

## Cinética de degradación del jugo funcional de tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill.) y cúrcuma (*Curcuma longa* L.)

Nubia Lisbeth Matute Castro<sup>1</sup>; Ana Paola Echavarría Vélez<sup>2</sup>

(Recibido: junio 19, Aceptado: octubre 30, 2020)

### Resumen

En la elaboración de bebidas funcionales con propiedades antioxidantes se puede afectar su calidad durante el almacenamiento, por ello se realizan estudios cinéticos de degradación al desarrollar nuevos productos. El objetivo de esta investigación fue determinar la cinética de degradación y el tiempo de conservación del jugo funcional de tomate con cúrcuma. Se elaboró una bebida de tomate y cúrcuma, almacenándola a tres temperaturas, en envases de vidrio y hojalata. Se hicieron análisis fisicoquímicos, sensoriales y microbiológicos, determinando la energía de activación y el tiempo de vida útil. La evolución de los atributos sensoriales corresponde a una cinética de primer orden, con  $E_a$  de 95,56 kJ/kmol para el jugo envasado en vidrio y 71,83 kJ/kmol para el enlatado, éste resultó más influenciado por la temperatura, incidiendo en su deterioro, cuyo contenido fenólico y capacidad antioxidante resultaron menores que en el producto embotellado, quien está menos afectado por el aumento de la temperatura, asegurando la biodisponibilidad de antioxidantes, aspecto positivo como bebida funcional. Ambos envases mantienen calidad microbiológica satisfactoria. El tiempo de vida de anaquel del jugo enlatado es menor que el embotellado. Estos aportes son novedosos y contribuyen a lograr un producto competitivo, cuyas características funcionales se conserven durante un mayor tiempo.

**Palabras Clave:** alimento funcional; almacenamiento; cinética de degradación

## Kinetics of degradation of the tomato functional juice (*Lycopersicum esculentum*, Mill.) and curcuma (*Curcuma longa* L.)

### Abstract

In the elaboration of functional beverages with antioxidant properties, their quality can be affected during storage, therefore degradation kinetic studies are carried out when developing new products. The purpose of this investigation was to determine the kinetics of degradation and the conservation time of the functional juice of tomato with turmeric. A drink of tomato and turmeric was elaborated, storing it at three temperatures, in glass and tin containers. Physicochemical, sensorial and microbiological analyses were carried out, determining the activation energy and the life time. The evolution of the sensorial attributes corresponds to a kinetic of first order, with  $E_a$  of 95.56 kJ/kmol for the juice packed in glass and 71.83 kJ/kmol for the canning, this one was more influenced by the temperature, impacting on its deterioration, whose phenolic content and antioxidant capacity were lower than in the bottled product, who is less affected by the increase in temperature, ensuring the bioavailability of antioxidants, positive aspect as a functional beverage. Both containers maintain satisfactory microbiological quality. The canned juice shelf's lifetime is less than the bottling one. These contributions are innovative and contribute to achieve a competitive product, whose functional characteristics are preserved for a longer time.

**Keywords:** functional food; storage; degradation kinetics

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud, Universidad Técnica de Machala, Ecuador. Email: nmatute@utmachala.edu.ec. <https://orcid.org/0000-0002-6707-4341>

<sup>2</sup> Facultad Ciencias de la Ingeniería, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador. Email: aechavarriv@unemi.edu.ec. <https://orcid.org/0000-0002-3756-0082>

## INTRODUCCIÓN

La relación entre la alimentación y la salud ha sido evidenciada científicamente durante varios años, particularmente en enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer y otras enfermedades degenerativas, por lo cual gran parte de la población está tomando conciencia sobre la importancia de llevar una alimentación saludable. Debido a esto, se han generado en el mercado una variedad de nuevos productos, conocidos como “Alimentos Funcionales”, que están enfocados a brindar beneficios adicionales al consumidor (1), (2). Existen múltiples posibilidades de elaboración de alimentos funcionales, basadas en la incorporación de ingredientes a un alimento convencional; dichos ingredientes son generalmente de origen natural con actividad biológica, para la eliminación de constituyentes no deseados, o la modificación de otros, así como en el aumento de la concentración de un componente naturalmente presente, con efectos benéficos para la salud. Todo esto sin perder de vista que, los atributos sensoriales de estos nuevos alimentos deben mantener, en la medida de lo posible, las características de los tradicionales (3).

Las bebidas funcionales contienen propiedades naturales como los antioxidantes o ingredientes nutraceuticos que le confieren beneficios específicos para la salud (4). Las frutas y hortalizas son alimentos que poseen gran cantidad de antioxidantes. Actualmente, existe variedad de bebidas derivadas de estos alimentos (jugos naturales y procesados, néctares, entre otros); estos productos son una alternativa al consumo de frutas y vegetales frescos, debido a que su producción tiene un carácter estacional, por lo que no se encuentran disponibles con regularidad en los diferentes meses del año, o porque mayormente se consumen debido a su sabor y su presentación (5). Teniendo como referencia la formulación de una bebida de tomate y cúrcuma realizada por Matute-

Castro *et al*, (6) se evaluaron los atributos nutricionales, sensoriales y antioxidantes de esta bebida funcional.

La composición nutricional y funcional del tomate y sus derivados lo ubican como una hortaliza que contribuye al buen equilibrio nutricional en la alimentación, representado una combinación atractiva de compuestos bioactivos y funcionales (principalmente antioxidantes) como carotenoides y fenoles, vitaminas, minerales y micronutrientes importantes, además de un buen aporte de fibra dietética, especialmente si se consumen productos que integren la cáscara. Adicionalmente, la versatilidad en la forma de consumo (fresco, salsa, jugos, aderezos, entre otros) hacen del tomate un fruto recomendado en la dieta diaria. Sin embargo, sus carotenoides pueden ser degradados durante el proceso productivo o el almacenamiento del producto terminado, afectando su color atractivo y su valor nutritivo (7), (8). De allí que, para mantener la calidad de los subproductos se hace necesario estudiar la cinética de degradación de los compuestos bioactivos y nutrientes durante el procesamiento y almacenamiento de dichos alimentos.

