-caña corteza; muestras artesanales: Panela 1 y Panela 2) y las muestras de azúcar de grado alto de refinamiento (sacarosa, fructosa, azúcar blanca y azúcar morena).

A partir de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, fue diferenciable y más alta la solubilidad alcanzada con sacarosa, fructosa y los azúcares comerciales. En cambio, con las muestras de panela, la tendencia creciente fue menor y los valores más bajos de solubilidad correspondieron a las muestras de panela granulada artesanal. En la Figura 2, no se incluyó la curva de glucosa debido a que se ubica muy por debajo del resto de curvas de solubilidad. En el rango de temperaturas de 0 a $92\text{ }^{\circ}\text{C}$, la curva de solubilidad de la glucosa se extendió desde $1,1$ hasta $2,46$ gramos de sólidos solubles por gramos de aguas, en concordancia a lo reportado en Belitz, (1999) y Danisco, (2010).

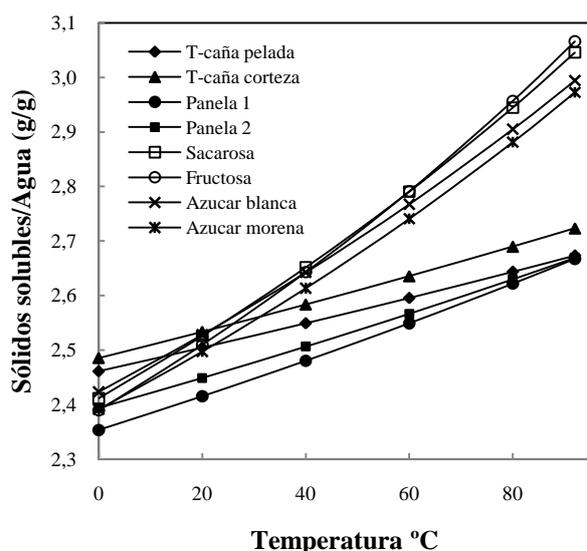


Figura 2. Comparación de la solubilidad de panela granulada y otros azúcares en agua de 0 a $92\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.2. Múltiples componentes del sistema panela granulada-agua

Como se indicó, la constante de solubilidad b (Tabla 1) evidenció, principalmente, las diferencias entre los sistemas panela granulada-agua y los sistemas conformados con azúcares de alto refinamiento como: sacarosa-agua, fructosa-agua, azúcares comerciales-agua y glucosa-agua. Desde esta premisa, con enfoque en la composición de las muestras, se puede hablar de sistemas de

componentes múltiples para el caso de panela granulada, ya que, en la composición de este edulcorante, a más de sacarosa, se encontró fructosa, glucosa, cenizas y minerales (Tabla 2). Estos componentes en conjunto han limitado la solubilidad de la panela granulada en agua. Comportamiento que se ha evidenciado en estudios recientes de solubilidad de la sacarosa, glucosa y fructosa en sistemas de multicomponentes (Nowak et al., 2009) y por efecto de la presencia de impurezas (Martins et al., 2009). Anotando que, en mezclas de azúcares, cada azúcar actúa como impureza para los otros azúcares (BeMiller, 2007). La explicación está en la competencia de estos constituyentes por interactuar con el agua para formar disoluciones moleculares e iónicas en sistemas de multicomponentes (Vaclavik, 2002).

Tabla 2. Contenido de multicomponentes presentes en los sistemas panela granulada-agua

Componentes (%) ¹	Panela granulada			
	Tratamientos		Artesanal	
	Caña pelada	Caña corteza	Panela 1	Panela 2
Sólidos totales	97.48	98.10	97.38	96.95
Sacarosa	92.11	93.27	85.05	92.14
Fructosa	0.76	1.94	3.94	2.58
Glucosa	1.51	2.07	3.13	1.71
Cenizas	0.71	0.48	1.06	0.87
Ca	0.02	0.03	0.02	0.03
P	0.04	0.05	0.04	0.06
Mg	0.02	0.02	0.02	0.02
K	0.29	1.04	1.16	0.35
Na	0.03	0.02	0.14	0.05
Cu (µg/g)	1.5	1.1	3	1
Fe (µg/g)	1.5	28.5	258	334
Mn (µg/g)	0.43	7	13	4
Zn (µg/g)	6	5.5	69	37

¹ Promedios en base seca. Clavijo, 2008

De acuerdo a la norma INIEN (INEN 2002), en la Tabla 3, se amplía la base de componentes y especificaciones de calidad de la panela granulada.

