

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/325070232>

Evaluación termodinámica de variables críticas en la estabilidad de la panela de caña de azúcar / Thermodynamic evaluation of critical variables in the stability of panela of sugar...

Article · May 2018

DOI: 10.18359/rfcb.3167

CITATIONS

0

READS

279

3 authors, including:



Juan Sebastián Ramírez-Navas

Universidad del Valle (Colombia)

85 PUBLICATIONS 127 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Transición Vítrea en Alimentos (Glass Transition of Food) - Review [View project](#)



Lácteos concentrados azucarados: de la tradición a la ciencia [View project](#)

EVALUACIÓN TERMODINÁMICA DE VARIABLES CRÍTICAS EN LA ESTABILIDAD DE LA PANELA DE CAÑA DE AZÚCAR

THERMODYNAMIC EVALUATION OF CRITICAL VARIABLES IN THE STABILITY OF PANELA OF SUGAR CANE

Lina Constanza BOLAÑOS-CARDONA¹, Ingrid Alejandra BRIÑEZ-JAVELA¹,
Juan Sebastián RAMÍREZ-NAVAS^{1, 2 *}

¹ Programa de Química, Grupo GIEMA, Universidad Santiago de Cali, Calle 5 # 62-00 Campus Pampalinda, Cali, Colombia.

² Escuela de Ingeniería de Alimentos, Grupo GIEMA, Universidad del Valle, Sede Meléndez, Cali, Colombia

*Autor Corresponsal. E-mail: juan.ramirez06@usc.edu.co

Historia del Artículo

Recibido: Noviembre 11, 2017

Evaluado: febrero 5, 2018

Aceptado: Abril 13, 2018

Disponible: Mayo 3, 2018

Resumen |

El objetivo de este trabajo fue determinar la vida útil de la panela evaluando variables críticas de estabilidad. Para tal fin, se almacenaron tres presentaciones comerciales de panela (granulada, cuadrada y redonda), durante 129 días en cámaras bioclimáticas de dos ambientes de almacenamiento (ambiente: $30\pm 2^{\circ}\text{C}/75\pm 5\%\text{HR}$ y acelerado: $40\pm 2^{\circ}\text{C}/75\pm 5\%\text{HR}$). Se evaluaron los parámetros de humedad, azúcares totales y actividad acuosa en las muestras previamente homogenizadas a los tiempos 0, 27, 35, 55, 76 y 129 días. Debido al incremento de la actividad acuosa y ganancia de humedad se evidenció cambio en la calidad del producto, variación del color y la textura, con señales de reblandecimiento (panela cuadrada y redonda) y aglutinación (panela granulada). Con los resultados obtenidos se predice que almacenando a 25°C los tiempos de vida útil para las muestras son: 398 días para panela redonda 164 días para panela cuadrada y 206 días para panela granulada.

Palabras Clave: Panela, caña de azúcar, actividad de agua, vida útil, azúcares totales, humedad.

Abstract |

The objective of this work was to determine the shelf life of Panela by evaluating critical stability variables. For this purpose, three commercial presentations of panela (granulated, square and round) were stored for 129 days in bioclimatic chambers of storage environments (ambient: $30\pm 2^{\circ}\text{C}/75\pm 5\%\text{RH}$ and accelerated: $40\pm 2^{\circ}\text{C}/75\pm 5\%\text{RH}$). The parameters of moisture, total sugars and water activity were evaluated in samples previously homogenized at times 0, 27, 35, 55, 76 and 129 days. Due to the increase in water activity and moisture gain, there is a change in product quality, variation of the color and texture, with signs of softening (square and round panela) and agglutination (granulated panela). With the results obtained, it is predicted that by storing at 25°C the useful life times for the samples are: 398 days for round panela 164 days for square panela and 206 days for granulated panela.

Keywords: panela, sugar cane, water activity, shelf life, total sugar, moisture.

INTRODUCCIÓN |

La panela es un edulcorante natural obtenido por la concentración de los jugos de la caña de azúcar y posterior cristalización de la sacarosa. Ésta no es sometida a ningún proceso de refinado, centrifugado y depuración. Se caracteriza por su alta concentración de azúcares, contenido

de minerales y trazas de vitaminas, provenientes de la caña de azúcar y que se conservan en la panela (Álvarez Londoño, 2005). Es posible encontrar diferentes presentaciones comerciales de panelas (Acurio, 2010). Entre ellas se tienen, panela cuadrada, rectangular, redonda, con cresta redonda y triangular, pulverizada o granulada, entre otras.

A pesar de la importancia de la panela, la agroindustria ha sufrido una serie de problemas relacionados con la baja productividad, la deficiencia de la calidad del producto, la organización de socios, los problemas de mercado y los impactos sobre el ambiente (Sandoval et al., 2007). Adicionalmente, el tiempo de vida útil de las presentaciones comerciales de panelas se ha visto afectado negativamente por problemas técnicos, tales como la variación de: la actividad acuosa, la humedad y los azúcares invertidos (Acurio, 2010).

La panela al ser un producto higroscópico presenta signos de deterioro por contaminación microbiana, este efecto se debe al nivel tan alto de actividad acuosa. La concentración de azúcares y el nivel del agua en la panela, pueden variar de acuerdo con el genotipo, la época de cosecha y el tipo de manejo de extracción y post-extracción del jugo de la caña, de la concentración de la miel y el batido de la panela (Uppal et al., 2005). Es importante conocer los parámetros químicos y fisicoquímicos (tanto termodinámicos como cinéticos) de la panela, por ejemplo, el contenido de humedad, azúcares invertidos, actividad de agua, coeficiente de actividad, entalpía molar parcial y tiempo de vida útil (Alvarado, 2012; Badui Dergal, 2006).

Entre los factores que interviene en el deterioro de los alimentos se encuentra la temperatura, la humedad, la luz y el aire, especialmente el oxígeno, sumado a estos factores está el tiempo (Vanaclocha y Requena, 2003). Para el caso de la panela, entre los factores más críticos y que causan mayor deterioro se encuentran la temperatura y la humedad tanto del producto como del ambiente.

El objetivo de esta investigación fue analizar los cambios de la actividad acuosa durante el almacenamiento de muestras de panelas comerciales, en diferentes presentaciones, con relación a la humedad y los azúcares. A partir de la información obtenida se obtuvieron diversos parámetros termodinámicos y cinéticos que permiten controlar y predecir la estabilidad del producto durante el tiempo de almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS |

El almacenamiento en cámaras climáticas y los ensayos fisicoquímicos para el estudio de las panelas se realizaron en el Laboratorio fisicoquímico de Ángel Diagnóstica de Colombia por un período de cuatro meses contando con disposición de equipos y reactivos por parte del laboratorio en mención.

Panela

Se trabajó con tres presentaciones de panela: granulada (PG), cuadrada (PC) y redonda (PR) de la misma marca comercial. Se garantizó que cada presentación proviniera del mismo lote de fabricación (PG: TPNA/4 00:22 FF 22/02/2017; PC: TPNA/01 05:28 FF 07/02/2017 y PR: TPNA/03 20:11 FF 07/02/2017).