Por otro lado, la *Curcuma longa* L. (*Zingiberaceae*), conocida también como turmeric o haldi, y miembro de la familia del ginger o jengibre, tiene un alto valor medicinal por su actividad antimicrobiana, antiinflamatoria, inmunomoduladora, hipolipidémica, anticarcinogénica y antioxidante (9). Esta especie es relevante a nivel industrial, ya que su adición en preparaciones alimentarias preserva su frescura e imparte un sabor característico, además de contener compuestos bioactivos que determinan su funcionalidad (10). Los curcuminoides de esterizo tienen potencial uso como aditivo natural de comidas, previniendo la oxidación y rancidez de aceites y grasas, durante el almacenamiento y calentamiento (11). También representa un agente antibacteriano con potencial

aplicación en la industria alimenticia, como preservante natural (12). Su adición logra mejorar la calidad de pastas tipo tallarines y su vida de anaquel (13) pudiendo usarse eficazmente, debido a la fuerte estabilidad de su principio activo ante la temperatura y amplios rangos de pH (14).

El reto actual de los productores vanguardistas es elaborar bebidas que contengan la mayor cantidad de antioxidantes y nutrientes posible, sin afectar la calidad sensorial. Hoy en día, el mercado ofrece aguas enriquecidas con vitaminas y una variedad de frutas y bayas, que contienen tanto antioxidantes propios como agregados, siendo la tendencia actual el uso de compuestos bioactivos naturales en el producto final (15). Sin embargo, existe aún mucho desconocimiento acerca del adecuado diseño de bebidas antioxidantes, como alimentos funcionales, así como su comportamiento durante la vida de anaquel. La pérdida de calidad durante el almacenamiento es inminente en casi todos los alimentos, por lo que es de suma importancia definir, con vista a su comercialización, los límites de tiempo de almacenamiento permisibles bajo condiciones establecidas. Estos estudios son fundamentales en el desarrollo de nuevos productos, ante cualquier variación en la elaboración de uno ya existente y en la sustitución o cambio de especificaciones de alguna materia prima o material (16). Por lo que es importante investigar las mejores rutas de elaboración de productos de alta calidad nutricional, y su durabilidad en el mercado. De allí que, el objetivo de esta investigación fue determinar la cinética de degradación de indicadores sensoriales y el tiempo de conservación del jugo funcional de tomate con cúrcuma (*Curcuma longa*), variando las condiciones de almacenamiento y midiendo su efecto sobre la calidad global del producto.

## MATERIAL Y MÉTODOS

**Preparación del producto.** Se utilizó la

formulación ya establecida para el jugo funcional de tomate con tumeric, Matute-Castro *et al* (6); concentrado de tomate (18-20% sólidos solubles) 7,5-8,3%, azúcar refino (2,5%), sal (0,8%), goma xantana (0,088%), polvo de *Curcuma longa* L. (humedad 7% y dp 0,15 mm) (0,066%) y agua (88-89%). Se elaboró el jugo a escala piloto iniciando con el pesado de la materia prima y pre-mezclando la goma con parte del azúcar para facilitar su dispersión; luego se adicionó el resto de los ingredientes secos y el azúcar faltante. Posteriormente, se adiciona esta mezcla al concentrado de tomate previamente disuelto en el agua. En un tanque de doble camisa de vapor, se homogeniza y calienta la mezcla hasta llegar a ebullición, manteniéndola así durante 5 min con agitación continua. Se envasó en caliente (94-96°C) y se pasterizó en baño maría (5 min), finalmente se enfría y almacena.

**Definición de las condiciones de almacenamiento.** El almacenamiento se realizó de forma acelerada en cámaras ajustadas a tres temperaturas, 38, 44 y 50°C. Se mantuvieron además 12 muestras testigo (28°C) envasado en botella de vidrio durante el tiempo de ensayo. Para el estudio se consideraron dos sistemas de envase; botellas de vidrio oscuro de 330 mL y envases de hojalata laqueados de ½ kg. Se elaboraron dos lotes de producción de 150 unidades por cada tipo de envase.

**Evaluación del producto.** Se tomaron cuatro muestras de cada variante de envase, con una frecuencia de muestreo de 5 días para el jugo almacenado a 50°C, 10 días para el almacenado a 44°C y de 15 días para los almacenados a 38°C. Al producto se le realizaron los siguientes análisis:

**Análisis microbiológicos.** Se realizó por triplicado un control microbiológico, al inicio y al final del estudio de las muestras, analizando el conteo total de mesófilos aeróbicos, coliformes, hongos y levaduras. Las cajas Petri se mantuvieron a 37°C por 24 horas (17).

**Análisis fisicoquímicos.** Se valoró el pH, acidez valorable, sólidos solubles y humedad además de los azúcares reductores, cloruros y viscosidad (viscosímetro Brokfield, modelo LTV sp2, a 30 rpm y 25°C), capacidad antioxidante, fenoles y ácido ascórbico (18), En el caso de los productos envasados en hojalata laqueada se realizó, además, la determinación de contaminantes metálicos evaluando los contenidos de hierro Fe<sup>+3</sup> y cobre Cu<sup>+2</sup> en la muestra (19). Todos los análisis se realizaron por triplicado, teniendo en cuenta los métodos oficiales regidos por las normas de alimentos AOAC internacional (20).

**Análisis sensoriales.** El producto se analizó sensorialmente por un equipo integrado por siete jueces entrenados, evaluándose los siguientes aspectos: partículas en suspensión, separación de fases, oscurecimiento, olor y sabor equilibrado, olor extraño, intensidad del sabor, amargor, sabor extraño, equilibrio ácido-dulce, astringencia, granulosis, cuerpo; y en el caso de las muestras envasadas en hojalata se consideró, además, el sabor metálico. También se evaluó la calidad global utilizando una escala estructurada continua de 10 cm, de intensidad creciente de izquierda a derecha y anclaje en los extremos, donde el extremo izquierdo (0 cm) comprende la calificación de "pésimo" y el extremo derecho (10 cm) a la de "excelente", estableciéndose como punto de rechazo el punto medio de la escala (5 cm). A todos los resultados, se les determinaron los siguientes estadígrafos: media ( $\bar{x}$ ) y desviación estándar (S), utilizando el programa Microsoft Office Excel, 2007.

**Determinaciones cinéticas y de la energía de activación.** Para determinar el comportamiento cinético de la puntuación de la calidad global y los atributos con incidencia en ella, se realizaron ajustes a modelos correspondientes a cinéticas de orden cero y primer orden (Ecuación 1). (21).

$$-\frac{dC}{dt} = k * C^n \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde: C: atributo de calidad (puntos), t: tiempo (días), k: constante de velocidad (días<sup>-1</sup>), y n: orden de la reacción.

