

## Tiempo de pasteurización y su respuesta en las características químicas y de capacidad antioxidante de aguamiel de *Agave americana* L.

Pasteurization time and its response in the chemical characteristics and antioxidant capacity of aguamiel from *Agave americana* L.

Perfecto Chagua Rodríguez\*, Rafael Julián Malpartida Yapias & Alfonso Ruíz Rodríguez

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Huancavelica, Acobamba, Huancavelica, Perú

\*Autor para correspondencia: [pchagua@unaat.edu.pe](mailto:pchagua@unaat.edu.pe)

Perfecto Chagua Rodríguez  <https://orcid.org/0000-0002-2668-9737>

Rafael Julián Malpartida Yapias:  <https://orcid.org/0000-0002-2222-4879>

Alfonso Ruíz Rodríguez:  <https://orcid.org/0000-0002-0852-5878>

### ARTÍCULO ORIGINAL

#### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Artículo recibido: 26/09/2019

Artículo aceptado: 31/12/2019

En línea: 22/01/2020

### PALABRA CLAVE:

drenaje ácido,  
cabuya,  
 $\beta$ -caroteno,  
vitamina C,  
cinética de degradación térmica.

### RESUMEN

En la actualidad el incremento de enfermedades degenerativas como cardiovasculares, cáncer y diabetes, demandan el consumo frecuente de alimentos con gran potencial antioxidante que ayuden a inhibir el efecto de los radicales libre. El objetivo de la investigación fue evaluar el tiempo de pasteurización y su respuesta en las características químicas, la capacidad antioxidante y la cinética de degradación de los compuestos fenólicos del aguamiel de *Agave americana* L. El aguamiel se colectó de plantas con diez a doce años durante el mes de abril en Acobamba, Huancavelica-Perú. Para las determinaciones analíticas se acondicionó aguamiel fresco y pasteurizado a 80°C por 10, 30 y 45 minutos. Se emplearon métodos descritos por la AOAC y para la capacidad antioxidante el radical DPPH. La capacidad antioxidante del aguamiel fresco fue de 40,03% de inhibición de DPPH y 42,03% a 80°C por 10 minutos de pasteurización, el tratamiento térmico incrementó los azúcares reductores de 11,38% a 25,39%, las concentraciones de  $\beta$ -caroteno y vitamina C expresaron disminución por efecto de la pasteurización. Las cinéticas de degradación fueron de orden 0 para  $\beta$ -caroteno, vitamina C y capacidad antioxidante y primer orden para los azúcares reductores. Se concluye que el tiempo óptimo de pasteurización de aguamiel de *Agave americana* L debe ser menor a 30 minutos.

### ORIGINAL ARTICLE

#### ARTICLE INFORMATION

Article received: 26/09/2019

Article accepted: 31/12/2019

On line: 22/01/2020

### KEYWORD

cabuya,  
 $\beta$ -carotene,  
vitamin C,  
thermal degradation kinetics.

### ABSTRACT

At present, the increase in degenerative diseases such as cardiovascular diseases, cancer and diabetes, demand the frequent consumption of foods with great antioxidant potential that help to inhibit the effect of free radicals. The objective of the present investigation was to evaluate the pasteurization time and its response in the chemical characteristics, the antioxidant capacity and the degradation kinetics of the phenolic compounds of the aguamiel of *Agave americana* L. The aguamiel was collected from plants with ten to twelve years during the month of April in Acobamba, Huancavelica-Peru. For the analytical determinations fresh and pasteurized aguamiel was conditioned at 80°C for 10, 30 and 45 minutes. Methods described by the AOAC and for the antioxidant capacity the DPPH radical were used. The antioxidant capacity of fresh mead was 40.03% DPPH inhibition and 42.03% at 80 °C for 10 minutes of pasteurization, the heat treatment increased reducing sugars from 11.38% to 25.39%, concentrations of  $\beta$ -carotene and vitamin C expressed decrease due to pasteurization. The degradation kinetics were of order 0 for  $\beta$ -carotene, vitamin C and antioxidant capacity and first order for reducing sugars. It is concluded that the optimal pasteurization time of aguamiel of *Agave americana* L must be less than 30 minutes.

## INTRODUCCIÓN

El *Agave americana* L. es una suculenta grande y sin tallos, con hojas que pueden crecer hasta dos metros. Las hojas son robustas y afiladas, y están en una roseta basal (Badano & Pugnaire, 2004). El agave es considerada una especie exitosa, por sus adaptaciones morfológicas, reproductivas y ecológicas, su plasticidad genética, la tolerancia ecológica, la capacidad de dispersión y germinación de sus semillas y su interacción biótica con otros organismos como los polinizadores (León Vázquez *et al.*, 2013).

El aguamiel contiene fructo-oligosacáridos que son susceptibles a la fermentación en el colon por microorganismos colónicos que producen ácidos grasos de cadena corta, que reducen los niveles de lípidos y glucosa en la sangre y disminuir la incidencia de lesiones gástricas (Romero-López *et al.*, 2015). En el campo industrial el agave puede ser utilizado para elaborar jarabes, helados, jaleas, mermeladas, chocolates, confitería y panificación que por su viscosidad contribuye a mejorar el cuerpo de las mezclas (Romero, 2010).