Muestreo y almacenamiento

Las muestras se almacenaron por un periodo de tres meses (129 días) en cámaras bioclimáticas, dos ambientes de almacenamiento: 1) ambiente $30\pm 2^{\circ}\text{C}/75\pm 5\%$ Humedad Relativa en una cámara VM CONTROLES (modelo HR 700, Colombia) con un Datalogger BRIXCO (modelo DT-172, Colombia), y 2) acelerada $40\pm 2^{\circ}\text{C}/75\pm 5\%$ Humedad Relativa en una cámara CONTROL SUPERIOR (modelo CS-CC720, Colombia) con un Datalogger TINYTAG (modelo ULTRA 2, Inglaterra), ya que son las condiciones de estudio comúnmente trabajadas en la literatura (Acurio, 2010).

La distribución de las muestras en las cámaras bioclimáticas se realizó de forma organizada en parrillas diferentes, cada presentación se ubicó en un nivel de parrilla, evitando la contaminación cruzada. Además, las muestras se almacenaron en su respectiva bolsa o empaque original bien sellado.

Antes del análisis fisicoquímico las muestras fueron homogeneizadas y luego se hizo un cuarteo con el fin de obtener una muestra representativa para los análisis. Donde la panela redonda y cuadrada fueron ralladas y la granulada solo se cuarteó.

Parámetros fisicoquímicos

Las determinaciones de los parámetros de humedad (H), actividad acuosa (a_w) y contenido de azúcares totales (AT) se realizó en las muestras previamente homogeneizadas a los tiempos 0, 27, 35, 55, 76 y 129 días en las tres presentaciones PG, PC y PR. Los análisis de humedad y el contenido de azúcares totales se realizó según la Resolución 779 de 2006 (MinSalud, 2006) y la Norma Técnica Colombiana NTC 1311 PRODUCTOS AGRÍCOLAS. PANELA (Icontec, 2009). (Tabla 1).

Actividad de agua

La determinación de la actividad acuosa se realizó con un medidor digital Decagon, (modelo PawKit, USA). Se colocó aproximadamente 1g de muestra de panela previamente homogeneizada en la cámara porta muestra, luego se oprimió el botón I donde el equipo realizó la lectura y al cabo de aproximadamente 5 minutos arrojó el valor de a_w , posterior a eso, se volvió oprimir el botón I para seguir con la otra lectura. La verificación del medidor se realizó con un estándar de cloruro de sodio de concentración 6mol/kg de 0,76 a_w (AQUALAB, USA, lote 1688045).

Humedad

La determinación del %H se realizó de acuerdo con la AOAC 925.45 (AOAC, 2005). Determinación de humedad por medio de una estufa de secado a temperatura $105^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$. Se pesó en una balanza analítica OHAUS (modelo PA214C, USA) aproximadamente 5g de muestra homogeneizada en cajas metálicas con tapa, luego se llevó al horno de convección forzada BINDER (modelo FD 115-UL, Alemania) por 3 h a 105°C . Posteriormente, se llevó al desecador hasta que alcanzó la

temperatura ambiente y se pesó. Se introdujo a la estufa por 1 h, se llevó al desecador hasta T_{amb} y se pesó. Se repitió este

proceso hasta que la diferencia entre los pesos finales fuera menor de 5mg. Se registró la pérdida de peso como H_2O .

Tabla 1. Requisitos físico químicos para la panela

Requisito	En bloque		Granulada o pulverizada	
	Valor		Valor	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Humedad, fracción en masa en %	--	9	--	5
Cenizas, fracción en masa en %	0,8	--	1	--
Azúcares totales (sacarosa), fracción en masa en %	--	83	--	93
Azúcares reductores (glucosa), fracción en masa en %	5,5	--	5	--
Proteínas, en % (N x 6,25)	0,20%	--	0,20%	--
Potasio en mg/100g	100	--	100	--
Calcio en mg/100g	10	--	10	--
Fósforo en mg/100g	5	--	5	--
Hierro en mg/100g	1,5	--	1,5	--
Colorantes	Ausencia		Ausencia	

Fuente: Icontec (2009)

$$\%H = \frac{((Wc + Wm) - Wf)}{Wm} \times 100 \quad (1)$$

Dónde: H es la humedad (%), Wc es el peso de la caja vacía (g), Wm es el peso de muestra (g), y Wf es el peso final de la caja más muestra (g)

Azúcares Totales

Existen diversos métodos de cuantificación de carbohidratos basados en la capacidad reductora de los azúcares que tienen libre el grupo carbonilo. Estos carbohidratos son capaces de reducir elementos como el cobre (Cu^{+2}), el hierro (Fe^{+3}) o el yodo (I^0). En el caso específico del cobre, éste es reducido desde Cu^{+2} a Cu^{+1} . En este sentido, en el método de (Lane y Eynon, 1934), se hace reaccionar sulfato cúprico con azúcar reductor en medio alcalino, formándose óxido cuproso, el cual forma un precipitado rojo ladrillo. Para este caso, la determinación de azúcares se realizó basado en la AOAC 923.09 (AOAC, 2005) Determinación de Azúcares invertidos por el método volumétrico general de Lane Eynon.

Se utilizó sacarosa grado reactivo (PanReac AppliChem, España, lote 0000460966), Tartrato de sodio potasio pureza: 99,5% (CARLO ERBA, Italia, lote V4G9651041), Sulfato de cobre pentahidratado pureza: 99,4% (Merck, USA, lote AMo686590), Hidróxido de sodio pureza: 99,4% (Merck, USA, lote B1360898), Azul de metileno pureza: 94,3% (PanReac AppliChem, España, lote 0000797846), Ácido clorhídrico concentrado pureza: 37,4% (Merck, USA, lote K48322117).

Se pesó en una balanza analítica OHAUS aproximadamente 1g muestra homogeneizada, debido al alto contenido de azúcares, se disolvió en 50mL de agua desionizada y se le agregó 1mL de ácido clorhídrico concentrado. La solución se sometió a ebullición por 3 min. Paralelamente se realizó el título de sacarosa, donde se pesó 0,5g de sacarosa, se disolvió en 25mL de agua y se le agregó 0,5mL de ácido clorhídrico concentrado y también se sometió a ebullición por 3 min; esto se realizó con el fin de acelerar el proceso de hidrólisis de la

sacarosa para formar azúcares reductores como glucosa y fructosa. Se dejó enfriar y se llevó a un pH de 7-9 con hidróxido de sodio 40%, luego las muestras se llevaron a un volumen de 100mL en un matraz aforado y la sacarosa a un matraz aforado de 50mL. En un beaker de 600mL se adicionó 5mL de solución Fehling A alcalina de tartrato de sodio potasio y 5mL de solución Fehling B de sulfato de cobre, se le agregó perlas de ebullición y se sometió a calentamiento, la muestra se introdujo en una bureta de 25mL, luego a la solución Fehling en ebullición se le agregó 5mL de muestra y en el cambio de color de la solución a rojo ladrillo, se le adicionó 1mL de indicador azul de metileno, se continuó con la titulación en la plancha de calentamiento hasta que la solución viró de azul púrpura a rojo ladrillo. Se realizó el mismo proceso para la sacarosa. El volumen de titulación gastado en la muestra se utilizó para los cálculos correspondientes junto con el volumen de titulación de la sacarosa. Este método utiliza azul de metileno como indicador, el cual es decolorado una vez que todo el cobre ha sido reducido, lo que indica el fin de la titulación.

