



## Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vulgaris* L.) y miel de abeja

Kinetics of thermal degradation of betacyanins, betaxantins and vitamin C in a juice-based drink beet (*Beta vulgaris* L.) and honey

William Sánchez-Chávez<sup>1</sup>; Juan Cortez-Arredondo<sup>1</sup>; Miguel Solano-Cornejo<sup>1,\*</sup>; Julio Vidaurre-Ruiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Lambayeque - Perú.

<sup>2</sup> Universidad Señor de Sipán, Escuela de Ingeniería Industrial, Pimentel- Perú.

Recibido 31 enero 2015. Aceptado 05 abril 2015.

### Resumen

La cinética de degradación de la betacianinas, betaxantinas y vitamina C a 30 °C, 40 °C y 50 °C fue evaluada en una bebida a base de betarraga y miel de abeja, utilizando los modelos cinéticos de orden cero, primer y segundo orden; así como el modelo de Arrhenius para evaluar la dependencia de la velocidad de degradación con respecto a la temperatura. Se determinó que la degradación de los tres compuestos evaluados en las tres temperaturas ensayadas siguió una cinética de primer orden con una alta correlación ( $R^2 = 0,974; 0,98; 0,979$ ). Se determinó que las betacianinas y la vitamina C presentan un sensibilidad similar a la temperatura; mientras que las betaxantinas fueron más estables. Con referencia a la influencia de la temperatura en la velocidad de degradación se determinaron las energías de activación y los valores  $Q_{10}$  de la reacción los cuales confirman la mayor estabilidad de las betaxantinas con respecto a las betacianinas y la vitamina C en la bebida de remolacha y miel de abeja.

**Palabras clave:** Beta vulgaris, remolacha, betacianinas, betaxantinas, modelos cinéticos, degradación térmica.

### Abstract

The kinetic of degradation betacyanins, betaxantins and vitamin C at 30 °C, 40 °C and 50 °C was evaluated in a commercial beverage made of beet and honey, using the kinetic models of zero, first and second order; and Arrhenius model to evaluate the dependence of the rate of degradation with respect to temperature. It was determined that the degradation of the three compounds evaluated at the three tested temperatures followed a first order kinetics with a high correlation ( $R^2 = 0.974, 0.98, 0.979$ ). It was determined that the betacyanins and vitamin have a similar sensitivity to temperature; while betaxantins were more stable. Referring to the influence of temperature on the degradation rate, the activation energy and the reaction  $Q_{10}$  values were determined which confirm the increased stability of betaxantins regarding betacyanins and vitamin in the beverage of beet and honey.

**Keywords:** Beta vulgaris, beets, betacyanins, betaxantinas, kinetic models, thermal degradation.

### 1. Introducción

La bebida a base de jugo de remolacha y miel de abeja, es una alternativa para el consumo de pigmentos naturales como betacianinas y betaxantinas, además es enriquecida con vitamina C que es esencial en la dieta diaria. Diversos autores han reportado que las betacianinas y

betaxantinas poseen actividad antioxidante, por lo que su consumo se asocia a la protección contra enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo (Stintzing *et al.*, 2002; Butera *et al.*, 2002). La actividad antioxidante de las betalainas se atribuye al grupo fenólico y al grupo amino cíclico presente en su estructura, por lo cual

\* Autor para correspondencia  
E-mail: [msolanoayuda@hotmail.com](mailto:msolanoayuda@hotmail.com) (M. Solano-Cornejo).

podrían donar átomos de hidrógeno y/o electrones a radicales libres (Kanner *et al.*, 2001; Moreno *et al.*, 2008). Diversos experimentos *in vitro* e *in vivo* muestran que las betacianinas y betaxantinas poseen actividad antioxidante en ambientes biológicos como membranas celulares y células (Tesoriere *et al.*, 2003; 2004a,b). También se han evidenciado acciones antiinflamatorias en células endoteliales y efectos sobre células de líneas tumorales (Gentile *et al.*, 2004; Sreekantah *et al.*, 2007). Pruebas clínicas han mostrado que el consumo de jugo de frutas influyen positivamente en el balance redox del organismo disminuyendo el daño oxidativo de los lípidos, en tanto que la ingesta de jugo de remolacha retarda la oxidación de los lípidos, efectos que se atribuyen a las betalainas (Moreno *et al.*, 2008).