El proceso de obtención del aguamiel inicia con la preparación del agave, el cual debe ser un maguey adulto (8 a 10 años), se cortan todas las pencas tiernas del centro de la planta, para evitar que el escapeo floral aproveche los azúcares de la planta. Se realiza la “picazón” en la base de la piña, y después en las dos semanas subsecuentes la savia se acumula por exudación. La savia (aguamiel) obtenida del agave, es un líquido translúcido, amarillento (o turbio), ácido, ligeramente espeso con olor a hierba (fresco). Está constituido principalmente por agua y azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa), proteínas, gomas y sales minerales (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008).

El aguamiel, es un líquido rico en carbohidratos y muy sensible a procesos fermentativos espontáneos en el propio orificio del agave, debe tener color dorado traslucido, olor a azúcares y dulces, sin presencia de espuma, y un pH estable cercano al neutro (7,0) que es indicativo del avance de procesos fermentativos y de aguamiel fresco (Bautista & Arias, 2014).

Romero-López *et al.* (2015) caracterizaron compuestos presentes en el aguamiel (*A. atrovirens*), el cual tuvo 89,61% de humedad, 3,50% de proteína, 3,10% de cenizas, 61,31% azúcares reductores totales, de los cuales 32,63% fue fructosa y 28,68% glucosa, mientras que el contenido de fructo-oligosacáridos fue 15,51%. El aguamiel contenía mayor proporción de minerales como potasio, calcio y sodio, seguidos de hierro, cobre, magnesio, selenio y zinc. Así mismo, estos autores también reportaron el contenido de vitaminas del complejo B (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> y B<sub>6</sub>) y vitamina C. Finalmente refirieron que el contenido de compuestos fenólicos, expresan actividad antioxidante contra los radicales cromógenos 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl (DPPH) y ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS).

El aguamiel puede usarse para la obtención de polisacáridos, fructanos de agave o jarabes de fructosa; los cuales estimulan la absorción del calcio, incrementan la absorción del hierro en los niños, ayudan en la prevención del cáncer de colon y disminuyen el índice glucémico, por lo cual se consideran aditivos alimenticios (Valadez-Blanco *et al.*, 2012; Willems & Low, 2012).

El estrés oxidativo tiene relación directa con fenómenos de padecimientos sobre la salud humana, el beneficio del consumo cotidiano de alimentos con potencial antioxidante genera desbalance en el crecimiento y multiplicidad de radicales libres, disminuyendo el riesgo

a sufrir de enfermedades degenerativas asociadas con el envejecimiento celular (Coronado *et al.*, 2015). Dentro del grupo de alimentos con antioxidantes naturales se tiene a las frutas y vegetales, que al ser consumidas aportan efectos benéficos, esto a razón del potencial en compuestos fenólicos con los que cuentan (Naczk & Shahidi, 2006).

La aplicación del proceso de pasteurización como tratamiento térmico es de gran importancia porque ayuda reducir la actividad enzimática a partir de la destrucción e inactivación de microorganismos, también ayuda a estabilizar productos y favorece al aumento de vida útil de alimentos, esto debido a que su procedimiento es relativamente adaptable (Cruz, Vieira, & Silva, 2008; Maca, Osorio, & Mejía-España, 2013).

Por lo anterior el objetivo de la presente investigación fue evaluar el tiempo de pasteurización y su respuesta en las características químicas, la capacidad antioxidante y la cinética de degradación térmica de los compuestos fenólicos del aguamiel de *Agave americana* L.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Recolección, transporte y conservación de la muestra de aguamiel de *Agave americana* L.

La muestra se colectó durante el mes de abril en Acobamba, Huancavelica. Las plantas se seleccionaron entre diez a doce años de edad y antes de la emergencia del tallo floral, a todas ellas se les hizo un orificio en forma de olla de 1 litro de capacidad. El líquido exudado se trasladó en envases de vidrio de 500 mL previamente esterilizados. Para el traslado se utilizó una cámara fría para conservar las muestras. Para los procesos de recolección, transporte y conservación del aguamiel se

emplearon consideraciones especiales de asepsia e higiene.

### Preparación de la muestra y diseño experimental

Para realizar la evaluación de la capacidad antioxidante y la caracterización química, se acondicionó el aguamiel, se descongelaron y eliminaron impurezas del tallo de la planta o algún contaminante, para ello se utilizó un tamiz mediante los procedimientos de buenas prácticas de manipulación. Se evaluaron como variables independientes a la temperatura y tiempo de pasteurización. Los tratamientos (T), experimentales fueron  $T_1 = 20\text{ °C}$  por 0 min – aguamiel fresco,  $T_2 = 80\text{ °C}$  por 10 min,  $T_3 = 80\text{ °C}$  por 30 min y  $T_4 = 80\text{ °C}$  por 45 min. Se realizó un análisis descriptivo de los datos, con el cual se obtuvo el promedio, la desviación estándar y la comparación de medias. Para todos los análisis se utilizó el software MS Excel 2010 y el paquete estadístico Minitab 16, 2019.

### Determinaciones analíticas en laboratorio

#### Caracterización Físicoquímica

**Determinación de la acidez titulable:** Se tomó una muestra de 1 mL de aguamiel y se aforó con 10 mL de agua destilada, esta muestra se tituló con una solución de NaOH 0,1 N, hasta que alcanzara un pH de  $8,1 \pm 0,2$  según el método descrito por AOAC (2007).