Determinación del Título de Sacarosa

$$Ts = \frac{Ws \times Vt}{D} \quad (2)$$

Dónde: Ts es el título de sacarosa, Ws es el peso de sacarosa (g), Vt es el volumen de titulación (mL) y D es la Dilución (mL).

$$\%AT = \frac{Ts \times D}{Wm \times Vt} \times 100 \quad (3)$$

Dónde:

%AT son los azúcares totales expresados como sacarosa (g/100g)

Ts: es el título de sacarosa, Wm es el peso de muestra (g)

Vt es el volumen de titulación (mL)

D es la dilución (mL)

Parámetros termodinámicos

Coefficiente de actividad

La ley de Raoult puede ser utilizada en el agua líquida de un alimento, para de manera independiente calcular la actividad acuosa, si se asume que la fase de vapor se comporta como un gas ideal y que las tendencias de escape de los líquidos son independientes de la presión. A presión y temperatura constantes, la actividad acuosa de una sustancia es igual a la fracción molar de agua en la solución. Cuando existen desviaciones de la idealidad se utiliza un coeficiente de actividad (γ), en cuyo caso y para el caso de un sistema binario la ecuación que corresponde a la ley de Raoult se escribe de la forma siguiente (Alvarado, 2012; Romo y Criollo, 1977).

$$a_w = (\gamma)X_w \quad (4)$$

Dónde: a_w es la actividad acuosa, γ es el coeficiente de actividad y X_w es la fracción molar del agua.

La fracción molar de agua se determinó por medio de los valores de humedad y azúcares totales expresados como sacarosa de la siguiente manera:

$$X_w = \frac{n_{H_2O}}{n_{H_2O} + n_{AT}} = \frac{\%H / pm_{H_2O}}{\%H / pm_{H_2O} + \%AT / pm_{C_{12}H_{22}O_{11}}} \quad (5)$$

Dónde: %H: Humedad (g/100g), %AT son azúcares totales como sacarosa (g/100g), pm_{H_2O} es el peso molecular del agua (18,01528g/mol), y $pm_{C_{12}H_{22}O_{11}}$ es el peso molecular de la sacarosa (342,2965g/mol).

Variación de la entalpía molar parcial

La variación de la entalpía molar parcial se obtuvo como la pendiente de la ecuación lineal de la relación entre el coeficiente de actividad y el inverso de la temperatura absoluta.

Análisis estadístico

Los cálculos de medidas de tendencia central, desviación y gráficas de correlación se realizaron en Excel (Microsoft Office 2016). Se obtuvieron las curvas del comportamiento de la actividad de agua de muestras de panela con relación al tiempo de almacenamiento, al contenido de humedad y al contenido de azúcares totales; también, del comportamiento de la humedad y azúcares totales con relación al tiempo de almacenamiento. Adicionalmente se obtuvieron gráficas del comportamiento de cada tipo de panela a través del tiempo de almacenamiento y se establecieron relaciones entre el coeficiente de actividad y el inverso de la temperatura absoluta, y entre el $\ln(\text{actividad acuosa}/\text{tiempo})$ y el inverso de la temperatura absoluta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN |

Parámetros fisicoquímicos

Actividad de agua

En la Figura 1 se observa el comportamiento de la actividad de agua de muestras comerciales de panela (PR, PC y PG) durante 129 días de almacenamiento a dos temperaturas (Ambiente: $30 \pm 2^\circ\text{C}$; Acelerada: $40 \pm 2^\circ\text{C}$).

La actividad acuosa (a_w) se define como la relación entre la presión de vapor de agua del alimento y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura, a su vez la actividad acuosa de un producto se relaciona con la humedad relativa en equilibrio, en un medio cerrado (Barbosa-Cánovas et al., 2007). También es la humedad en equilibrio de un producto, determinada por la presión parcial del vapor de agua en su superficie (Vanaclocha y Requena, 2003). El valor a_w depende de la composición, la temperatura y el contenido en agua del producto. Estudiar la actividad acuosa es de gran importancia para desarrollar y mejorar la estabilidad alimentaria, ya que el papel del agua es considerado como crítico en términos de calidad microbiana, química y sensorial (Barbosa-Cánovas et al., 2007).

Al observar la Figura 1 se aprecia un incremento en la actividad acuosa con relación al tiempo de almacenamiento para el caso de la presentación PG, en sus dos ambientes de almacenamiento. Para las otras presentaciones, PR y PC, no se pudo apreciar un comportamiento claro o proporcional con el tiempo de almacenamiento, como consecuencia de una posible heterogeneidad entre las muestras a nivel de lote, así como también a las propiedades plásticas del producto que dificultaron su homogeneización y la obtención de una porción de ensayo representativa, especialmente para tiempos de almacenamiento prolongados. Al momento del cuarteo del producto para análisis, se observaron diferencias de textura entre las caras expuestas y su interior. Dichas diferencias pueden ser explicadas por el fenómeno de migración de agua en el producto, ya que dependiendo del proceso de sorción o desorción de agua, la actividad acuosa en la superficie de un alimento puede ser muy diferente a la de su interior. Para el caso de alimentos con altos contenidos de agua, al entrar en contacto con aire seco se produce la desorción de agua y por lo tanto se obtiene una disminución de a_w en la interfaz, que promueve a su vez el transporte de solutos hacia la interfaz que acompaña la migración del agua. Para el caso de alimentos con bajo contenido de agua como la panela, al entrar en contacto con aire húmedo, la actividad acuosa de la interfaz es mayor a la del interior del producto y los fenómenos difusivos del agua se dan desde la superficie hacia el interior del sólido (Barbosa-Cánovas et al., 2007). Lo anterior se vio reflejado en los cambios de textura y de color en las presentaciones PR y PC, ya que se tornaron blandas y para el caso de PG se observó aglomeración, lo cual limita la posterior solubilidad de los azúcares (Alvarado, 2012).