Las betalainas son pigmentos particularmente escasos en la naturaleza; se encuentran en la betarraga (*Beta vulgaris* L.), semillas y hojas de amaranto (*Amaranthus* sp.) y en algunas cactáceas del género *Opuntia* y *Hylocereus*, como la tuna púrpura, las pitayas y pitahayas (Cai y Corke, 1998; Stintzing *et al.*, 2002). En una reciente publicación, se confirmó la presencia de betacianinas, principalmente betanina y isobetanina, en semillas de quinuas rojas y negras (Tang *et al.*, 2015). Diversos factores pueden influir en la estabilidad de las betalainas, como por ejemplo, éstas pueden degradarse perdiendo sus atributos de color y capacidad antioxidante (Azeredo, 2008). Se ha establecido que los principales factores que influyen en la estabilidad de las betalainas son: la temperatura, el pH, la actividad de agua, la luz, la presencia o ausencia de oxígeno y la acción enzimática. Siendo la temperatura el factor más influyente en la degradación de las betalainas (Herbach *et al.*, 2006).

La vitamina C o ácido L-ascórbico es un compuesto de 6 carbonos relacionado estructuralmente con la glucosa, es un agente con una elevada capacidad reductora. Tanto el ácido ascórbico como

su forma oxidada (ácido L-dehidroascórbico) presentan actividad biológica. En la mayoría de los tejidos el ácido ascórbico existe en la forma reducida (90%) (Thompson y Kharb, 2007). Ensayos *in vitro* han demostrado que la vitamina C tiene función antioxidante, previniendo diversas enfermedades que son consecuencia de un estrés oxidativo. La función principal de la vitamina C es un cofactor de numerosas reacciones que requieren cobre o hierro reducido y como antioxidante hidrosoluble que actúa a nivel intra y extracelular (Osiki, 1995). En su papel como agente reductor, la vitamina C puede facilitar la absorción del hierro desde el tracto gastrointestinal y permitir su movilización desde las reservas; el hierro y el ácido ascórbico forman un complejo quelante-hierro que es más soluble en el medio alcalino del intestino delgado y, por lo tanto, más fácil es su absorción (Hallberg *et al.*, 1987; Clark *et al.*; 1992).

El ácido ascórbico es muy sensible a varios métodos de procesamiento y almacenamiento de los alimentos, los factores que pueden influir en la naturaleza del mecanismo de degradación incluye la temperatura, concentración de sal y azúcar, pH, oxígeno, enzimas y metales (Steaven, 1988). La vitamina C es una de las vitaminas que más fácilmente pueden ser destruidas en los procesos de almacenamiento y elaboración de los alimentos, por lo que es utilizado como indicador de la pérdida vitamínica de un alimento durante su procesamiento y almacenamiento (Ordoñez y Yoshioka, 2012).

Una de las herramientas más útiles para el estudio de la cinética de degradación de pigmentos y vitaminas durante el periodo de almacenamiento, es el uso de los principios de cinética de reacciones químicas (Libuza y Riboh, 1982; Ramaswami *et al.*; 1989; Van Boekel, 1996).

El propósito de esta investigación fue evaluar la cinética de degradación térmica

de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha y miel de abeja.

## 2. Materiales y métodos

### Preparación de muestra

Se utilizó la bebida a base de jugo de remolacha y miel de abeja elaborada por la empresa “Vida Saludable Del Perú E.I.R.L.” ubicada en el departamento de Lambayeque. Ésta es una bebida no carbonatada, enriquecida con Ácido Ascórbico (Sigma Aldrich, USA), envasada en botella de vidrio de color verde pilfer (31,5x24 t<sup>-1</sup>) provista de una tapa rosca de color negro pilfer proof (c/cdos.t1).

### Almacenamiento de la muestra

Para la evaluación de la cinética de degradación de las betacianinas, betaxantinas y vitamina C, se almacenaron 75 unidades de muestra en 3 incubadoras equitativamente. Las incubadoras fueron construidas con madera prensada (OSB) de 9 mm de espesor, recubiertas en su interior con poliestireno expandido de 12,7 mm de espesor, a cada incubadora se le instaló una fuente de energía de 100 watts y un termostato MT-512 Ride (Full Gauge ® Controls, USA) para el control automático de la temperatura. Las temperaturas fueron controladas en cada incubadora internamente con un termómetro ambiental modelo CTH 609 (Boeco, USA).