**Medición de pH:** Se realizó con un potenciómetro electrónico, marca HANNA, modelo 210A (AOAC, 2007).

**Medición de sólidos solubles:** Los sólidos solubles se midieron en un refractómetro HANNA, modelo 219A, con compensación automática a los cambios en temperatura, como

porcentaje de grados Brix en incrementos de 0,1 %. Se colocó una gota de muestra en el refractómetro, de acuerdo con lo descrito por AOAC (2007).

**Densidad:** Se determinó por el método del picnómetro, este instrumento de precisión y gravedad específica, sirvió para medir con precisión la densidad en líquidos, de tal manera que pueda obtenerse un volumen para un peso específico en g/mL, medidos a temperatura ambiente (AOAC, 2007).

### Caracterización química

**$\beta$ -caroteno:** Se realizó por el método de espectrofotometría (Espectrofotómetro UV-2600, Shimadzu) a 450 nm. Estos análisis se efectuaron en ausencia de luz, reportándose resultados en  $\mu\text{g/g}$ , equivalente de vitamina A, descrito por Talcott & Howard (1999).

**Vitamina C:** Se determinó por el método de titulación con 2,6 diclorofenol indofenol (James, 1995) expresado como la cantidad de 1 mg ácido ascórbico dividido entre 100 g muestra.

**Azúcares reductores:** Es un método en que se emplea 3,5-ácido dinitrosalicílico para la hidrólisis de polisacáridos presentes en una muestra, seguido de la determinación espectrofotométrica (Espectrofotómetro UV-2600, Shimadzu) a 540 nm de los azúcares reductores (Sánchez-Madriral *et al.*, 2017).

### Capacidad antioxidante

Se determinó basándose en una reacción con el 2,2 difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) 95% (Sigma Aldrich) grado analítico por el método de espectrofotometría (Espectrofotómetro UV-2600, Shimadzu). Los resultados se expresaron en porcentaje de inhibición de

radicales libres. La lectura de absorbancia se registró a una longitud de onda de 515 nm (Xie & Schaich, 2014).

### Cinética de degradación

Se determinó el orden de reacción y la constante de velocidad de degradación de  $\beta$ -carotenos, vitamina C, azúcares reductores y capacidad antioxidante, a partir de los datos experimentales de concentración versus tiempo; se realizó el análisis de regresión lineal simple, se empleó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y  $k$ =velocidad constante de reacción expresada en  $\text{min}^{-1}$ , para los modelos cinéticos de orden cero, primer orden y segundo orden se emplearon para el cálculo las ecuaciones 1 a 5, detalladas por Toledo (2007), el procesamiento y los ajustes se analizaron utilizando MS Excel 2010.

Los modelos empleados fueron:

Modelo cinético de orden cero

$$[A] = [A_0] \pm kt \quad (\text{Ecuación 1})$$

Modelo cinético de primer orden

$$[A] = [A_0] e^{\pm kt} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Modelo cinético de segundo orden

$$1/[A] = 1/[A_0] \pm kt \quad (\text{Ecuación 3})$$

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

$$k = k_0 \cdot \exp(-E_a/RT) \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\ln k = \ln k_0 - (E_a/R) \cdot (1/T) \text{ (Ecuación 5)}$$

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.

### Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar para el análisis de varianza y la prueba de Duncan para la comparación de medias, con un nivel de significancia del 5%. Para la cinética de degradación se realizó un análisis de regresión lineal con MS Excel, los cuales se hicieron por triplicado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización fisicoquímica

La Tabla 1 muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica del aguamiel de *Agave americana* L., en relación con el pH de las muestras, mientras se realiza el

proceso de pasteurización, el pH tiende hacia la alcalinidad, el valor descrito en el presente estudio coincide con lo presentado por Rodríguez *et al.* (2013), en el que refieren 4,8 el pH para el bagazo de agave.

El pH promedio de los jarabes de agave azul es de 4, algunas muestras son mayor (4,4) y menor (3,69). El pH del jarabe de agave azul indicado en la Norma mexicana es de 4 a 6; varias de las muestras analizadas no cumplieron con la normatividad pues su pH fue menor, pero sus valores coinciden con el reportado por López, Vera-Guzmán, & Mellado-Mojica (2011). El pH del jarabe de agave azul frecuentemente es cercano a 4 (Mellado-Mojica & López-Pérez, 2013), frente al valor reportado en el presente estudio.

Según, Jiménez-Muñoz *et al.* (2016) expresan resultados en relación a las características fisicoquímicas de cuatro especies de agaves, valores expresados para la densidad y sólidos solubles muy cercanos al promedio obtenidos en el presente experimento para muestras frescas de agave.