Si n = 0 se aplica la Ecuación 2, Si en cambio n = 1 se aplica la Ecuación 3:

$$\ln \left( -\frac{dC}{dt} \right) = k \text{ que conduce a } C/C_0 = k \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\ln \left( -\frac{dC}{dt} \right) = kc \text{ que conduce a } \ln (C/C_0) = k t \quad (\text{Ec. 3})$$

Una vez determinadas las constantes de velocidad de reacción a las temperaturas de ensayo, se determinó la energía de activación E<sub>a</sub> mediante la ecuación de Arrhenius (Ecuación 4).

$$\ln(k) = \ln(k_0) - \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T} \right) \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde: C<sub>0</sub> es el atributo de calidad al tiempo cero, E<sub>a</sub>: energía de activación (kJ/kmol), k: constante de velocidad (días<sup>-1</sup>), k<sub>0</sub>: constante de Arrhenius, calculada como el intercepto del ajuste lineal de ln (k) vs 1/T (k), R: constante universal de los gases (0,00831447kJ/kmol) y T: temperatura absoluta(k).

La energía de activación E<sub>a</sub> se determina a partir de la pendiente  $\left( \frac{E_a}{R} \right)$  del ajuste lineal de ln k versus  $\left( \frac{1}{T} \right)$ .

**Predicción de la vida de anaquel del producto.**

Se realizó considerando como temperatura media anual 28°C y, tomando en cuenta que la temperatura media en los meses de verano puede ser más alta, se realizó la estimación a 32°C. El cálculo se realizó combinando la Ecuación (4) de Arrhenius y la de velocidad de esta forma para una ecuación de primer orden, el tiempo estimado de vida de anaquel se calculó mediante la siguiente expresión (Ecuación 5).

$$\ln C = - \left( k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} \right) * t + \ln C_0 \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde: C = Valor de la calidad global al tiempo t (5 puntos), C<sub>0</sub>= Valor de la calidad global al tiempo cero (puntos), k<sub>0</sub> = constante pre exponencial de Arrhenius y t = tiempo de almacenamiento a la a la temperatura absoluta (k).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados del control microbiológico realizados al final del estudio, en todas las variantes analizadas, son del mismo orden que los valores iniciales, encontrando que los conteos microbianos resultaron inferiores a 10 UFC/g, por lo tanto el producto mantuvo su calidad microbiológica hasta el final de la investigación. Esto puede deberse a la actividad antimicrobiana del rizoma (*C. longa*), la cual es efectiva aún después de haber aplicado un tratamiento térmico, llegando a una temperatura de 121°C en autoclave (22).

Para ambos sistemas de envase, durante el almacenamiento, el pH osciló entre 3,7 y 4,0, la acidez entre 0,18 y 0,22, y los sólidos solubles entre 5 y 6 %, manteniéndose prácticamente constantes durante el tiempo de ensayo. Dentro de la evaluación fisicoquímica, se consideró además la viscosidad, por su influencia en la textura,

los azúcares reductores por su efecto sobre el color del producto y el contenido de los iones Fe<sup>3+</sup> y Cu<sup>2+</sup> por su incidencia en el sabor, también se midió la variación del contenido de fenólico total y la capacidad antioxidante del jugo, durante el almacenamiento acelerado.

La viscosidad durante el almacenamiento, en vidrio y hojalata, no presenta variación importante en el tiempo, y la temperatura no causa un efecto considerable sobre esta variable, manteniéndose con poco cambio durante el estudio, lo cual se debe a la estabilidad de la goma agregada en la formulación, en las condiciones de ensayo (Figura 1). En cambio, el nivel de azúcares reductores se incrementa con el paso del tiempo y con el aumento de la temperatura. Esto es debido a que se han propiciado reacciones de hidrólisis de la sacarosa por la presencia de un medio ácido, potenciadas las reacciones por el incremento de la temperatura (23).