### Cuantificación de betacianinas y betaxantinas

Durante el almacenamiento de las unidades de muestreo en las incubadoras, se cuantificó la concentración de betacianinas y betaxantinas (mg/100ml) siguiendo el procedimiento descrito por Campos *et al.* (2006), donde 5 ml de muestra y 20 ml de disolvente (tampón de McIlvaine, pH 5,2) se homogeneizaron durante 2 minutos. Se añadió tampón McIlvaine hasta un volumen final de 50 mL antes de la filtración. El espectrofotómetro fue puesto a cero con Búfer McIlvaine. La

absorbancia del extracto se midió a una longitud de onda de 536 nm para el contenido de betacianinas (pigmento rojo-púrpura) y a 476 nm para el contenido de betaxantinas (pigmento de color naranja amarillo). El contenido total betacianinas y betaxantinas se calcularon utilizando valores de absorptividad molar ( $E_{1\%}^{1\text{cm}}$ ) de 1120 y 750 L·mol<sup>-1</sup>·cm<sup>-1</sup>, respectivamente. Los resultados se expresaron en mg de betacianinas o betaxantinas por cada 100 mL de muestra. Para el cálculo se utilizó la Ecuación 1.

$$\frac{mg}{100ml} = A * \frac{M}{E*b} * 1000 \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:  $A$  = Absorbancia;  $E$  = Absortividad molar;  $b$  = longitud de la celda en cm;  $M$  = peso molecular (550,48 g/mol para betacianinas y 308 g/mol para betaxantinas).

Los contenidos de betacianinas y betaxantinas se cuantificaron por triplicado a intervalos de 2, 5 y 12 horas, para cada temperatura de almacenamiento 30, 40 y 50 ± 0,5 °C, respectivamente.

### Cuantificación de vitamina C

Durante el almacenamiento de las unidades de muestreo en las incubadoras se cuantificó la concentración de vitamina C (mg/100 ml) mediante el método gravimétrico de la AOAC. 967,21. El contenido de vitamina C se cuantificó por triplicado en intervalos de 1 hora cuando la muestra se almacenó a 50 ± 0,5 °C y cada 4 horas cuando la muestra se almacenó a 30 y 40 ± 0,5 °C.

### Modelos cinéticos mecanicistas

Se determinaron los órdenes de reacción y las constantes de velocidad de la degradación de betacianinas, betaxantinas y vitamina C, a partir de los datos experimentales de concentración versus tiempo; realizando un análisis de regresión lineal simple, para los modelos cinéticos de orden cero, primer orden y segundo orden (Ec. 2, 3 y 4). Así mismo se determinó la dependencia térmica de la

degradación de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en la bebida por medio de la determinación de la energía de activación ( $E_a$ ) de la reacción (Ec. 5 y 6) y el cociente de temperatura ( $Q_{10}$ ) (Ec. 7).

Los modelos empleados fueron:

Modelo cinético de orden cero

$$[A] = [A_0] \pm kt \quad (\text{Ec. 2})$$

Modelo cinético de primer orden

$$[A] = [A_0] e^{\pm kt} \quad (\text{Ec. 3})$$

Modelo cinético de segundo orden

$$1/[A] = 1/[A_0] \pm k \cdot t \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde:  $[A_0]$  es la concentración inicial del atributo medido y  $[A]$  la concentración del atributo medido a un tiempo  $t$ , y  $k$  es una constante de velocidad.

Modelo de Arrhenius

$$k = k_0 \cdot \exp(-E_a/RT) \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\ln k = \ln k_0 - (E_a/R) \cdot (1/T) \quad (\text{Ec. 6})$$

Dónde:  $k$  es la constante de velocidad de reacción,  $k_0$  es el factor pre-exponencial,  $E_a$  es la energía de activación,  $R$  es la constante universal de los gases (1,987 cal/Kmol) y  $T$  es la temperatura absoluta en K.