**Tabla 1**

*Caracterización fisicoquímica del aguamiel de Agave Americana L. pasteurizado*

Tratamientos (T)	Acidez (% de ácido málico)	Índice de refracción a 20 °C	Sólidos solubles (°Brix)	pH	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
1	0,319 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,350 ± 0,03 <sup>a</sup>	10,33 ± 0,03 <sup>c</sup>	4,85 ± 0,05 <sup>d</sup>	1,034 ± 0,02 <sup>a</sup>
2	0,320 ± 0,01 <sup>b</sup>	1,361 ± 0,02 <sup>a</sup>	10,80 ± 0,40 <sup>b,c</sup>	5,26 ± 0,04 <sup>c</sup>	1,045 ± 0,01 <sup>a</sup>
3	0,340 ± 0,04 <sup>a,b</sup>	1,362 ± 0,01 <sup>a</sup>	11,60 ± 0,50 <sup>a,b</sup>	5,49 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,051 ± 0,01 <sup>a</sup>
4	0,380 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,370 ± 0,02 <sup>a</sup>	12,50 ± 0,40 <sup>a</sup>	5,75 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,055 ± 0,01 <sup>a</sup>

T1: 20 °C – 0 min, T2: 80 °C – 10 min, T3: 80 °C – 30 min, T4: 80 °C – 45 min.

Valores promedio ± SD (n=3).

<sup>a, b, c, d</sup> Distintas literales indican diferencias (p < 0,05; Duncan).

### Caracterización química

La Tabla 2 muestra la caracterización química del aguamiel de *Agave americana* L. El efecto

en el contenido de β-caroteno durante el proceso de pasteurización, expresó incremento (p < 0,05) en relación con la muestra fresca de aguamiel. Dávila (2002) estudió el contenido de

Vitamina A ( $\beta$ -caroteno) presente en la chancaca de cabuya (*Agave americana* L.), y obtuvo 50  $\mu\text{g}/100$  g de muestra.

Se ha reportado que en las hortalizas de hoja, el  $\beta$ -caroteno es el carotenoide predominante. Las frutas y hortalizas naranjadas como las zanahorias, los mangos o la calabaza, tienen concentraciones elevadas de  $\beta$ -caroteno; factores como la cantidad, el tipo y la forma de los carotenoides en la dieta, la ingesta de grasas, interacción con otros de la misma naturaleza, vitamina E y fibra, influyen en la absorción y utilización de la provitamina A (Rodríguez-Amaya, 1999; FAO, 2001); los datos del presente estudio refieren valores muy aproximados en relación con otros alimentos.

Los factores que influyen en la presencia de carotenoides son el manejo precosecha, estado de madurez, las operaciones de procesado y conservación, entre éstos la temperatura e intensidad de la luz tienen una gran influencia en el contenido de los carotenoides; durante el procesamiento y almacenamiento, la oxidación y los cambios estructurales al aplicar calor son los principales factores que los alteran (García *et al.*, 2001).

El contenido de vitamina C obtenida fue de 13,50  $\text{mg}/100$  g para el aguamiel sin proceso de pasteurización y a partir de este proceso, la cantidad de vitamina C, disminuyó ( $p < 0,05$ ). Los valores para la vitamina C presentados en la Tabla 2, se encuentran por encima del rango (entre 7 y 11  $\text{mg}$ ) señalado por Gentry (2004).

De igual manera Bautista & Arias (2008) reportaron el valor de 14,82  $\text{mg}/100$  g de vitamina C presente en el aguamiel fresco de *Agave americana* L., valor que se encuentra muy cercana al valor obtenido en la presente investigación. De la evaluación del contenido

de vitamina C a partir de tres accesiones de agave procedente de Ecuador, expresaron valores entre 23,84  $\text{mg}/100$  g y 33,72  $\text{mg}/100$  (Andrade, 2014), valores superiores a los reportados en el presente estudio.

Chambial *et al.* (2013), refieren que la vitamina C es un nutriente hidrosoluble que se encuentra en ciertos alimentos, en el cuerpo humano, actúa como antioxidante, al proteger las células contra los daños causados por los radicales libres, el organismo necesita vitamina C para las funciones fisiológicas elementales, ayuda en la síntesis y en el metabolismo de la tirosina, el ácido fólico y el triptófano, la hidroxilación de glicina, prolina, lisina, carnitina y catecolaminas, también aumenta la absorción de hierro en el intestino mediante la reducción del férrico al estado ferroso, así mismo como antioxidante, protege al organismo de diversos efectos perjudiciales de radicales libres, de contaminantes y toxinas, la cual supone una función importante para el sistema inmunitario.

Para la determinación de azúcares reductores presentes en muestras de aguamiel, se obtuvieron valores entre 11 y 25%; los mismos que son de promedio aproximado a lo reportado por Ávila *et al.* (2012), autores que refirieron que el extracto de piña cruda y piña cocida de *Agave cocui* contienen 34,1% y 55% de azúcares reductores respectivamente, así mismo indicaron que el extracto de hoja de *Agave cocui* expresa un 9,4% de azúcares reductores; de igual manera los autores indicaron que el mayor contenido de azúcares reductores en la piña cocida de *Agave cocui* posiblemente se deba a la hidrólisis ácida de los polisacáridos ocurrida durante la cocción, la cual libera otros azúcares más simples.

Los agaves contienen carbohidratos complejos

que se degradan por la acción ácida del jugo y del calor en el cocimiento (Rendón-Salcido *et al.*, 2009). En esta etapa es importante controlar la temperatura, si es más baja que la necesaria, el polisacárido no se degradará; y si es muy alta, ocurrirá caramelización de los azúcares, en ambos casos se tendrá menor cantidad de azúcares (Bautista-Justo *et al.*, 2001). El contenido promedio de azúcares reductores presentes en la piña de los agaves mexicanos, varía entre 20 y 30%, cuando contienen cantidades menor que 20% se considera de baja calidad y si presenta entre el 25 y 30% es de buena calidad (Granados, 1993).