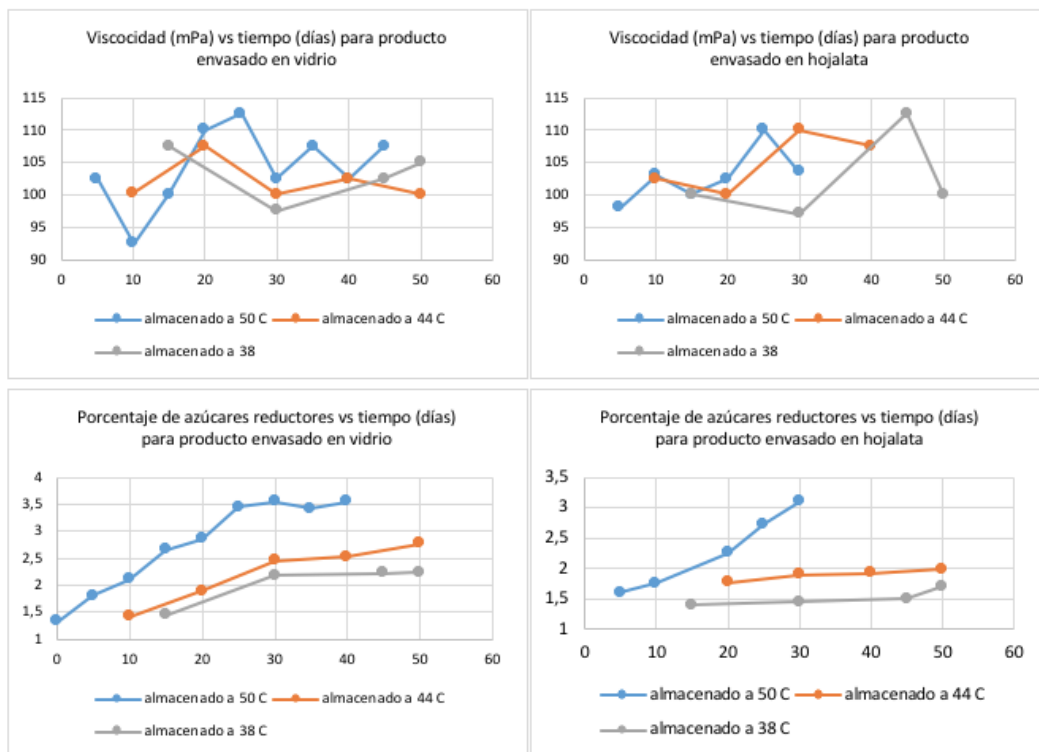
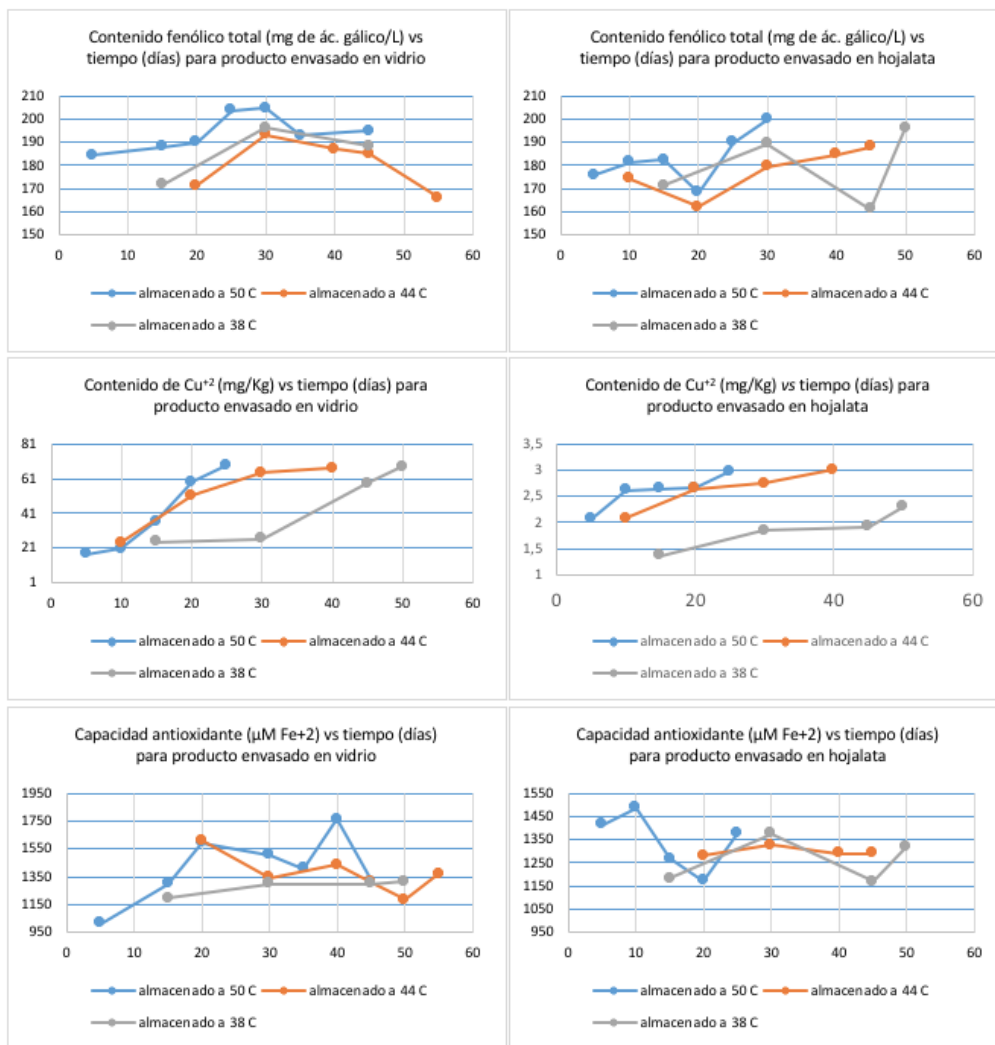


Figura 1. Variación de los parámetros fisicoquímicos del jugo funcional en el periodo de almacenamiento

El contenido de fenoles en la variable de envase de vidrio estuvo comprendido entre 171,4 y 204,8 mg de ácido gálico/L y la capacidad antioxidante del mismo osciló entre 1187,0 y 1765,3  $\mu\text{M Fe}^{2+}$ . En el caso del producto enlatado la variación de ambos índices fue similar; el contenido fenólico fluctuó entre 161,05 y 168,4 mg de ácido gálico/L y su capacidad antioxidante entre

1169,5 y 1485,8  $\mu\text{M Fe}^{2+}$ . (Figura 2). Con base en el resultado, no existe una influencia determinante de la temperatura sobre estos índices, coincidiendo con estudios previos, los cuales indican que el aumento de la temperatura en productos con cúrcuma no afecta el contenido de fenoles, lo que demuestra su capacidad frente a reacciones de oxidación (24).



**Figura 2.** Contenido fenólico total y la capacidad antioxidante en las muestras analizadas durante el almacenamiento del jugo de tomate con cúrcuma envasado en vidrio y hojalata.

En alimentos, los polifenoles contribuyen a la amargura, astringencia, color, sabor, olor y estabilidad del alimento. El interés en ellos como antioxidantes se focaliza en los flavonoides, quienes forman una larga familia

de compuestos fenólicos de pequeño tamaño que se producen naturalmente en tejidos de plantas, con la tendencia general de acumularse en las capas celulares exteriores del órgano vegetal expuestas a la luz solar, y

protegen a los compuestos fotosintéticos de la auto oxidación. En contraste a los tomates frescos, la mayoría sus productos derivados como salsas, pastas y jugos contienen cantidades significativas de flavonoides tipo flavonol libre, cuyo contenido depende de la variedad de tomate, tamaño y lugar de origen, siendo la luz uno de los principales factores ambientales que influyen en su presencia (25).

La causa principal del deterioro en los carotenoides del tomate es la oxidación, la cual se incrementa cuando se pierde la integridad celular. El alto grado de insaturación del licopeno lo hace altamente oxidable, siendo especialmente sensibles a la luz, el calor y el oxígeno. Además de la degradación oxidativa, con facilidad se lleva a cabo la isomerización cis-trans, la autooxidación del trans-licopeno y los cis-isómeros ocurren paralelamente a la trans-cis isomerización, causando una división de la molécula de licopeno en fragmentos más pequeños tales como aldehídos y cetonas volátiles, desarrollando sabores extraños. En productos procesados de tomate, la isomerización y autooxidación causan una disminución del contenido de licopeno, pérdida de color y la formación de sabores desagradables; debido a las reacciones mencionadas, es recomendable evaluar el contenido de licopeno a través del tiempo en el producto terminado.

La Figura 1 también muestra el contenido de  $\text{Cu}^{2+}$  y de  $\text{Fe}^{3+}$ , la concentración de ambos iones tiende al incremento paulatino durante el almacenamiento, conforme transcurre el tiempo y se eleva la temperatura. Este resultado sugiere que el material de hojalata laqueada no es el más idóneo para el almacenamiento prolongado del producto, que debería ser un envase resistente a tratamientos térmicos, cuyo barniz o recubrimiento ofrezca protección del envase metálico frente al producto y viceversa, ya que es necesario evitar el contacto directo del alimento con el material de envase, y con

ello la transferencia de iones metálicos que alteren el sabor del contenido (8).