Modelo  $Q_{10}$

$$Q_{10} = k_{(T+10)} / k_T \quad (\text{Ec. 7})$$

Dónde:  $T$  es la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y  $k$  es la constante de velocidad de reacción.

### Indicadores estadísticos utilizados

Se realizó un Análisis de variancia (ANOVA) simple con un nivel de significancia de 0,05 y se estableció el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) utilizando el software MsExcel (Microsoft, 2013).

El error cuadrado medio (ECM) se determinó utilizando la Ecuación 8.

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i + Y_i)^2 \quad (\text{Ec. 8})$$

Dónde:  $\hat{Y}$  es el valor de experimental observado,  $Y$  es el valor predicho por el modelo y  $n$  es el número de observaciones.

### 3. Resultados y discusión

#### Determinación de los parámetros de cinética de degradación

Para determinar el orden de reacción y las constantes de velocidad de los compuestos estudiados, se realizó un análisis de regresión lineal simple. Para los modelos cinéticos indicados anteriormente, el resumen de los resultados se muestra en la Tabla 1.

Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) más altos (0,991; 0,983 y 0,993) se obtuvieron al evaluar la cinética de degradación de la betalaínas con el modelo de primer orden para las temperaturas de 30  $^{\circ}\text{C}$ , 40  $^{\circ}\text{C}$  y 50  $^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Asimismo los valores del error cuadrado medio (ECM) más bajos (0,739; 2,383 y 1,921), indican que la cinética de primer orden explica con menor error la degradación de betacianinas en cada temperatura de almacenamiento.

Para las betaxantinas, se observa que los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de la regresión lineal más altos corresponden a la cinética de primer orden (0,974; 0,980 y 0,979) para las temperaturas de 30  $^{\circ}\text{C}$ , 40  $^{\circ}\text{C}$  y 50  $^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Asimismo los valores del error cuadrado medio (ECM) fueron los más bajos (0,539; 0,548 y 0,697), lo que indica que la cinética de primer orden explica con el mínimo error la degradación de betaxantinas en cada temperatura de almacenamiento.

Con respecto a la degradación de la vitamina C, los indicadores  $R^2$  y ECM de la regresión lineal de los modelos cinéticos (Tabla 1) nos llevan a la conclusión que la degradación de la vitamina C sigue una cinética de primer orden.

Los trabajos realizados por Saguy (1979), Moreno *et al.* (2002) y Vergara (2013), sobre la cinética de degradación de las betalaínas, presentaron un comportamiento exponencial.

**Tabla 1**

Estadísticas de regresión lineal simple para la degradación de betacianinas, betaxantinas y vitamina C para cada temperatura a partir de los datos experimentales de concentración versus tiempo

| Cinética de reacción | Temperatura de almacenamiento |       |       |       |       |        |
|----------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                      | 30 °C                         |       | 40 °C |       | 50 °C |        |
|                      | $R^2$                         | $ECM$ | $R^2$ | $ECM$ | $R^2$ | $ECM$  |
| Betacianinas         |                               |       |       |       |       |        |
| Orden 0              | 0,991                         | 0,954 | 0,957 | 7,301 | 0,949 | 14,012 |
| Orden 1              | 0,993                         | 0,739 | 0,983 | 2,383 | 0,991 | 1,921  |
| Orden 2              | 0,982                         | 3,463 | 0,984 | 3,937 | 0,980 | 52,021 |
| Betaxantinas         |                               |       |       |       |       |        |
| Orden 0              | 0,971                         | 0,650 | 0,950 | 1,139 | 0,950 | 1,864  |
| Orden 1              | 0,974                         | 0,539 | 0,980 | 0,548 | 0,979 | 0,697  |
| Orden 2              | 0,954                         | 1,561 | 0,979 | 0,611 | 0,976 | 0,701  |
| Vitamina C           |                               |       |       |       |       |        |
| Orden 0              | 0,980                         | 0,007 | 0,982 | 0,061 | 0,978 | 0,062  |
| Orden 1              | 0,980                         | 0,007 | 0,996 | 0,013 | 0,994 | 0,015  |
| Orden 2              | 0,978                         | 0,008 | 0,983 | 0,098 | 0,993 | 0,046  |

\* $R^2$ : Coeficiente de determinación lineal; \* $ECM$ : Error cuadrado medio.