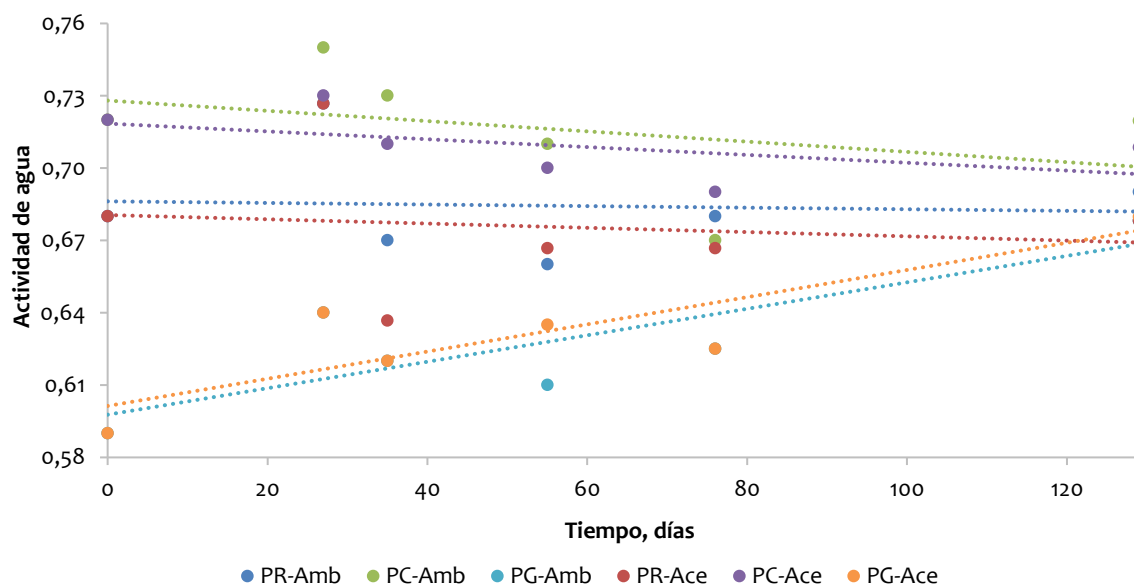


Figura 1. Comportamiento de la actividad de agua de muestras de panela con relación al tiempo de almacenamiento
 PR: panela redonda; PC: panela cuadrada; PG: panela granulada; Amb: almacenamiento a temperatura de $30\pm 2^{\circ}\text{C}$;
 Ace: almacenamiento a temperatura de $40\pm 2^{\circ}\text{C}$

En la Figura 2 se observa el comportamiento de la actividad de agua de muestras comerciales de panela (PR, PC y PG) a dos temperaturas de almacenamiento (Ambiente: $30\pm 2^{\circ}\text{C}$; Acelerada: $40\pm 2^{\circ}\text{C}$), con relación a la humedad de las muestras.

Se observa en la Figura 2 para las presentaciones PG y PC una relación proporcional entre la actividad acuosa y la humedad, es decir, a mayor humedad se da un incremento del valor de a_w , para la PR, no fue notable este comportamiento pues no muestra una tendencia uniforme que pudo ser debido a que el muestreo no fue representativo pues pudo venir sectorizado por lo que no al no tener un mismo modelo de muestreo en todo el estudio, no permitió evidenciar un comportamiento como tal. Estudiar estas variables permite comprender la evolución de la calidad del producto. De los resultados obtenidos, se observa que se debe controlar la humedad en la conservación del producto, ya que a valores entre 0,7 y 0,8 de a_w se alcanza la máxima velocidad del pardeamiento no enzimático o reacciones enzimáticas que provocan cambios en atributos sensoriales (Badui Dergal, 2006). En la Figura 3 se observa el comportamiento de la actividad de agua de muestras comerciales de panela (PR, PC y PG) a dos temperaturas de almacenamiento (Ambiente: $30\pm 2^{\circ}\text{C}$; Acelerada: $40\pm 2^{\circ}\text{C}$), con relación al porcentaje de azúcares totales como sacarosa

Se puede observar en la Figura 3 que para la presentación PG en almacenamiento acelerado y ambiente, existe una relación directamente proporcional con la a_w . Para las presentaciones

PR y PC, es notorio que, a mayor a_w menor contenido de azúcares como sacarosa, esto puede ser producto de la inversión de sacarosa, ya que un aumento de la actividad de acuosa conlleva a una mayor velocidad de reacción de la inversión de azúcares debido a una mayor movilidad de los reactivos, que incrementa el contenido de azúcares reductores como glucosa y fructosa, generando un oscurecimiento en las presentaciones (Mosquera Silvio et al., 2007).

La mejor forma de medir la disponibilidad de agua es mediante la a_w y en un alimento se puede reducir aumentando la concentración de solutos en la fase acuosa de los alimentos mediante la extracción del agua o mediante la adición de solutos. La a_w es uno de los factores intrínsecos que posibilitan o dificultan el crecimiento microbiano en los alimentos. Por ello la medición de esta es importante para controlar dicho crecimiento. Tiene incidencia sobre las características de calidad, tales como: textura, sabor, color, gusto, valor nutricional del producto y su tiempo de conservación. Los microorganismos necesitan la presencia de agua, en una forma disponible, para crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas. La disminución de la a_w frena el crecimiento de los microorganismos, las reacciones catalizadas por enzimas (principalmente hidrolasas) y posteriormente, el pardeamiento no enzimático. Sin embargo, la oxidación de los lípidos es la excepción, ya que la velocidad se incrementa en el alimento seco (Mejía Cárdenas, 2003).

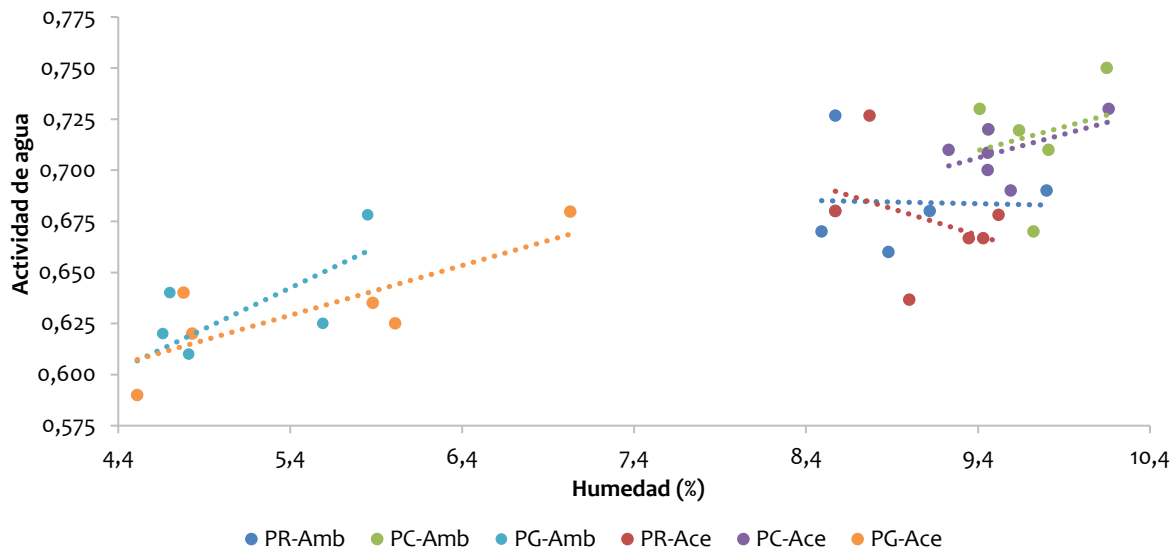


Figura 2. Comportamiento de la actividad de agua de muestras de panela con relación al contenido de humedad PR: panela redonda; PC: panela cuadrada; PG: panela granulada; Amb: almacenamiento a temperatura de $30\pm 2^{\circ}\text{C}$; Ace: almacenamiento a temperatura de $40\pm 2^{\circ}\text{C}$