**Tabla 2.**  
*Caracterización química del aguamiel de Agave Americana L. pasteurizado*

Tratamientos (T)	$\beta$ -caroteno ( $\mu\text{g/g}$ )	Vitamina C (mg/100g)	Azúcares reductores (%)
1	$30,82 \pm 0,08^c$	$13,50 \pm 0,10^a$	$11,38 \pm 0,3^d$
2	$30,66 \pm 0,05^c$	$13,14 \pm 0,03^b$	$13,56 \pm 0,4^c$
3	$33,58 \pm 0,06^a$	$12,70 \pm 0,10^c$	$18,56 \pm 0,6^b$
4	$32,79 \pm 0,13^b$	$11,98 \pm 0,02^d$	$25,39 \pm 0,2^a$

T1: 20 °C – 0 min, T2: 80 °C – 10 min, T3: 80 °C – 30 min, T4: 80 °C – 45 min.

Valores promedio  $\pm$  SD (n=3).

<sup>a, b, c, d</sup> Distintas literales indican diferencias ( $p < 0,05$ ; Duncan).

### Evaluación de la capacidad antioxidante

El efecto del tratamiento térmico durante el proceso de pasteurización del aguamiel en la capacidad antioxidante (Tabla 3), tiene un punto de inflexión a los 10 min, donde se maximizó y luego descendió, hacia los 45 min; esto ocurre, porque el efecto antiradical y antioxidante depende de la destrucción de los componentes antioxidantes (Nación, 2013).

Consecuentemente, varios estudios coinciden y refieren que los tratamientos de procesamiento

térmico y el almacenamiento no refrigerado afectan directamente los parámetros fisicoquímicos, los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de diferentes productos y subproductos alimentarios (Fратиани, Cinquanta, & Panfili, 2010; Wu *et al.*, 2010).

**Tabla 3.**  
*Capacidad antioxidante del aguamiel de Agave Americana L. pasteurizado*

Tratamientos (T)	Porcentaje de inhibición DPPH (%)
1	$40,03 \pm 0,04^d$
2	$42,34 \pm 0,13^a$
3	$41,49 \pm 0,17^b$
4	$40,47 \pm 0,10^c$

T1: 20 °C – 0 min, T2: 80 °C – 10 min, T3: 80 °C – 30 min, T4: 80 °C – 45 min.

Donde DPPH es el radical 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl

Valores promedio  $\pm$  SD (n=3).

<sup>a, b, c, d</sup> Distintas literales indican diferencias ( $p < 0,05$ ; Duncan).

### Cinéticas de degradación térmica de biocomponentes y capacidad antioxidante

La Tabla 4 muestra la variación en la concentración del  $\beta$ -caroteno, vitamina C y capacidad antioxidante, la degradación térmica es estos bioactivos responden a una cinética de degradación de orden 0, con coeficientes de regresión mayores a 0,86 (figura 1), que debido al efecto de tratamiento térmico ejercen influencia en la velocidad de degradación de estos compuestos. La cinética del  $\beta$ -caroteno y de la actividad antioxidante, muestran una etapa inicial de generación a 30 minutos y una etapa final de degradación a 45 minutos de pasteurización, Romero-López *et al.* (2015) refieren que el proceso de pasteurización aumenta los valores de tanto de actividad antioxidante como el contenido de fenoles, pero que al mismo tiempo también reportan cierta inestabilidad al tratamiento térmico.

La degradación térmica de los azúcares reductores responde a una cinética de

degradación primer orden (Tabla 4), con coeficientes de regresión del 0,99 (Figura 1), la concentración de sólidos solubles y la acidez tienen buena correlación con la concentración de azúcares totales, (Schvab *et al.*, 2013), el incremento de la contenido de los azúcares reductores se relaciona al incremento de los °Brix del aguamiel, a razón del tratamiento térmico.

**Tabla 4.**  
*Cinéticas de degradación térmica de biocomponentes y capacidad antioxidante del aguamiel de Agave Americana L.*

Componentes	Cinética de reacción		
	n	R <sup>2</sup>	k
β-caroteno (µg/g)	0	86,09%	0,0997
Vitamina C (mg/100 g)	0	97,42%	0,0320
Azúcares reductores (%)	1	99,63%	0,0175
Capacidad antioxidante (%)	0	98,20%	0,0528

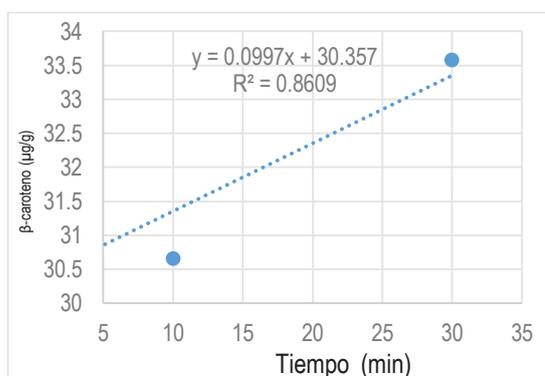
n: orden de reacción; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación; k: velocidad de reacción en min<sup>-1</sup>.