Los trabajos realizados por Saguy (1979), Moreno *et al.* (2002) y Vergara (2013), sobre la cinética de degradación de las betalaínas, presentaron un comportamiento exponencial. De la misma manera, los trabajos realizados por Viera *et al.* (2000), en cinética de degradación térmica de la vitamina C en un néctar de Cupuacu (*Teobroma grandiflorum*) y los trabajos de Zaroni *et al.* (2005) sobre cinética de disminución del valor nutricional (ácido ascórbico y antocianina) del zumo de naranja pasteurizada; así como los trabajos de Burdurlu *et al.* (2006), Ordoñez y Yoshioka (2012) y Ordoñez *et al.* (2013), determinaron que la degradación de la vitamina C sigue una cinética de primer orden. Por lo tanto se concluye que la degradación de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en jugo de betarraga y miel de abeja sigue una cinética de primer orden (función exponencial), como se muestran en la Figura 1.

Los valores encontrados de constantes de velocidad de reacción para la degradación de betacianinas, betaxantinas y vitamina C, se muestran en la Tabla 2. Se pudo

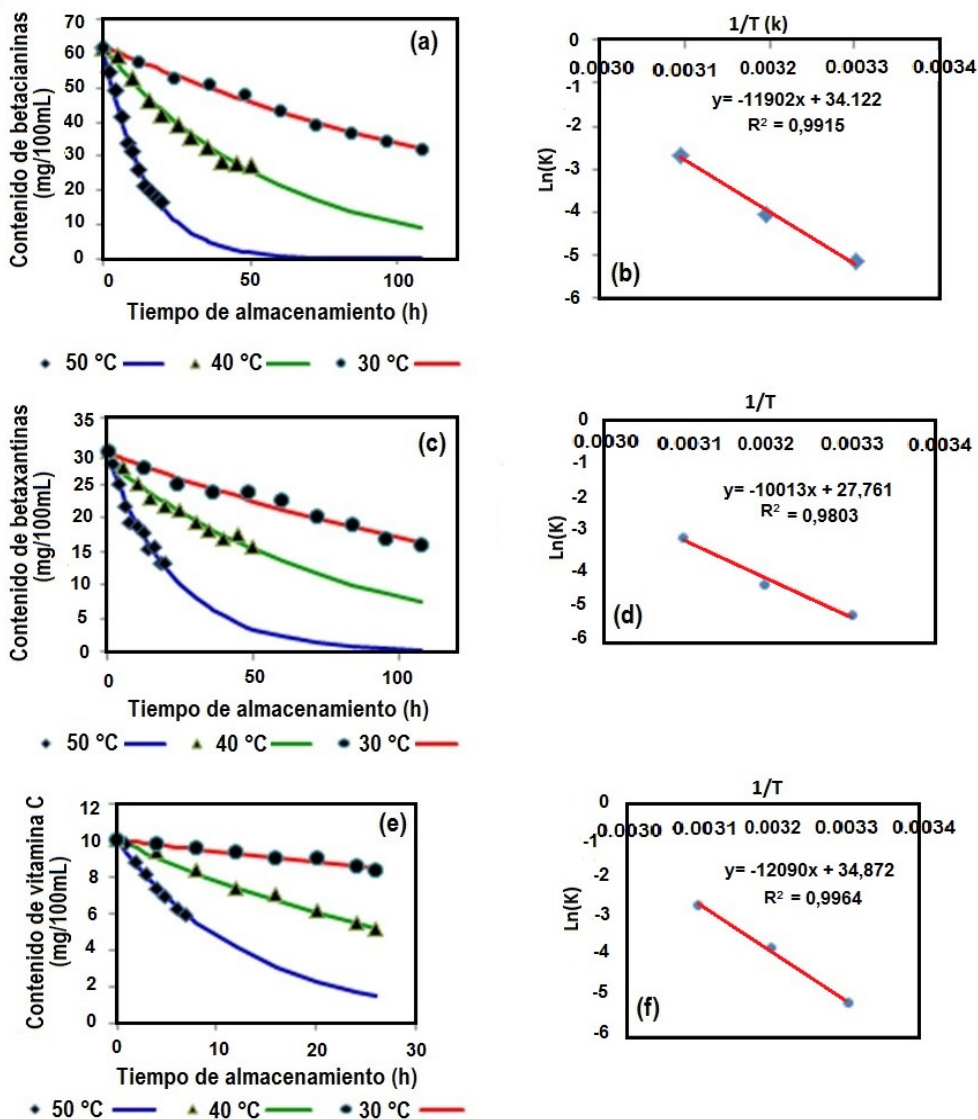
observar que no existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) en la prueba de comparación de medias de Tukey entre las constantes de velocidad de degradación de las betacianinas y vitamina C; por lo tanto podemos afirmar que este colorante natural es igual de sensible que la vitamina C.