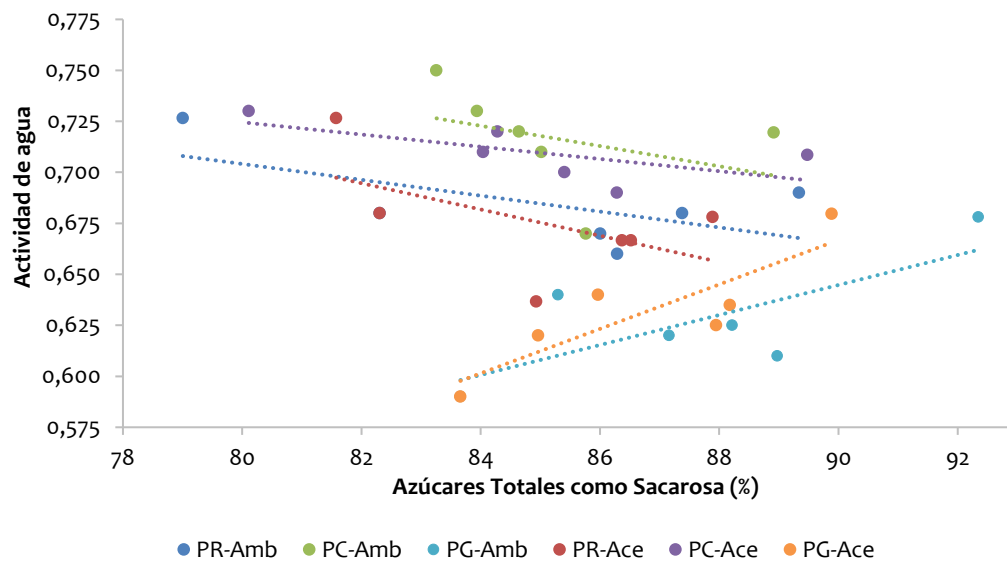


Figura 3. Comportamiento de la actividad de agua de muestras de panela con relación al contenido de azúcares totales expresados como sacarosa PR: panela redonda; PC: panela cuadrada; PG: panela granulada; Amb: almacenamiento a temperatura de $30\pm 2^{\circ}\text{C}$; Ace: almacenamiento a temperatura de $40\pm 2^{\circ}\text{C}$

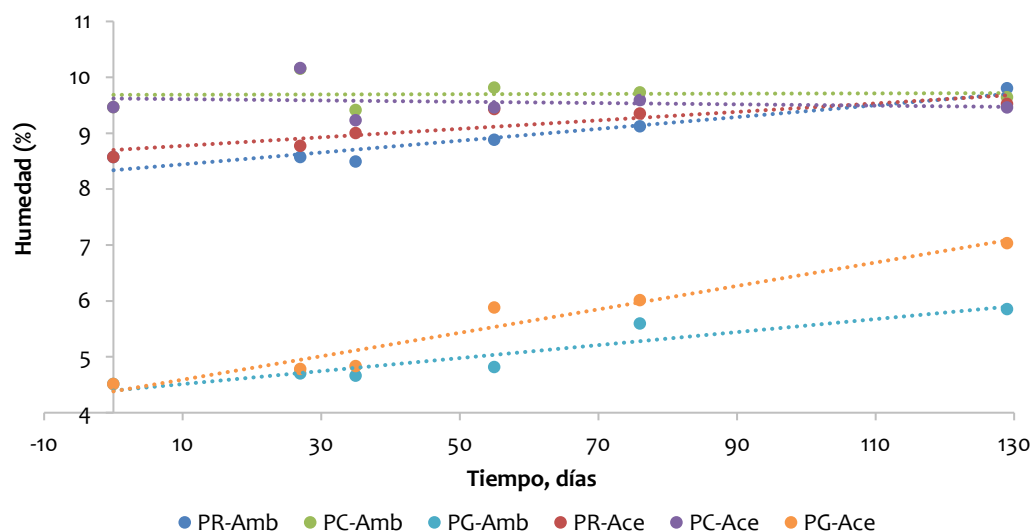


Figura 4. Comportamiento de la humedad (%) de muestras de panela con relación al tiempo de almacenamiento PR: panela redonda; PC: panela cuadrada; PG: panela granulada; Amb: almacenamiento a temperatura de $30\pm 2^\circ\text{C}$; Ace: almacenamiento a temperatura de $40\pm 2^\circ\text{C}$

Humedad

En la Figura 4 se observa el comportamiento de la humedad de muestras comerciales de panela (PR, PC y PG) durante 129 días de almacenamiento a dos temperaturas (Ambiente: $30\pm 2^\circ\text{C}$; Acelerada: $40\pm 2^\circ\text{C}$).

La determinación del contenido de humedad de los alimentos, es una propiedad importante y ampliamente usada en el procesamiento y control de calidad, ya que indica la cantidad de agua involucrada en la composición de los mismos. La medida de la humedad en procesos de deshidratación consiste en la determinación de la pérdida de masa que sufre un alimento cuando se somete a una combinación tiempo – temperatura adecuada. El residuo que se obtiene se conoce como sólidos totales o materia seca.

En los tejidos vegetales y animales existe dos formas generales: agua libre y agua ligada, como soluto o como solvente; en forma libre, formando hidratos o como agua adsorbida. En algunos alimentos solamente una parte del agua que contienen se pierde a esta temperatura. El resto (agua combinada o adsorbida) es difícil de eliminar y parece estar asociada a las proteínas presentes. La proporción de agua libre perdida aumenta al elevar la temperatura, por lo que es importante comparar únicamente los resultados obtenidos cuando se usan las mismas condiciones de secado. (García Martínez y Fernández Segovia, 2012).

Según la resolución 779 de 2006 (MinSalud, 2006) plantea como criterio máximo de humedad, el 9% para panela en bloque y el 5% para granulada. Las muestras que se utilizaron en el estudio en el tiempo ∞ cumplieron con la especificación

de la resolución. A partir del tiempo 1 de almacenamiento las presentaciones PR y PC presentaron un desvío en el cumplimiento de la especificación para las dos condiciones de almacenamiento; esto pudo deberse a defectos en el empaque, permitiendo que la humedad aumentara. Al final del estudio las tres presentaciones dejaron de cumplir con la resolución; arrojando que en condición acelerada ($40\pm 2^\circ\text{C}$) se obtenía mayor humedad respecto a la condición de almacenamiento a ambiente ($30\pm 2^\circ\text{C}$); esto puede deberse a que si la humedad del producto es menor que el porcentaje de humedad relativa (%HR) de almacenamiento, el agua ingresará al empaque del producto, aumentando la humedad por el fenómeno de difusión, ya que ésta depende en gran medida del logro del equilibrio termodinámico, porque la pérdida o ganancia de humedad de una región o componente alimenticio a otra región o componente ocurrirá continuamente para alcanzar el equilibrio termodinámico con los componentes alimentarios circundantes y ambiente (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2007).