Herbig & Renard (2017) refieren que la temperatura siempre actúa como acelerador de la reacción de degradación térmica de biocomponentes, tal como muestra la figura 1, de igual manera los autores evaluaron los posibles factores intrínsecos y extrínsecos que afectan la degradación de la vitamina C en el puré de manzana y zanahoria, demostrando

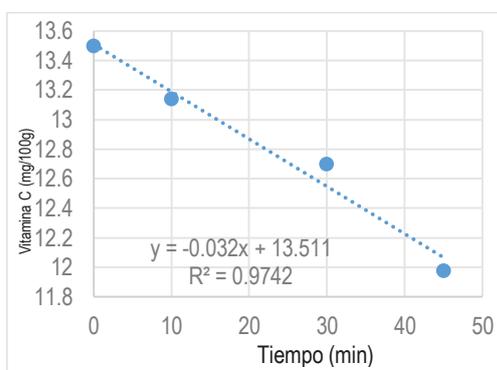
que el modelo de orden cero tuvo el mejor ajuste que el modelo de primer orden.

La figura 1 muestra que la segunda etapa de degradación térmica de la actividad antioxidante siguió una cinética de reacción de orden cero y se calculó la constante de velocidad de degradación (k) de 0,0528 min<sup>-1</sup>. Otros estudios mostraron una cinética de reacción de orden cero para la degradación térmica de la capacidad antioxidante, por aplicación de tratamiento térmico (pasteurización) en jugos de naranja y mandarina (Nación, 2013).

En todos los casos, existe un descenso de la eficiencia antioxidante al aplicarse un tratamiento térmico, ya que el efecto antiradical y antioxidante depende de la destrucción de los componentes antioxidantes (Nación, 2013). La cinética de degradación térmica del aguamiel de *Agave americana* L. mostró que sus compuestos bioactivos son relativamente menos estables al tratamiento térmico. La cinética de orden cero de la actividad antioxidante durante el tratamiento térmico, indica que debe ser tratado térmicamente por un tiempo menor a los 30 minutos a fin de optimizar el contenido de antioxidantes.



a)



b)

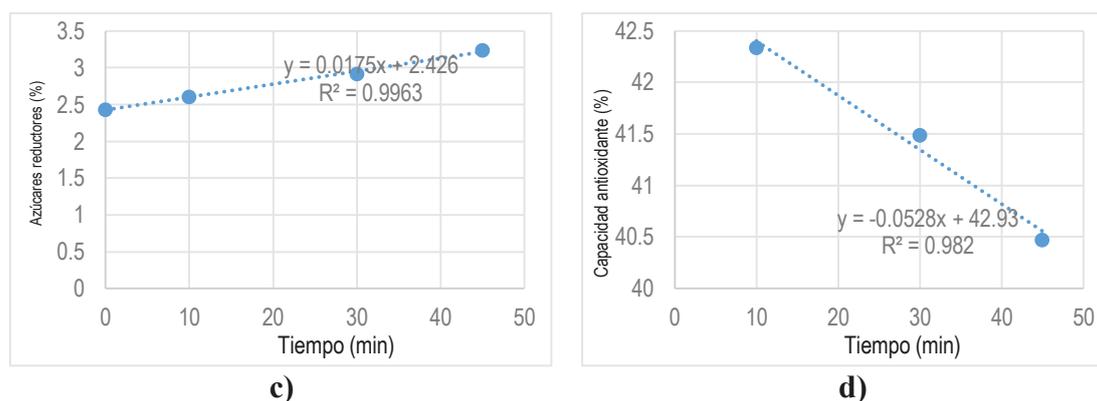


Figura 1. Cinética de degradación térmica del aguamiel de *Agave Americana* L: a)  $\beta$ -caroteno, b) Vitamina C, c) Azúcares reductores, d) Capacidad antioxidante.

## CONCLUSIONES

El aguamiel de *Agave americana* L. es un producto funcional de alto valor y a la vez es muy inestable por las enzimas presentes, por ello, es necesario someterlo a pasteurización para su consumo, el tratamiento térmico permite la conservación de sus propiedades nutricionales.

El tratamiento térmico influye en la capacidad antioxidante del aguamiel de *Agave americana* L., debido al incremento porcentual de inhibición de radicales libres durante el tiempo de pasteurización.

El contenido de  $\beta$ -caroteno y de azúcares reductores del aguamiel de *Agave americana* L. incrementa durante el tratamiento térmico, mientras que el contenido de vitamina C disminuye.

El tiempo de pasteurización la respuesta en las características fisicoquímicas por efecto del tiempo de pasteurización indica que existe estabilidad de la acidez, el índice de refracción, pH y densidad del aguamiel de *Agave americana* L., mientras que los sólidos solubles se incrementan durante el proceso experimental.

Las cinéticas de degradación térmica del  $\beta$ -caroteno, vitamina C y capacidad antioxidante responden a una cinética de orden 0, mientras que para los azúcares reductores responde a una cinética de primer orden.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente estudio agradecen a la universidad: UNH (Huancavelica) por el financiamiento de la investigación; de igual manera agradecemos al Mg. Roberto C. Chuquilin G., y al Mg. Frank F. Velásquez B. por el apoyo brindado durante la ejecución del presente trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, V. V. (2014). *Caracterización nutricional y desarrollo de productos alimenticios a partir de ecotipos locales de Agave americana L.* (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. Recuperado (30 octubre 2019) de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3600>
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2007). *Official methods of analysis of AOAC International* (18<sup>th</sup> ed.). Washington: Association of Official Analytical Chemists.