**Tabla 2**

Constantes de velocidad de primer orden

| Temperatura (°C) | Betacianinas<br>k (h <sup>-1</sup> ) | Betaxantinas<br>k (h <sup>-1</sup> ) | Vitamina C<br>k (h <sup>-1</sup> ) |
|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 30               | 0,006<br>± 0,000                     | 0,005<br>± 0,000                     | 0,006<br>± 0,002                   |
| 40               | 0,018<br>± 0,001                     | 0,012<br>± 0,000                     | 0,025<br>± 0,002                   |
| 50               | 0,070<br>± 0,001                     | 0,043<br>± 0,003                     | 0,074<br>± 0,006                   |

Caso contrario es con respecto a las constantes de velocidad de reacción de la betaxantinas comparadas con los demás compuestos estudiados, siendo este pigmento más estable.



**Figura 1.** Gráficas de la degradación y tipo Arrhenius para (a y b) betacianinas, (c y d) betaxantinas y (e y f) vitamina C ( como promedio de tres mediciones).

Diversas investigaciones han estudiado la degradación de las betacianinas a diferentes condiciones de almacenamiento, como el trabajo realizado por Moreno *et al.* (2002), quienes determinaron que la constante de velocidad de degradación de betacianinas fue de  $0,0131 \text{ h}^{-1}$  en condiciones de exposición a la luz blanca, a pH 6,1 y a temperatura de  $25,0 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Esta constante de velocidad, resulta elevada a comparación del resultado obtenido por extrapolación en nuestro estudio, cuyo valor a la temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  fue de  $0,003 \text{ h}^{-1}$ , lo cual puede indicar

un efecto degradativo de la luz sobre el pigmento, mencionado también por Herbach *et al.* (2006).

El pH también puede influir en la degradación de las betacianinas de remolacha, como lo demostró Saguy (1979), quien determinó constantes de velocidad de degradación de 0,378; 0,336; 0,270 y  $0,330 \text{ h}^{-1}$  a pH 4,8; 5,2; 5,8 y 6,2, respectivamente, en almacenamiento a  $61,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , valores cercanos al encontrado en nuestro estudio ( $0,232 \text{ h}^{-1}$ ) a temperatura de  $61,5 \text{ }^\circ\text{C}$  y pH de 4,34.

Burdurlu *et al.* (2006) determinaron que las constantes de velocidad para la degradación de vitamina C en jugos concentrados de naranja, toronja y mandarina fueron de 0,033; 0,032 y 0,027 h<sup>-1</sup> respectivamente, en almacenamiento a 37 °C, valores similares al encontrado en nuestro estudio (0,025 h<sup>-1</sup> a 40 °C).

### Influencia de la temperatura en las constantes de velocidad de reacción

Para determinar la dependencia de la velocidad de degradación con respecto a la temperatura se empleó la ecuación de Arrhenius, así para obtener la gráfica de la ecuación a partir de los resultados de la Tabla 2 se convirtieron las temperaturas de grados Celsius (°C) a la inversa de Kelvin (K), y se determinó el logaritmo neperiano a las constantes de velocidad (k) encontradas a diferentes temperaturas.

En la Figura 1 también se muestra la ecuación que corresponde a la linealización del modelo matemático de Arrhenius (Ec. 6). Las pendientes de esta rectas permitieron calcular los valores de la Energía de Activación ( $E_a$ ) (Tabla 3) para la degradación de betacianinas, betaxantinas y vitamina C. Así también se determinó el factor  $Q_{10}$  a partir de las constantes que se muestran en la Tabla 2 utilizando la ecuación 8.