Tabla 3. Especificaciones de calidad de las muestras de panela granulada, utilizadas para evaluar la cinética de solubilidad en agua

Componentes (%) ¹	Panela granulada			
	Tratamientos		Artesanal	
	Caña pelada	Caña corteza	Panela 1	Panela 2
Sólidos solubles	97,4	96,3	98,4	98,0

Azúcares totales ¹	98,3	93,9	92,1	90,0
Azúcares reductores ¹	0,3	5,0	7,0	3,3
Pureza aparente	94.57	96.85	86.43	94.02
Sólidos sedimentados	0,2	0,3	0,3	0,2
Acidez titulada	1,0	1,0	1,2	1,0
pH	5,8	5,8	6,0	6,0
Actividad de agua	0,7	0,7	0,6	0,5

¹ Promedios en base seca, Clavijo 2008

En los sólidos solubles (Brix) están incluidos todos los componentes solubles del sistema acuoso. En los azúcares totales están representados, sacarosa, fructosa, glucosa y otros oligosacáridos. Los azúcares reductores se refieren a los monosacáridos con capacidad reductora (BeMiller, 2007). La relación sacarosa/sólidos solubles muestra el grado de pureza aparente de la panela granulada (Lingle et al., 2010), valor que, también podría ser analizado desde la relación azúcares totales/sólidos solubles, con fines de estimar la presencia de otros componentes solubles en agua, diferentes de los azúcares. Los sólidos sedimentados, separados por filtración, corresponden a las partículas finas no solubles que se mantienen en suspensión en el sistema acuoso. En cuanto a pH y actividad de agua, estos parámetros han sido considerados de importancia en la solubilidad de aminoácidos con poder edulcorante (Seyfi et al., 2009) y en la predicción del número de hidratación de mono y disacáridos (Adem et al., 2008b), respectivamente.

4 Conclusiones

Tanto para panela granulada como para el resto de azúcares, los gráficos de solubilidad versus temperatura presentaron tendencia no-lineal en el rango de 0 a 92 °C. Mediante regresión simple, con base a los datos experimentales, fue posible establecer las constantes y modelar la solubilidad de panela granulada y los azúcares de mayor grado de refinamiento, utilizados. Los modelos de solubilidad seleccionados mostraron validez estadística para predecir las curvas de solubilidad de los sistemas panela granulada-agua, sacarosa-agua. Fructosa-agua, glucosa-agua y azúcares comerciales aguan de 0 a 92 °C. Las diferencias debidas a la constante de solubilidad b , entre tratamientos de panela granulada, así como al comparar con panela artesanal, evidenciaron el efecto positivo de la condición higiénica de lavar y pelar la caña. La disminución de la cinética de solubilidad de la panela granulada, respecto a la observada para sacarosa, fructosa y azúcares comerciales fue debida a la composición y

especificaciones de calidad de la panela granulada. A diferencia de los sistemas ideales azúcar-agua con panela granulada se obtuvo un sistema acuoso de multicomponentes, caracterizado por la composición y la calidad de la panela granulada y por tanto con efecto diferenciable sobre su cinética de solubilidad.

5. Agradecimientos

Las autoras agradecen a la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP.

6. Referencias

- [1] Vaclavik, V., Fundamentos de Ciencia de los Alimentos, Zaragoza, Es: Editorial Acribia, S.A., 2002, pp. 22-25, 293-298.
- [2] Martins, P.M., Ferreira, A., Polanco, S., Rocha, F., Damas, A. M., and Rein, P. (2009) "Unsteady-state transfer of impurities during crystal growth of sucrose in sugarcane solutions". *J. of Cristal Growth*. 311:3841.
- [3] Adem, G., Rogé, B., and Mathlouthi, M. (2008a) "Water-disaccharides interactions in saturated solutions and the crystallisation conditions". *Food Chemistry*, 106:1319.
- [4] Maciej, S., and Mathlouthi, M. (2006) "Temperature dependence of water activity in aqueous solutions of sucrose". *Food Chemistry*, 96:346.
- [5] Ibarz, A., Barboza, G., Garza, S., Gimeno, V., *Métodos Experimentales en la Ingeniería Alimentaria*, Zaragoza, Es: Editorial Acribia, S.A., 2000, pp. 133-141.
- [6] Belitz, H.D., and Belitz, W., *Food Chemistry*, 2nd Ed., Heidelberg, Belin, Springer-Verlag, 1999, pp. 245, 801.
- [7] BeMiller, J., *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*, 2nd Ed., St. Paul, Minnesota, U.S.A., AACC International, Inc., 2007, pp. 21, 27, 84-85.
- [8] Clavijo, M.A. "Estudio del Efecto del Uso de Jugo de Dos Genotipos de Caña de Azúcar Previamente Descortezada y de la Temperatura de la Fuente de Calentamiento sobre el Proceso de Elaboración de Panela Granulada," Tesis de Ingeniería Agroindustrial, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, 2008.
- [9] Sahin, S., Sumnu, S.G., *Propiedades Físicas de los Alimentos*, Es: Editorial Acribia, S.A., 2009, pp. 227-240.
- [10] Nowak, J., Poplewska, I., Antos, D., and Seidel-Morgenstern, A. (2009) "Adsorption behavior of sugars versus their activity in single and