Ahora bien, tomando en cuenta la alta calidad nutricional tanto del tomate como de su zumo natural, es razonable considerar su bebida potencialmente funcional. En los últimos años se han desarrollado bebidas funcionales con adición de extractos concentrados de cúrcuma. Sin embargo, el posible incremento de la funcionalidad de los extractos de frutas y vegetales, mediante su interacción con los curcuminoides del tumeric en polvo, despierta interés científico. Además, el efecto de la adición de cúrcuma y goma xantana al jugo de tomate, provocó mejoras importantes en atributos sensoriales como la separación de fases, olor y sabor y equilibrado, amargor, equilibrio ácido dulce y cuerpo (26).

El polvo de cúrcuma es usado en la elaboración del curry, y muy comúnmente en la fabricación de salsas y aderezos, así como para colorear mantequilla y quesos. Además, ha encontrado aplicaciones en bebidas, productos horneados, dietéticos, yogures, panetelas amarillas, bizcochos, hojuelas de maíz dulce, ensaladas, gelatinas, tabletas comprimidas, entre otros. Cabe destacar que, se trata de una de las tres especias naturales más utilizadas como colorantes, siendo las otras dos la paprika y el azafrán). Este polvo es soluble en solventes orgánicos, como el alcohol, más no en agua; por esta razón se hace imprescindible el uso de gomas, para lograr mantener en suspensión el polvo de cúrcuma, en el medio acuoso que constituye la bebida. La goma Xantana es completamente soluble en agua fría o caliente y tiene importancia industrial por su capacidad de controlar la reología de los sistemas base de agua; por ello las propiedades reológicas de los productos finales permanecen estables, independientemente de si se almacenan en frío, a temperatura ambiente o en área caliente. Su pseudoplasticidad mejora las cualidades sensoriales (sensación bucal, liberación de sabor, entre otros) en el

producto final y garantiza un alto grado de mezclado, bombeo y vertido (27).

En esta investigación, los atributos sensoriales partículas en suspensión, separación de fases, olor y sabor equilibrado, olor y sabor extraño, astringencia, granulosis y cuerpo se mantuvieron con poca variación y con puntuaciones aceptables en ambos sistemas de envase, indicando que no tuvieron afectaciones de interés a lo largo del periodo

evaluado y, por lo tanto, presentan poca incidencia en la calidad global del producto, lo que indica que la goma utilizada resultó adecuada para el producto. Estos resultados se observan en la Tabla 1, las variables de respuesta sensoriales que influyen en la calidad del producto envasado en botella de vidrio. Al igual que, en la Tabla 2 se observa los parámetros de calidad del producto envasado en hojalata.

**Tabla 1.** Resultados de las variables respuesta sensoriales que influyen en la calidad del producto envasado en botella de vidrio

	Tiempo	Separación de fase	Cuerpo	Partículas en suspensión	Olor extraño	Olor equilibrado	Sabor equilibrado	Sabor extraño
Temperatura de almacenamiento 50 C°	0	2,89 (0,93)	5,11 (0,78)	3,33 (0,87)	0,00	10,00 (0,00)	10,00 (0,00)	0,00
	5	2,86 (0,90)	5,43 (0,98)	2,45 (0,74)	0,0000	9,00 (0,58)	9,7 (0,65)	0,0000
	10	2,57 (0,95)	5,00 (0,90)	2,57 (0,98)	0,0000	9,30 (0,67)	9,8 (0,24)	0,0000
	15	2,86 (0,98)	5,29 (0,95)	2,77 (0,89)	0,0000	9,60 (0,52)	9,3 (0,62)	0,0000
	20	2,80 (1,10)	4,80 (1,10)	3,14 (0,98)	0,0000	9,50 (0,55)	9,7 (0,45)	1,20 (2,68)
	25	2,33 (0,82)	5,67 (0,82)	2,80 (1,10)	0,0000	9,80 (0,44)	9,2 (0,34)	0,0000
	30	2,33 (0,82)	5,33 (1,03)	2,60 (1,03)	0,17 (0,41)	9,80(0,60)	9,7 (0,66)	0,33 (0,82)
	35	2,20 (1,03)	5,20 (1,15)	1,20 (1,79)	0,0000	9,80 (0,45)	9,1 (0,55)	0,00
	40	2,80 (1,14)	4,80 (1,009)	2,00 (1,41)	0,0000	9,40 (0,56)	9,0 (0,46)	0,20 (2,45)
	45	2,40 (1,10)	4,60 (0,96)	2,00 (1,22)	0,0000	9,70 (0,71)	9,5(0,51)	0,0000
48	2,60 (1,22)	4,80 (0,82)	2,20 (1,09)	0,0000	9,80 (0,44)	9,0(0,46)	0,0000	
Temperatura de almacenamiento 44 C°	10	2,57 (0,98)	4,43 (0,79)	2,80 (1,10)	0,0000	9,93 (0,19)	9,2 (0,44)	0,0000
	20	2,80 (1,10)	4,80 (1,10)	2,29 (0,76)	0,0000	9,30 (0,45)	9,3 (0,45)	0,67 (1,63)
	30	2,33 (1,33)	5,33 (1,039)	2,80 (1,09)	0,0000	9,40 (0,33)	9,8 (0,43)	0,0000
	40	2,60 (1,34)	4,80 (1,00)	2,67 (1,03)	0,0000	9,00 (1,22)	9,6 (0,77)	0,0000
	48	2,40 (0,86)	5,00 (0,96)	2,00 (1,41)	0,71 (1,79)	9,00 (0,20)	9,4 (0,62)	0,0000
53	2,60 (0,89)	4,60 (0,96)	2,40 (0,89)	0,0000	9,40 (0,55)	9,2 (0,65)	0,0000	
Temperatura de almacenamiento 38 C°	15	2,57 (0,95)	5,14 (0,69)	2,80 (1,10)	0,0000	9,89 (0,66)	9,8 (0,28)	1,20 (1,64)
	30	2,17 (0,98)	5,00 (1,10)	2,57 (0,98)	0,0000	9,71 (0,49)	9,67 (0,44)	0,0000
	45	2,20 (1,48)	4,60 (1,14)	3,00 (1,80)	0,0000	9,50 (1,04)	9,6 (0,54)	0,0000
	53	2,40 (0,89)	5,20 (0,96)	2,20 (1,09)	0,0000	9,80 (0,40)	9,7 (0,55)	0,0000



**Tabla 2.** Resultados de las variables respuesta sensoriales que influyen en la calidad del producto envasado en hojalata