**Tabla 3**

Energía de Activación ( $E_a$ ) y factor  $Q_{10}$  en degradación de compuestos

|              | $E_a$<br>(kcal/mol) | $Q_{10}$<br>30°C-40°C | $Q_{10}$<br>40°C-50°C |
|--------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| Betacianinas | 23,649              | 0,6                   | 1,6                   |
| Betaxantinas | 19,895              | 0,5                   | 1,5                   |
| Vitamina C   | 24,022              | 0,8                   | 1,2                   |

El valor de  $E_a$  es una medida de la sensibilidad de la reacción a la temperatura, es decir cuanto menor sea la  $E_a$ , menor es la sensibilidad a la degradación. En este estudio se encontró que el menor valor de  $E_a$  y  $Q_{10}$  le corresponde a la cinética de degradación de betaxantinas, por lo que inferimos que este compuesto es más estable en

comparación con las betacianinas y vitamina C.

La Tabla 3 muestra que las energías de activación encontradas fueron de 23,649 y 19,895 kcal/mol para la degradación de betacianinas y betaxantinas respectivamente, estos valores son similares a los reportados por Saguy (1979), quien encontró valores de  $E_a$  de 19,2 y 15,5 kcal/mol para la degradación de betacianinas y betaxantinas en jugo de remolacha. Asimismo Saguy (1979) obtuvo valores de  $Q_{10(70-80^\circ\text{C})}$  de 2,19 y 1,91 para la degradación de betacianinas y betaxantinas respectivamente, valores cercanos a los obtenidos en nuestro estudio a la máxima temperatura analizada.

Con referencia a la degradación de la vitamina C, se determinó que la energía de activación fue de 24,023 kcal/mol, resultado que concuerda con los obtenidos por Burdurlu *et al.* (2006), quienes determinaron valores de  $E_a$  de 25,317; 18,720 y 19,149 kcal/mol para concentrados cítricos de naranja, toronja y mandarina respectivamente.

### 4. Conclusiones

Este estudio logró evaluar la cinética de degradación de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha y miel de abeja. Se determinaron las constantes de velocidad de degradación para los tres compuestos evaluados a las tres temperaturas ensayadas; observándose que las temperaturas altas ejercen influencia en la velocidad de degradación de estos compuestos y que las betaxantinas son más estables en comparación con las betacianinas y vitamina C. Se determinaron los parámetros de la ecuación de Arrhenius para la degradación térmica de cada compuesto, así como los valores de  $Q_{10}$ , los cuales fueron cercanos a los reportados en otras investigaciones. Los valores encontrados de las constantes de velocidad de reacción podrán ser utilizados, en investigaciones futuras, para determinar el tiempo de vida útil de la bebida.