- Ávila, N., Ramona, Rivas, P., Bernarda, Hernández, M., Rómulo, & Chirinos, M. (2012). Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en *Agave cocui* Trelease. *Multiciencias*, 12(2), 129-135.
- Badano, E. I., & Pugnaire, F. I. (2004). Invasion of *Agave species* (Agavaceae) in south-east Spain: Invader demographic parameters and impacts on native species. *Diversity and Distributions*, 10(5-6), 493-500. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2004.00086.x>
- Bautista, D. N., & Arias, A. G. C. (2014). Estudio químico bromatológico de aguamiel de *Agave americana* L. (Maguey). *Ciencia e Investigación*, 11(2), 46-51.
- Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Barboza-Corona, J. E., & Parra-Negrete, L. A. (2001). El *agave tequilana* Weber y la producción de tequila. *Acta Universitaria*, 11(2), 26-34. <https://doi.org/10.15174/au.2001.301>
- Chambial, S., Dwivedi, S., Shukla, K. K., John, P. J., & Sharma, P. (2013). Vitamin C in disease prevention and cure: An overview. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 28(4), 314-328. <https://doi.org/10.1007/s12291-013-0375-3>
- Coronado, H., Marta, Vega y León, S., Gutiérrez T, R., Vázquez F, M., & Radilla V, C. (2015). Antioxidantes: Perspectiva actual para la salud humana. *Revista chilena de nutrición*, 42(2), 206-212. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>
- Cruz, R. M. S., Vieira, M. C., & Silva, C. L. M. (2008). Effect of heat and thermosonication treatments on watercress (*Nasturtium officinale*) vitamin C degradation kinetics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(4), 483-488. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.10.005>
- Dávila, V. C. (2002). *Estrategias para la comercialización de los derivados de la Cabuya, (Agave americana L.)*. (Tesis de posgrado). Escuela de posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- FAO. (2001). Directrices para el uso de declaraciones nutricionales y saludables. Recuperado (29 de octubre de 2019) de declaraciones nutricionales y saludables (CAC/GL 23-1997) website: <http://www.fao.org/ag/humannutrition/33313-033eb12db9b719ac1c14f821f5ac8e36.pdf>
- Fратиани, A., Cinquanta, L., & Panfil, G. (2010). Degradation of carotenoids in orange juice during microwave heating. *LWT - Food Science and Technology*, 43(6), 867-871. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.011>
- García, B. L., García Gómez, L. V., Rojo Domínguez, D. M., & Sánchez García, E. (2001). Plantas con propiedades antioxidantes. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 20(3), 231-235.
- Gentry, H. S. (2004). *Agaves of Continental North America* (3ª ed.). Recuperado (30 de octubre 2019) de <https://books.google.com.pe/books?id=TdgUAQAIAAJ>
- Granados, S., Diódoro. (1993). *Los agaves en México*. Recuperado (31 de octubre 2019) de <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000009579>
- Herbig, A.-L., & Renard, C. M. G. C. (2017). Factors that impact the stability of vitamin C at intermediate temperatures in a food matrix. *Food Chemistry*, 220, 444-451. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.012>
- James, C. S. (Ed.). (1995). *Analytical Chemistry of Foods, Blackie Academic and Professional*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2165-5>
- Jiménez-Muñoz, E., Prieto-García, F., Prieto-Méndez, J., Acevedo-Sandoval, O. A., & Rodríguez-Laguna, R. (2016).