	Tiempo	Separación de fase	Cuerpo	Partículas en suspensión	Olor extraño	Olor equilibrado	Sabor equilibrado	Sabor extraño
Temperatura de almacenamiento 50 C°	0	2,80 (1,10)	5,11 (0,78)	2,40 (1,67)	0	10,00 (0,00)	10,00 (0,00)	0,00
	5	2,40 (1,67)	4,40 (0,55)	2,30 (1,70)	0,0000	9,20 (0,84)	9,60 (0,89)	0,0000
	10	3,00 (1,10)	4,80 (1,79)	2,00 (1,26)	0,0000	8,00 (0,89)	9,17 (0,88)	0,30 (0,50)
	15	2,75 (0,96)	5,00 (1,10)	1,75 (1,06)	0,0000	6,75 (0,96)	10,00 (0,00)	0,0000
	20	2,80 (1,10)	4,50 (0,58)	2,45 (1,00)	0,0000	5,00 (0,71)	9,80 (0,56)	0,0000
	25	2,80 (1,10)	4,80 (0,58)	2,80 (1,10)	0,84 (1,00)	4,00 (0,71)	9,45 (0,45)	0,0000
	27	3,00 (1,00)	4,80 (1,00)	2,60 (1,34)	0,0000	4,00 (0,50)	9,00 (0,61)	0,0000
	28	3,00 (1,41)	4,80 (1,15)	2,56 (1,22)	0,0000	3,40 (1,14)	9,63 (0,80)	0,83 (1,15)
Temperatura de almacenamiento 44 C°	10	2,67 (1,03)	4,30 (1,03)	2,60 (1,20)	0,0000	8,33 (1,03)	9,32 (0,52)	0,0000
	20	2,80 (1,10)	4,60 (0,50)	2,86 (1,16)	0,0000	6,00 (0,71)	9,54 (1,14)	0,0000
	30	2,60 (1,34)	4,60 (0,96)	2,55 (1,00)	0,65 (1,30)	4,00 (0,45)	9,40 (1,02)	0,0000
	33	2,40 (0,89)	4,20 (1,26)	2,43 (1,20)	0,0000	3,80 (0,84)	9,80 (0,45)	0,0000
Temperatura de almacenamiento 38 C°	15	2,67 (1,03)	4,30 (1,10)	2,65 (1,10)	0,0000	8,17 (0,75)	9,73 (0,85)	0,0000
	30	2,80 (1,10)	4,00 (0,45)	2,49 (1,00)	0,0000	6,00 (0,71)	9,80 (0,84)	0,45 (1,21)
	40	2,80 (1,00)	4,00 (0,82)	2,67 (1,24)	0,0000	5,20 (0,84)	9,64 (0,55)	0,0000
	45	2,59 (1,10)	4,20 (0,50)	2,53 (1,22)	0,54 (2,20)	5,00 (1,00)	9,32 (1,10)	0,0000

Por otro lado, el contenido de ácido ascórbico en el jugo de tomate con cúrcuma resultó bajo (4,39 mg/100g). Esto pudo deberse a su baja concentración en el puré de tomate utilizado como materia prima, o incluso a la posible pérdida de ácido ascórbico en el tratamiento térmico recibido. Por lo tanto el producto no puede considerarse fuente de esta vitamina. El ácido ascórbico (AA) presente en la hortaliza es un nutriente esencial para los humanos. Entre sus funciones está la fijación del oxígeno: cuando los alimentos se envasan, éstos contienen oxígeno, que podría reaccionar con varias moléculas del alimento, provocando rancidez y pérdida del color, entre otras características. Al estar presente la vitamina C, ésta fija o elimina el oxígeno; además, tiene la capacidad de fijar radicales libres y controlar el pardeamiento, todo esto la convierte en uno de los aditivos más empleados en la industria de los alimentos. Esta vitamina es termolábil y su oxidación al ácido dehidroascórbico y dicetogulónico, hace que se pierda la actividad vitamínica, razón por la cual el seguimiento de la

variación en la concentración de AA en alimentos es relevante para establecer los mecanismos que afectan su estabilidad y, por tanto, influyen en el tiempo de vida útil de los productos (28).

Con respecto a los atributos sensoriales: oscurecimiento, intensidad del sabor, amargor, equilibrio ácido dulce, calidad global para ambos envases y sabor metálico en el caso de la hojalata, presentaron afectación durante el almacenamiento acelerado del producto. Aunque por razones prácticas se ilustran solo dos de los parámetros sensoriales medidos (uno con tendencia creciente y otro con tendencia decreciente), los datos experimentales de todos ellos se ajustan a un modelo de primer orden con coeficiente de determinación por encima de 0,9. (Figura 3).

A medida que avanza el tiempo y aumenta la temperatura de almacenamiento, se incrementa el sabor metálico (envase de hojalata), amargor y el oscurecimiento, este último debe estar asociado al incremento de los azúcares reductores descritos

anteriormente, que provocan reacciones de pardeamiento Maillard al reaccionar con los grupos aminos de las proteínas presentes en el tomate (29). El valor de la constante cinética (k) tiene tendencia evidente a aumentar con el incremento de la temperatura, lo que hace prever que existe

una influencia de este parámetro sobre dicho atributo. Las constantes cinéticas obtenidas para el envase de hojalata son mayores que para el vidrio, por lo que la temperatura debe tener un mayor efecto en el producto enlatado y acelerar su oscurecimiento en el almacenamiento.