## 5. Referencias bibliográficas

- Azeredo, H.M.C. 2008. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. *International Journal of Food Science & Technology* 44: 2365–2376.
- Burdurlu, H.S.; Koca, N.; Karadeniz, F. 2006. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering* 74: 211–216.
- Butera, D.; Tesoriere, L.; Di Gaudio, F.; Bongiorno, A.; Allegra, M.; Pintaudi, A.M. 2002. Antioxidant activities of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: Betanin and indicaxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 6895–6901.
- Cai, Y.; Sun, M.; Corke, H. 1998. Colourant properties and stability of *Amaranthus* betacyanin pigments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46: 4491–4495.
- Clark, N.G.; Sheard, N. F.; Kelleher, J.F. 1992. Treatment of iron deficiency anemia complicated by scurvy and folic acid deficiency. *Nutritional Review* 50: 134–137.
- Gentile, C.; Tesoriere, L.; Allegra, M.; Livrea, M.A.; D'Alessio, P. 2004. Antioxidant betalains from Cactus Pear (*Opuntia ficus indica*) inhibit endothelial ICAM-1 expression. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1028: 481–486.
- Hallberg, L.; Brune, M.; Rossander-Hunthen, L. 1987. Is there a physiological role of vitamin C in iron absorption. *Annals New York Academic Science*. 498: 324–332.
- Herbach, K.M.; Stintzing, F.C.; Carle, R. 2006. Betalain stability and degradation – structural and chromatic aspects. *Journal of Food Science* 71: R41–R50.
- Kanner, J.; Harel, S.; Granit, R. 2001. Betalains - A new class of dietary cationized antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 5178–5185.
- Libuza, T.P.; Riboh, D. 1982. Theory and application of Arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses in foods. *Journal of Food Science* 36: 66–74.
- Moreno, D.; García, C.; Gil, J. 2008. Betalains in the era of global agri-food science, technology and nutritional health. *Phytochemistry Review* 7: 261–280.
- Moreno, M.J.; Vilorio-Matos, A.; Belén, D.R. 2002. Degradación de betalainas en remolacha (*Beta vulgaris* L.). *Estudio cinético. Científica* 12: 1–7.
- Ordoñez, L.E.; Yoshioka, L.S. 2012. Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (*Mangifera indica* L.). *Vitae* 19: 81–83.
- Oski, F.A. 1995. Anemia due to other nutritional deficiencies. In: Williams, W. J., Beutler, E., eds. *Hematology*. New York: McGraw-Hill, 511–515.
- Ramaswami, H.S.; Van de Voort, F.R.; Ghasal, S. 1989. An analysis of TDT and Arrhenius methods for handling process and kinetic data. *Journal of Food Science* 54: 1322–1326.
- Saguy, I. 1979. Thermostability of red beet pigments (betanine and vulgaxanthin-I): influence of pH and temperature. *Journal of Food Science* 44: 1554–1555.
- Sreekantah, D.S.; Arunasree, M.K.; Roy, K.R.; Reddy, T.C.; Reddy, G.V.; Reddanna, P. 2007. Betanin a betacyanin pigment purified from fruits of *Opuntia ficus indica* induces apoptosis in human chronic myeloid leukemia cell line-K562. *Phytomedicine* 14: 739–746.
- Steaven, R.T. 1988. Vitamins and minerals, in *Principles of Food Science*, Part I, ed by Fenemma O.R. Marcel Dekker, New York, pp. 365–371.
- Stintzing, F.C.; Schieber, A.; Carle, R. 2002. Identification of betalains from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear [*Opuntia ficus indica* (L.) Mill.] by high-performance liquid chromatography– electrospray ionization mass spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 2302–2307.
- Tang, Y.; Li, X.; Zhang, B.; Chen, P.; Liu, R.; Tsao, R. 2015. Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry* 166: 380–388.
- Tesoriere, L.; Allegra, M.; Butera, D.; Livrea, M.A. 2004a. Absorption, excretion, and distribution of dietary antioxidant betalains in LDLs: potential health effects of betalains in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition* 80: 941–945.
- Tesoriere, L.; Butera, D.; D'Arpa, D.; Di Gaudio, F.; Allegra, M.; Gentile, C.; Livrea, M.A. 2003. Increased resistance to oxidation of betalain-enriched human low density lipoproteins. *Free Radical Res* 37: 689–696.
- Tesoriere, L.; Butera, D.; Pintaudi, A.M.; Allegra, M.; Livrea, M.A. 2004b. Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus indica*) fruit decreases oxidative stress in healthy humans: a comparative study with vitamin C. *The American Journal of Clinical Nutrition* 80: 391–395.
- Thompson, D.K.; Kharb, S. 2007. Aspects of infant food formulation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Safety* 6: 79–102.
- Van Boeckel, M.A.J.S. 1996. Statistical aspects of kinetic modelling for food science problems. A critical review. *Journal of Food Science* 51: 172–175.
- Vergara, C. 2013. Extracción y estabilización de betalainas de tuna purpura (*Opuntia ficus indica*) mediante tecnología de membranas y microencapsulación como colorante alimentario. Santiago: Universidad De Chile.
- Vieira, M.M.C.; Teixeira, A.A.; Silva, C.L.M. 2000. Mathematical modelling of the Thermal degradation kinetics of total Vitamin C in cupuaçu (*Theobroma Grandiflorum*), nectar. *Journal of Food Engineering* 43: 1–7.
- Zanoni, B.; Pagliarini, E.; Galli, A.; Laureati, M. 2005. Shelf-life prediction of fresh blood orange juice. *Journal of Food Engineering* 70: 512–517.