En los alimentos se puede controlar mediante la difusión molecular el transporte de agua en sólidos, donde la fuerza motriz puede ser un gradiente de concentración o gradiente de contenido de humedad. La ley de difusión de Fick se refiere al movimiento de un componente a través de una mezcla binaria bajo un gradiente constante de presión de vapor a temperatura constante. La fuerza impulsora es, por lo tanto, el potencial químico o la diferencia de presión de vapor entre las dos regiones (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2007).

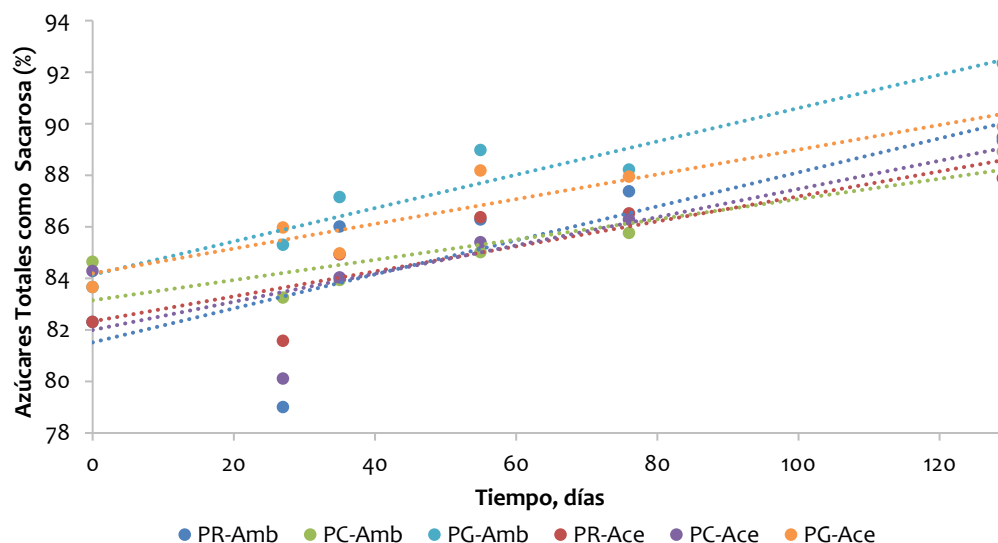


Figura 5. Comportamiento de los azúcares totales como sacarosa (%) de muestras de panela con relación al tiempo de almacenamiento
PR: panela redonda; PC: panela cuadrada; PG: panela granulada; Amb: almacenamiento a temperatura de $30\pm 2^{\circ}\text{C}$; Ace: almacenamiento a temperatura de $40\pm 2^{\circ}\text{C}$

Azúcares totales

En la Figura 5 se observa el comportamiento del porcentaje azúcares totales como sacarosa de muestras comerciales de panela (PR, PC y PG) durante 129 días de almacenamiento a dos temperaturas (Ambiente: $30\pm 2^{\circ}\text{C}$; Acelerada: $40\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Se observa una relación directamente proporcional entre el contenido de azúcares totales y el tiempo de almacenamiento para las tres presentaciones en sus dos condiciones de almacenamiento, por lo que se infiere un error sistemático al momento de realizar los análisis de azúcares totales por el método Lane Eynon, pues según la teoría se espera que el contenido de sacarosa disminuya debido al proceso de inversión de esta en azúcares reductores, que se ve reflejado en la apariencia del producto, por lo que contenido de azúcares totales se mantendría constante; otra razón pudo ser que a pesar que las muestras eran del mismo lote, éste pudo venir sectorizado debido a los procesos de batido o moldeo en la elaboración de la panela, que al momento de hacer los análisis afectó en el proceso de homogeneización, pues el cuarteo no fue representativo ya que no se homogenizó toda la muestra. Controlar las variables del método de azúcares totales, entre ellas la temperatura de calentamiento al momento de realizar la titulación, para garantizar una mayor precisión del método analítico que permita evidenciar pequeños cambios en el parámetro medido, que se pueda diferenciar del error aleatorio del método, eso incluyendo la selección de la porción de muestra para el análisis, como por ejemplo la profundidad muestreada de la superficie expuesta o de los puntos del interior del producto. También el método de Lane Eynon presenta un

inconveniente en la determinación de azúcares, ya que la panela puede contener otras especies que pueden generar interferencias, entre estas, otros azúcares como cetosas que pueden sufrir efectos de tautomerización por la alcalinidad del medio, como también especies inorgánicas y moléculas con grupos aldehído en su estructura susceptibles a oxidación afectando el resultado del contenido real de azúcares en la panela (Zambrano Herrera, 2011). Ya que en los productos derivados de la caña de azúcar como es el caso de la panela, se podría presentar contenido de furfural y derivados (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), 1986), que al ser aldehídos actúan como agentes reductores, es decir en el momento del análisis reducen el cobre y se suman como un interferente. Por lo que se recomienda el análisis de estos azúcares por cromatografía líquida de alta resolución HPLC, ya que se obtienen resultados con mayor exactitud debido a que es específico y selectivo para estos azúcares, aunque comparado con la otra técnica suele ser más costosa. (Zambrano Herrera, 2011). A los 27 días de almacenamiento se observa en las presentaciones PR y PC (Figura 5), en ambiente y acelerado una disminución notable del contenido de azúcares que pudo ser debido al incremento de la actividad acuosa comparado con los demás tiempos.

En la Figura 6 se aprecia los cambios en las características físicas como es el color y la textura en las muestras de panela analizadas.

Se aprecia que al comienzo del estudio las panelas redonda y cuadrada tenían apariencia de sólido duro quebradizo y al final se tornó un sólido plástico o blando de color más intenso, la

panela granulada era un polvo granulado suelto y al final se aglutinó y adquirió también un color más oscuro; dicha textura puede estar relacionada por el incremento en la humedad y la actividad acuosa. Esto puede deberse a que los reactivos se disuelven y movilizan en la panela aumentando la velocidad de la reacción de Maillard, responsable de aromas, sabores y color dorado deseables e indeseables en los

alimentos. Esta reacción implica una amina no protonada que actúa como un nucleófilo atacando un grupo carbonilo, donde los azúcares reductores son las fuentes más comunes de grupo carbonilo (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2007), por lo que se presume un incremento en los azúcares reductores.



Figura 6. Muestras de panela a través del tiempo de almacenamiento

Parámetros termodinámicos

Coefficiente de actividad

Con los resultados obtenidos de los parámetros de %H, a_w y azúcares totales se determinó el coeficiente de actividad por medio de la ley de Raoult (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2007). En la Tabla 2 se presentan los valores de coeficientes de actividad de muestras de panelas para dos temperaturas de almacenamiento.