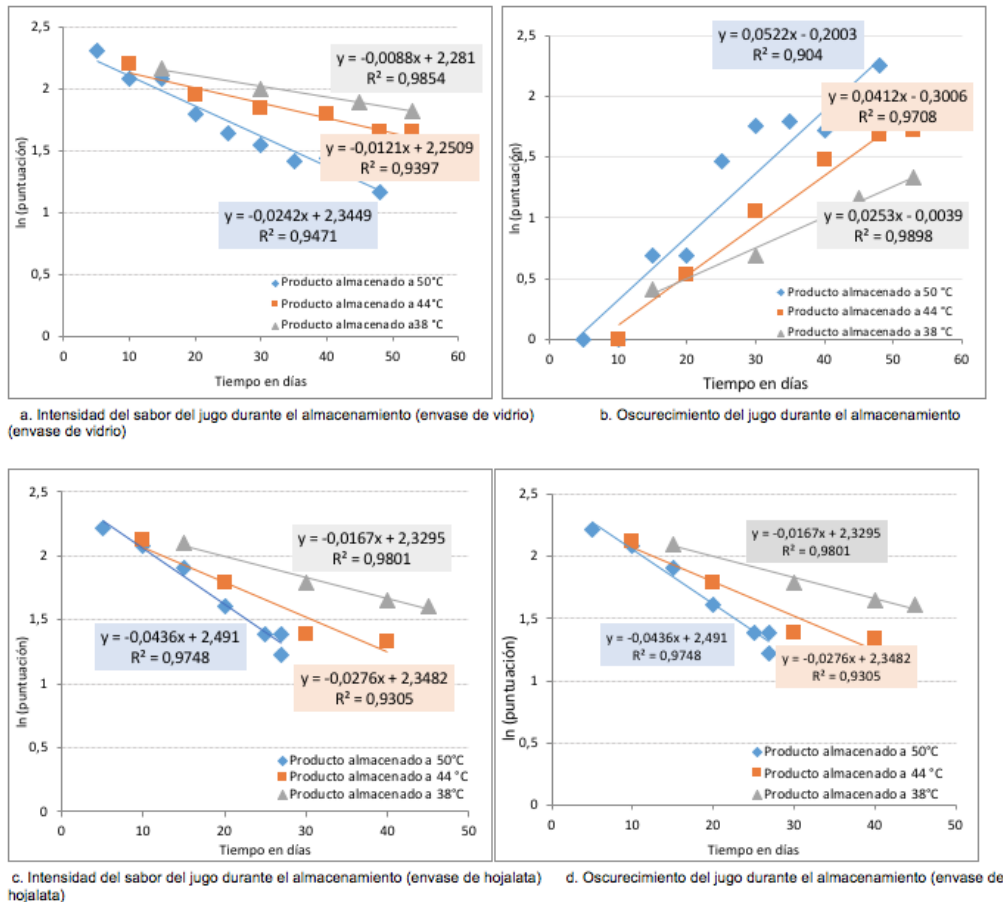


Figura 3. Variación algunos parámetros sensoriales del jugo funcional en el periodo de almacenamiento.

Con respecto a la Intensidad del sabor, equilibrio ácido-dulce y calidad global, para ambos envases, tienen tendencia decreciente de su puntuación (Iny) con el aumento de la temperatura de almacenamiento y el tiempo. Al igual que para el oscurecimiento se aprecia que las constantes cinéticas logradas para el envase de hojalata son superiores que para el vidrio, sugiriendo una influencia mayor de la temperatura sobre el producto en el

recipiente metálico y un mayor deterioro en su sabor.

Es importante señalar que, el comportamiento de los atributos sensoriales sigue en todos los casos una cinética de primer orden para las temperaturas evaluadas, por lo que se puede inferir que el mecanismo de acción no se altera al variar la temperatura, aspecto importante que debe tenerse en cuenta en los estudios de almacenamiento acelerado

a la hora de extrapolar a temperaturas inferiores durante el cálculo estimado de la vida de anaquel. Este resultado coincide con estudios previos sobre jugo de remolacha con miel (18) donde la cinética de primer orden explica con menor error la degradación de betacianinas, betaxantinas y ácido ascórbico en cada temperatura de almacenamiento. La vida de estante de los productos alimenticios se refiere al período de tiempo a partir de la fecha de producción, durante el cual el producto mantiene una calidad aceptable. Los valores obtenidos de la  $E_a$  son del orden de lo señalado en la literatura para la respuesta sensorial del alimento (21). Ambos valores se encuentran reflejados en el Tabla 3.

**Tabla 3.** Valores de Energía de Activación ( $E_a$ ) para cada variable respuesta en los dos sistemas de envase, expresada en kJ/kmol y tiempo de vida en anaquel (meses) del jugo funcional.

Variable respuesta	Botella de vidrio (330mL)	Hojalata laqueada (1/2 kg)
Oscurecimiento	51,0758	58,2162
Intensidad del sabor	76,1940	68,6991
Amargor	75,6600	48,3890
Equilibrio ácido dulce	56,7881	25,3316
Sabor metálico	-	65,0637
Calidad global	96,5559	71,8282
Tiempo de vida útil (28°C)	13,72	5,92
Tiempo de vida útil (32°C)	8,37	3,08

El criterio científico del tiempo de vida útil está dado, entre otras cosas por la transferencia de metales del recipiente al contenido, residuos indeseables, pérdida

de valores nutricionales, cambios de color debido a pardeamiento y otras reacciones de oxidación, rancidez o una reducción significativa de la calidad sensorial (30). En la Tabla 4 se observa en resultados de las variables de respuesta sensoriales que influyen en la calidad global del producto presentando un mayor tiempo de vida en anaquel al estar envasado en botella de vidrio.

### CONCLUSIONES

Este estudio logró evaluar la cinética de degradación del jugo funcional de Tomate con Cúrcuma, determinando las constantes de velocidad de degradación a las tres temperaturas ensayadas; la evolución de los atributos sensoriales corresponde a una cinética de primer orden para los sistemas de envases utilizados; las temperaturas altas ejercen influencia en la velocidad de degradación de los compuestos activos del jugo y el sistema de almacenamiento en vidrio ofrece mayor estabilidad al producto, en comparación con el de hojalata laqueado. Los resultados obtenidos después del almacenamiento acelerado aseguran la biodisponibilidad de antioxidantes en el jugo embotellado, aspecto positivo como bebida funcional. Se determinaron los parámetros de la ecuación de Arrhenius, para la degradación térmica, los valores de las constantes de velocidad y el tiempo de vida útil de la bebida. Además, se mantiene la calidad microbiológica. Estos aportes son novedosos y podrían tener aplicaciones futuras en el diseño y producción de productos competitivos, cuyas características funcionales se conserven durante mayor tiempo.

**Tabla 4.** Resultados de las variables respuesta sensoriales que influyen en la calidad global del producto envasado en botella de vidrio