- Caracterización fisicoquímica de cuatro especies de agaves con potencialidad en la obtención de pulpa de celulosa para elaboración de papel. *Dyna*, 83(197), 233-243. <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n197.52243>
- Lappe-Oliveras, P., Moreno-Terrazas, R., Arrizón-Gaviño, J., Herrera-Suárez, T., García-Mendoza, A., & Gschaedler-Mathis, A. (2008). Yeasts associated with the production of Mexican alcoholic nondistilled and distilled *Agave* beverages. *FEMS Yeast Research*, 8(7), 1037-1052. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00430.x>
- León Vázquez, N. I., Campos Ángeles, G. V., Enríquez-del Valle, J. R., Velasco Velasco, V. A., Marini Zúñiga, F., & Rodríguez Ortiz, G. (2013). Diversidad de especies de agave en San Miguel Tilquiapam, Ocotlán, Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE6), 1185-1195. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1282>
- López, G., Vera-Guzmán, A. M., & Mellado-Mojica, E. (2011). Opening new doors: Agave syrup. *ResearchGate*. Presented in: Abstracts of 241 American Chemical Society (ACS) National Meeting., División. Anaheim California. EE.UU. Recuperado (29 de octubre 2019) de [https://www.researchgate.net/publication/296181129\\_Opening\\_new\\_doors\\_Agave\\_syrup](https://www.researchgate.net/publication/296181129_Opening_new_doors_Agave_syrup)
- Maca, M. P., Osorio, O., & Mejía-España, D. F. (2013). Inactivación Térmica de Pectinmetilesterasa en Tomate de Árbol (*Solanum betaceum*). *Información tecnológica*, 24(3), 41-50. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000300006>
- Mellado-Mojica, E., & López-Pérez, M. G. (2013). Análisis comparativo entre jarabe de agave azul (*Agave tequilana* Weber var. Azul) y otros jarabes naturales. *Agrociencia*, 47(3), 233-244.
- Morales, M. O. (1997). *Caracterización general del proceso de producción de la tequilera Corralejo S.A. de C. V. ubicada en el Municipio de Penjamo, Gto* (Tesis Profesional). Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma de Chapingo, México. Recuperado (30 de octubre 2019) de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=INDUSTRIAL.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=005116>
- Nación, A., Judith G. (2013). *Cinética de degradación de la actividad antioxidante por tratamiento térmico en jugos de naranja y mandarina frente al radical DPPH*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. Recuperado (31 de octubre 2019) de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/290>
- Nacz, M., & Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41(5), 1523-1542. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.04.002>
- Rendón-Salcido, L. A., Colunga-GarcíaMarín, P., Barahona-Pérez, L. F., Pimienta-Barrios, E., Magdub-Méndez, A., & Larqué-Saavedra, A. (2009). Sugars and alcoholic byproducts from henequen (*Agave fourcroydes* as influenced by plant age and climate. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(1), 39-44.
- Rodríguez, R., Jiménez, J. F., Real, J. I. del, Salcedo, E., Zamora, J. F., & Covarrubias, G. Í. (2013). Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 11. Compostaje de bagazo de agave crudo y biosólidos provenientes de una planta de tratamiento de vinazas tequileras.

- Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(4), 303-313.
- Rodríguez-Amaya, D. B. (1999). *Carotenoides y preparación de alimentos: La retención de los carotenoides provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados*. (1ª ed.). Recuperado (30 de octubre 2019) de <http://www.inocua.org/site/Archivos/investigaciones/CAROTENOIDES%20Y%20PREPARACION%20DE%20ALIMENTOS.pdf>
- Romero, G., Alexis. (2010). *Utilización del Agave como Edulcorante Natural en la Elaboración de una Bebida Hidratante a Partir del Suero* (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado (28 de octubre 2019) de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/830>
- Romero-López, M. R., Osorio-Díaz, P., Flores-Morales, A., Robledo, N., & Mora-Escobedo, R. (2015). Composición química, capacidad antioxidante y el efecto prebiótico del aguamiel (*Agave atrovirens*) durante su fermentación in vitro. *Revista mexicana de ingeniería química*, 14(2), 281-292.
- Sánchez, A., Flores-Cotera, L. B., Langley, E., Martín, R., Maldonado, G., & Esquivel, S. S. (1999). Carotenoides: Estructura, función, biosíntesis, regulación y aplicaciones. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 41(3), 175-191.
- Sánchez-Madrigal, M. Á., Amaya-Guerra, C. A., Quintero-Ramos, A., Báez-González, J. G., Núñez-González, M. A., Ruiz-Gutiérrez, M. G., & Garzón-Tiznado, J. A. (2017). Ultrasound-assisted extraction of fructans from agave (*Agave tequilana* Weber var. Azul) at different ultrasound powers and solid-liquid ratios. *Food Science and Technology*, 37(2), 261-268. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.21116>
- Schvab, M. del C., Ferreyra, M. M., Gérard, L. M., & Davies, C. V. (2013). Parámetros de calidad de jugos de naranja entrerrianas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(1), 85-92.
- Talcott, S. T., & Howard, L. R. (1999). Phenolic Autoxidation Is Responsible for Color Degradation in Processed Carrot Puree. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(5), 2109-2115. <https://doi.org/10.1021/jf981134n>
- Toledo, R. T. (2007). *Fundamentals of food process engineering* (3rd ed). New York, NY: Springer.
- Valadez-Blanco, R., Bravo-Villa, G., Santos-Sánchez, N. F., Velasco-Almendarez, S. I., & Montville, T. J. (2012). The Artisanal Production of Pulque, a Traditional Beverage of the Mexican Highlands. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 4(2), 140-144. <https://doi.org/10.1007/s12602-012-9096-9>
- Van den Broeck, I., Ludikhuyze, L., Weemaes, C., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (1998). Kinetics for Isobaric-Isothermal Degradation of l-Ascorbic Acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(5), 2001-2006. <https://doi.org/10.1021/jf9708251>
- Willems, J. L., & Low, N. H. (2012). Major carbohydrate, polyol, and oligosaccharide profiles of *Agave Syrup* application of this data to authenticity analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(35), 8745-8754. <https://doi.org/10.1021/jf3027342>
- Wu, R., Frei, B., Kennedy, J. A., & Zhao, Y. (2010). Effects of refrigerated storage and processing technologies on the bioactive compounds and antioxidant capacities of 'Marion' and 'Evergreen'

blackberries. *LWT - Food Science and Technology*, 43(8), 1253-1264. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.04.002>

Xie, J., & Schaich, K. M. (2014). Re-evaluation of the 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl Free

Radical (DPPH) Assay for Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(19), 4251-4260. <https://doi.org/10.1021/jf500180u>