Tabla 2. Coeficiente de actividad de muestras de panelas para dos temperaturas de almacenamiento

T, K	PR	Y PC	PG
303,15	1,027 ± 0,027	1,048 ± 0,036	1,206 ± 0,043
313,15	1,008 ± 0,043	1,042 ± 0,017	1,164 ± 0,050

PR: panela redonda; PC: panela cuadrada; PG: panela granulada

El γ cambia con la temperatura, pues a mayor temperatura de almacenamiento disminuye su valor, lo que indica menores desviaciones del comportamiento como un gas ideal conforme se incrementa la temperatura a las que están las muestras de panela.

El γ permite conocer la desviación del comportamiento ideal de un compuesto, pues a valores de coeficiente de actividad igual a uno el comportamiento sería de un gas ideal, al ser un

valor diferente indica desviaciones del comportamiento ideal, que se debe a diferentes causas que están relacionadas con propiedades moleculares específicas de la especie en la solución, entre éstas están el tamaño de solutos, fuerzas intermoleculares y efectos de solvatación, que aumentan con la concentración (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2007). Para el caso de las PC y PR fueron valores iguales a uno, pero en la presentación PG el valor fue mayor que uno, ya que en ésta el contenido de sólidos es mayor comparado con el del agua que es mínimo, lo que genera desviaciones del comportamiento ideal, esta desviación puede atribuirse al elevado número de moléculas de sacarosa con respecto a las de agua, ya que según la teoría, estas partículas reducen la tendencia al escape o fugacidad del agua (Labuza y Altunakar, 2008). Por lo que a medida que aumenta la concentración, el coeficiente de actividad disminuye, deprimiendo a_w significativamente.

Variación de la entalpía molar parcial

Tabla 3. Entalpía molar parcial en las muestras de panela

$1/T$ (1/K)	PR	ln(γ) PC	PG
3,299,E-03	0,027	0,047	0,187
3,193,E-03	0,008	0,041	0,152
Pendiente	179,40	54,95	335,91
$\Delta H_{molar\ parcial}$ (J/g.mol)	1491,57	456,85	2792,73

PR: panela redonda; PC: panela cuadrada; PG: panela granulada

La variación de la entalpía molar parcial es determinada por medio de la pendiente de la relación entre logaritmo natural del coeficiente de actividad comparada con el inverso de la temperatura de almacenamiento para las tres presentaciones (Tabla 3), donde se obtiene para la panela redonda 1491,57 J/g·mol, para panela cuadrada de 456,85 J/g·mol y para panela granulada de 2792,73 J/g·mol.

Parámetros cinéticos

Para la predicción del tiempo de vida útil se aplicó cinéticas de deterioro (Tabla 4). Se evaluaron diferentes órdenes de reacción con el fin de determinar con cuál se observaba mejores resultados y mayor ajuste en la relación de a_w respecto al tiempo de almacenamiento. Entre los procesos de deterioro de los alimentos que se rigen por la ecuación de orden cero están la degradación enzimática, pardeamiento no enzimático y la oxidación de lípidos que lleva a la producción de olores rancios; para la ecuación de primer orden están las

pérdidas de vitaminas y proteínas, la muerte o desarrollo microbiano, pérdida de color por oxidación y la pérdida de textura en tratamientos térmicos (Vanaclocha y Requena, 2003).

En la Tabla 5 se presentan los parámetros cinéticos de muestras de panelas para dos temperaturas de almacenamiento.

Tabla 4. Expresiones para los tiempos de vida útil y media de acuerdo al orden de reacción

Orden aparente de la reacción	Ecuación tiempo de vida útil (t_u)	Ecuación tiempo de vida media ($t_{1/2}$)
0	$Q_f = Q_0 - kt_u$	$t_{1/2} = Q_0/2k$
1	$\ln Q_f = \ln Q_0 - kt_u$	$t_{1/2} = \ln 2/k$
2	$1/Q_f = 1/Q_0 + kt_u$	$t_{1/2} = 1/k Q_0$

Fuente: Vanaclocha y Requena (2003)

Tabla 5. Parámetros cinéticos de muestras de panelas para dos temperaturas de almacenamiento

Orden	Parámetros	PR-Amb	PR-Ace	PC-Amb	PC-Ace	PG-Amb	PG-Ace
0	Q_0	6,87E-01	6,83E-01	7,28E-01	7,18E-01	5,98E-01	6,01E-01
	K	-4,15E-05	-1,03E-04	-2,13E-04	-1,62E-04	5,49E-04	5,64E-04
	R^2	0,0059	0,0247	0,1300	0,2664	0,6785	0,7477
1	$\ln Q_0$	-3,76E-01	-3,83E-01	-3,18E-01	-3,31E-01	-5,14E-01	-5,08E-01
	K	-5,49E-05	-1,42E-04	-2,99E-04	-2,28E-04	8,62E-04	8,85E-04
	R^2	0,0050	0,0221	0,1281	0,2649	0,6744	0,7417
2	$1/Q_0$	1,46E+00	1,47E+00	1,37E+00	1,39E+00	1,67E+00	1,66E+00
	K	7,22E-05	1,94E-04	4,20E-04	3,21E-04	-1,36E-03	-1,39E-03
	R^2	0,0042	0,0195	0,1261	0,2633	0,6698	0,7347

PR: panela redonda; PC: panela cuadrada; PG: panela granulada; Amb: almacenamiento a temperatura de 30±2°C; Ace: almacenamiento a temperatura de 40±2°C

Se observa, para la PR y PC que ninguno de los órdenes de reacción mantiene una relación lineal entre la a_w y el tiempo de almacenamiento por los valores tan bajos de coeficiente de regresión R^2 , pues no se observó muy bien el comportamiento porque, a pesar que las muestras eran del mismo lote, éste pudo venir sectorizado debido a los procesos de batido o moldear en la elaboración de la panela, que al momento de hacer los análisis afectó en el proceso de homogeneización, pues el cuarteo no fue representativo ya que no se homogeneizó toda la muestra. En la presentación PG fue un poco más alto el coeficiente de regresión pues no se tuvo ese inconveniente, ya que, en el proceso de elaboración, al final se realiza un batido y simultáneamente la deshidratación de las mieles a cierta temperatura para obtener los granos esféricos o polvo, por lo que es más representativa. Se determinó el tiempo de vida útil (t_u), con relación a la a_w , por medio de la ecuación de orden de reacción cero y se tomó como criterio que en los alimentos una a_w inferior a 0,7 es considerada como el límite inferior, ya que presenta todas las garantías de estabilidad, pues en los alimentos con a_w baja (0,61-0,85) las alteraciones microbianas más frecuentes son las producidas por mohos, y el valor mínimo a_w de crecimiento para este microorganismo es de 0,70 (Vanaclocha y Requena, 2003).

Los t_u obtenidos con relación a la actividad acuosa fueron para panela redonda ambiente de 174 días y acelerada de 29 días, para panela cuadrada ambiente de 132 días y acelerada de 114 días, para panela granulada ambiente de 186 días y acelerada de 175 días. Que al sumarle el tiempo de fabricación de las panelas se obtiene respectivamente para panela redonda ambiente 196 días y acelerada 51 días, para panela cuadrada ambiente 154 días y acelerada 136 días, para panela granulada ambiente 193 días y acelerada 182 días. Donde el tiempo de vida útil promedio para panela redonda fue de 123 días, para panela cuadrada de 144 días y para panela granulada de 187 días. Es importante observar que a medida que se incrementa la temperatura de almacenamiento se reduce el tiempo de vida útil del alimento.