- multicomponent liquid solutions,” *J. Chromatography*, 1216:8697.
- [11] Tscheuschner, H-D., *Fundamentos de Tecnología de los alimentos*, Es: Editorial Acibia, S.A., 2001, pp. 83-134.
- [12] Anwar, S.I. (2010) “Fuel and energy saving in open pan furnace used in jaggery making through modified juice boiling/concentrating pans,” *Energy conversion and Management*, 51:360.
- [13] Clavijo, M.A., Lara, N., y Acuña O., “Evaluación del Descortezado de dos Genotipos de Caña de Azúcar en la Elaboración de Panela Granulada,” *Memorias II Congreso Ecuatoriano de Ingeniería en Alimentos XI Jornadas de Ciencia e Tecnología en Alimentos*, Noviembre 2008, 6 p.
- [14] Mujica, M.V., Guerra M., and Soto, N. (2008) “Efecto de la variedad, lavado de la caña y temperatura de punteo sobre la calidad de la panela granulada,” *Interciencia*, 33:598
- [15] Kumar, A., and Tiwari, G.N. (2006) “Effect of shape and size on convective mass transfer coefficient during greenhouse drying (GHD) of jiggery,” *J. Food Engineering*, 73:121.
- [16] Rane, V.M., and Jabade, K, S. (2005) “Freeze concentration of sugarcane juice in a jaggery making process,” *Applied Thermal Engineering*, 25:2122.
- [17] Tiwari, G.N., Prakash, O., Kumar, S (2004) “Evaluation of convective heat and mass transfer for pool boiling of sugarcane juice,” *Energy Conversion & Management*, 45:171.
- [18] Tiwari, G.N., Kumar, S., Prakash, O. (2003) “Study of heat mass transfer from sugarcane juice for evaporation,” *Desalination*, 159:81.
- [19] Rao, J.P.V.K., Das, M., and Das, S. (2009) “Changes in physical and thermo-physical properties of sugarcane, palmya-palm and date-palm juice at different concentration of sugars,” *J. Food Engineering*, 90:559.
- [20] Nunes, B.N., Cruz, A.G., Faria, J.A.F., and Sant Ana, A. (2010) “A survey on the sanitary condition of commercial foods of plant origin sold in Brazil,” *Food Control*, 21:50.
- [21] Quizanga, V. “Diseño del Plan y Documentación para la Implementación de Buenas Prácticas de Manufactura para la Elaboración de Panela Granulada en la Planta Ingapi,” Tesis de Ingeniería Agroindustrial, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, 2009.
- [22] Carlosama, P., Diseño del Plan y Documentación para la Implementación de Buenas Prácticas de Manufactura para la Elaboración de Panela Granulada para las Unidades Productivas Paneleras de la COPROPAP de Pacto,” Tesis de Ingeniería Agroindustrial, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, 2009.
- [23] Quizanga, V., Lara, N., Espín, N., “Diagnostico del Cumplimiento de Buenas Prácticas de Manufactura a Nivel de una Microempresa Panelera,” *Memorias II Congreso Ecuatoriano de Ingeniería en Alimentos XI Jornadas de Ciencia y Tecnología en Alimentos*, Noviembre 2008, 6 p.
- [24] Carlozama, P. Lara, N., y Espín, N., “Aplicación del Reglamento Ecuatoriano de Buenas Prácticas de Manufactura para Alimentos Procesados en la Evaluación de una Unidad Panelera Artesanal,” *Memorias II Congreso Ecuatoriano de Ingeniería en Alimentos XI Jornadas de Ciencia e Tecnología en Alimentos*, Noviembre 2008, 6 p.
- [25] DANISCO, Solubility, www.danisco.com, 2010, 4p.
- [26] INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), “Panela Granulada. Requisitos,” Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2332:2002, pp 1-3.
- [27] Lingle, S.E., Johnson, R.M., Tew, T.L., and Viator, R.P. (2010) “Changes in juice quality and sugarcane yield with recurrent selection for sucrose,” *Field Crops Research*, 118:152.
- [28] Seyfi, S., Pazuki, G., Aghamiri, S.F., and Beheshti, M. (2009) “On the Prediction of Equilibrium Phase Behavior of Amino Acids in Aqueous and Aqueous-Electrolyte Solutions Using SAFT Equation of State,” *Fluid Phase Equilibria*, 287:15.
- [29] Adem, G., Rogé, B., Génolelle, J., and Mathlouthi, M. (2008b) “Relationships between hydration number, water activity and density of aqueous sugar solutions,” *Food chemistry*, 106:1443.