En varias ocasiones la temperatura de almacenamiento del producto es diferente de las temperaturas de almacenamiento en que se trabajó el estudio, por lo que la ecuación de Arrhenius permite la determinación del tiempo a la temperatura de interés, ya que ésta describe el efecto de la temperatura sobre la velocidad del deterioro del alimento (Vanaclocha y Requena, 2003).

De la pendiente y el intercepto obtenido del logaritmo natural de la velocidad de cambio definida por la relación a_w /tiempo versus el inverso de la temperatura absoluta en muestras comerciales de panela (Tabla 6) se pudo estimar el tiempo de vida útil a 25°C, donde los tiempos de vida útil obtenidos fueron mayores comparado con las dos condiciones del estudio: 398 días para panela redonda 164 días para panela cuadrada y 206 días para panela granulada; donde en la panela redonda se obtuvo un tiempo mayor comparado con las otras presentaciones debido a que ésta presentó mayor variación entre el tiempo de vida útil en condición ambiente y acelerado, lo que generó una pendiente más alta y por consiguiente un tiempo de vida útil a 25°C elevado, pues los valores de actividad acuosa para la panela redonda en sus dos condiciones de almacenamiento mantuvieron tendencias diferentes, no fue apreciable significativamente la variación de actividad acuosa a través del tiempo en comparación con las otras presentaciones.

Tabla 6. Relación entre el \ln (actividad acuosa/tiempo) y el inverso de la temperatura absoluta en muestras comerciales de panela

1/T [1/K]	Ln (aw/t) [1/día]		
	PR	PC	PG
3,299,E-03	-5,664	-5,391	-5,621
3,193,E-03	-4,317	-5,267	-5,560
Intercepto	-12785,796	-1172,428	-578,887
Pendiente	36,512	-1,523	-3,712

PR: panela redonda; PC: panela cuadrada; PG: panela granulada

CONCLUSIONES |

Al finalizar el estudio se evidenció que en la PG se obtuvo mejores resultados comparado con la PR y PC, es decir fue más notable el comportamiento de las variables de estudio a través del tiempo, que pudo ser debido al proceso de elaboración en la panela (batido y moldeo), muestreo para la homogeneización de la muestra de análisis.

La calidad de los alimentos se ve reflejada en las propiedades que influyen en la aceptación del producto por el consumidor; para el caso de la panela el análisis de la actividad acuosa, humedad y azúcares es fundamental, ya que determina la calidad del producto.

El estudio de la variable actividad acuosa es de vital importancia ya que ésta influye en distintas características de los alimentos como lo es el color, olor, sabor, textura, que se ve afectada en la vida útil de muchos productos, pues se puede predecir la seguridad o estabilidad con respecto al crecimiento microbiano.

La reacción Maillard está relacionada con el incremento del valor de actividad acuosa, la ganancia de humedad ya que hay una mayor velocidad de reacción en la inversión de azúcares debido a una mayor movilidad de los reactivos, que se ve reflejado en el oscurecimiento de la panela, por lo que al final

del estudio la PR, PC y PG, evidenciaron un color café más oscuro con mal apariencia.

Para el análisis de azúcares se recomienda por la técnica HPLC que es más confiable, ya que los productos derivados de la caña de azúcar, podrían tener furfural y derivados un interferente en la metodología de Lane Eynon, ya que este compuesto es un aldehído que actúa también como un agente reductor.

Se recomienda explorar o relacionar el efecto de las sales, durante el almacenamiento de la panela, también el contenido de nitrógeno para evidenciar la reacción de Maillard.

AGRADECIMIENTOS |

Los autores agradecen a Laboratorios Ángel Bioindustrial por suministrar los equipos y facilitar la realización de los análisis, en especial a la Dra. María Teresa Ángel por su apoyo y especial interés para la realización de este proyecto. Al Qco. Daniel Velandia-Rodríguez por su apoyo y orientación en la realización del proyecto.

CONFLICTO DE INTERESES |

Los autores no tienen conflicto de intereses.

REFERENCIAS |

- Acurio L.P. Determinación en los Principales Indicadores en el Tiempo de Vida de Anaquel en Panela Granulada de las Unidades Productivas de Ingapi y el Paraiso con Fines de Exportación al Mercado Norteamericano: Universidad Técnica de Ambato; 2010.
- Alvarado J.d.D. 2012. Propiedades termodinámicas relacionadas con el agua constitutiva de alimentos. Imprenta GRAFITEXT (Ambato). 324p-p p.
- Álvarez Londoño A.F. Perfil de producto: Panela en Estados Unidos. 2005.
- AOAC 2005. Official Methods of Analysis. AOAC International (Gaithersburg). Official Method 925.45.
- AOAC 2005. Official Methods of Analysis. AOAC International (Gaithersburg). Official Method 923.09.
- Badui Dergal S. Capítulo 1: Agua. 4 ed. México: Pearson Educación; 2006. p. 1-24.
- Barbosa-Cánovas G.V., Fontana J.A.J., Schmidt S.J., Labuza T.P. 2007. Water Activity in foods Fundamentals and Applications. Blackwell Publishing IFT Press (Ames).
- Casp Vanaclocha A., Abril Requena J. 2003. Proceso de Conservación de Alimentos. Ediciones Mundi Prensa (Madrid). 35-89 p.
- García Martínez E., Fernández Segovia I. 2012. Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación. Riunet (Valencia).
- Icontec 2009. Norma Técnica Colombiana NTC 1311. Instituto colombiano de Normalización ICONTEC (Bogotá. D.C.). 7- p.
- Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). 1986. La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar. (J. F. Montero Valdés, Ed.). La Habana: Científico-Técnico la Habana.
- Labuza T.P., Altunakar L. Water Activity Prediction and Moisture Sorption Isotherms. Oxford: Blackwell Publishing Ltd; 2008. p. 109-54.
- Mejía Cárdenas A.L. 2003. Evaluación del tiempo de vida útil y estabilidad de las propiedades de calidad de grano reventado de amaranto y sus dos productos. Ibarra, EC Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (Ecuador). 141- p.
- MinSalud 2006. Resolución 779. Ministerio de Salud y la Protección Social. Bogotá, Colombia. 10- p.
- Mosquera Silvio A., Carrera J.E., Villada H.S. 2007. Variables que afectan la calidad de la panela. 5(1):17-27.

- Sandoval G., Mora W., Tuz C. Producción Mecánica de Panela Granulada. 2007.
- Uppal S.K., Thind K.S., Gill R.S. 2005. Relative performance of sugarcane genotypes for jaggery (gur) quality and storage. 136-40 p.
- Zambrano Herrera, A. C. 2011. Estudio Comparativo de Métodos para la Determinación de Sacarosa y Azúcares Reductores en Miel Virgen de Caña Utilizados en el Ingenio Pichichí S.A. Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Tecnologías, Programa de Tecnología Química.

Versión Online