	Tiempo	Oscurecimiento	Intensidad del sabor	Amargor	Equilibrio ácido-dulce	Calidad global
Temperatura de almacenamiento 50 C°	0	0,00	10,00 (0,00)	0,56 (0,88)	8,00 (0,71)	9,22 (0,83)
	5	1,00 (0,86)	10,00 (0,00)	0,86 (0,90)	7,71 (0,95)	9,43 (0,98)
	10	1,00 (0,78)	8,00 (0,829)	0,86 (0,95)	7,82 (0,989)	9,57 (0,79)
	15	2,00 (0,909)	8,00 (0,78)	1,14 (0,95)	6,30 (0,90)	8,86 (0,76)
	20	2,00 (0,78)	6,00 (0,71)	2,40 (0,89)	5,40 (1,10)	7,40 (0,899)
	25	4,33 (1,51)	5,17 (0,98)	2,67 (0,52)	5,60 (1,10)	7,07 (1,63)
	30	5,83 (1,33)	4,67 (0,82)	2,33 (0,82)	4,00 (1,00)	6,67 (0,82)
	35	6,00 (1,22)	4,10 (0,74)	2,40 (0,89)	4,20 (1,30)	6,00 (1,87)
	40	5,60 (0,55)	4,20 (0,84)	3,00 (1,00)	3,60 (1,52)	5,60 (1,34)
	45	6,40 (0,89)	4,00 (1,22)	3,60 (0,55)	3,00 (0,71)	3,80 (1,79)
Temperatura de almacenamiento 44 C°	48	9,60 (0,89)	3,20 (0,89)	3,80 (0,84)	3,40 (1,00)	-
	10	1,00 (0,67)	9,00 (0,45)	1,29 (0,95)	7,60 (0,38)	9,57 (0,79)
	20	1,70 (0,45)	7,00 (1,00)	1,80 (0,45)	6,70 (1,22)	8,00 (1,22)
	30	2,67 (0,82)	6,33 (1,03)	1,67 (0,52)	6,17 (0,41)	7,00 (1,10)
	40	4,40 (0,899)	6,00 (0,71)	2,00 (0,71)	5,80 (1,30)	6,00 (1,40)
	48	5,40 (0,89)	5,20 (0,84)	2,60 (0,89)	4,80 (0,84)	6,40 (0,55)
Temperatura de almacenamiento 38 C°	53	5,60 (0,87)	5,20 (0,84)	2,80 (0,84)	4,40 (0,55)	5,60 (0,55)
	15	1,50 (1,07)	8,71 (0,76)	1,43 (0,989)	8,29 (0,98)	8,00 (1,15)
	30	2,00 (1,26)	7,33 (1,03)	1,92 (0,669)	7,60 (0,63)	7,50 (1,22)
	45	3,2 (0,45)	6,60 (1,10)	1,80 (0,84)	6,40 (0,84)	6,40 (0,45)
	53	3,8 (0,45)	6,20 (0,84)	2,40 (0,55)	5,50 (1,00)	6,60 (0,89)

## REFERENCIAS

- Ostan R, Lanzarini C, Pini E, Scurti M, Vianello D, Bertarelli C. Inflammation and cancer: a challenge for the Mediterranean diet. *Nutrients*. 2015;7(4):2589-2621.
- Urquiaga I, Echeverría G, Dussailant C, Rigotti A. Origen, componentes y posibles mecanismos de la dieta mediterránea. *Rev. Méd. Chile*. 2017;145(1):85-95.
- Jiménez-Colmenero F. Emulsiones múltiples: Compuestos bioactivos y Alimentos funcionales. *Nutr. Hosp*. 2013; 28(5):1413-1421.
- Serpa A, Borrajas J, Velásquez J, Vélez L, Zuluaga R. Desarrollo de un refresco a partir de mezcla de fresa (*Fragaria ananassa*), mora (*Rubus glaucus*), gulupa (*Passiflora edulis Sims*) y uchuva (*Physalis peruviana L.*) fortificado con hierro dirigido a niños en edad preescolar. *Perspect Nut Hum*. 2015: 7(2):161-163.
- Coronado M, Vega Y, León S, Gutiérrez R, Vásquez M, Radilla C. Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Rev. Chil. Nutr*. 2015: 42(2):206-212.
- Matute-Castro N, Panadés-Ambrosio G, Viera L, Echavarría-Vélez A, Bravo V. Diseño de una bebida potencialmente funcional de tomate (*Lycopersicon esculentum*) con tumeric (*Curcuma longa Linn*). *Revista Cumbres*. 2016: 2(2):49-55.
- Morales A, Jaime. *Frutoterapia: Los frutos que dan vida*. 7ma edición. ECOE,

- Bogotá, Colombia. 2016: pp, 260.
8. Waliszewski K, Blasco G. Propiedades nutraceuticas del licopeno. *Salud Pública Méx.* 2010: 52(3):254-265.
  9. Ortega J. Curcuma longa y su potencial molecular beneficioso sobre los procesos inflamatorios, cáncer y enfermedades crónico degenerativas. *I Cresc.* 2014: 1(1):115-124.
  10. Karim M, Haque A, Islam K, Ali N, Salam K, Saud Z, Hossain E, Fajol A, Akhand A, Himeno S, Hossain K. Protective effects of the dietary supplementation of turmeric (*Curcuma longa* L.) on sodium arsenite-induced biochemical perturbation in mice. *Bangladesh Med Res Counc Bull.* 2010: 36(3):82-88.
  11. Gryniewicz G. Curcumin and curcuminoids in quest for medicinal status. *Acta Biochem Pol.* 2012:59(2):01-212.
  12. Al-Reza S, Rahman A, Parvin T, Rahman M, Rahman M. Chemical composition and antibacterial activities of essential oil and organic extracts of *Curcuma aromatic* Salisb. *Bangladesh. Food Sci. Food Saf.* 2011: 31(4):433-438.
  13. Alvis A, Arrazola G, Martínez W. Evaluación de la actividad y el potencial antioxidante de extractos hidro-alcohólicos de *Cúrcuma* (*Cúrcuma* L.). *Inf. Tecnol.* 2012: 23(2):11-8.
  14. Méndez-Álvarez N, Angulo-Ortiz A, Contreras-Martínez O. Actividad antibacteriana in vitro de *Curcuma longa* (Zingiberaceae) frente a bacterias nosocomiales en Montería, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 2016: 64(3):1201-1208.
  15. Reyes-Luengas A, Salinas-Moreno Y, Ovando-Cruz M, Arteaga-Gariba R, Martínez-Peña M. Análisis de ácidos fenólicos y actividad antioxidante de extractos acuosos de variedades de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) con cálices de colores diversos. *Agrociencia.* 2015: 49(3):277-290.
  16. Núñez M, Hernández R, Rodríguez I, Rodríguez J, Torrez-López Y. Metodología para la estimación de la vida útil de los alimentos. *RVCTA.* 2017: 27(2):75-82.
  17. Camacho A, Giles M, Ortégón A, Palao M, Serrano B, Velázquez O. *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos.* 2ª ed. UNAM (México): Facultad de Química, 2009. pp. 270.
  18. Marrugo Y, Ríos-Domínguez I, Martínez-Pájaro C, Severiche C, Jaimes-Orales J. Elaboración de un alimento tipo compota utilizando como espesante el almidón del frijol Zaragoza (*Phaseolus lunatus*). *rev. investig. agrar.ambient.* 2017:8(2):119-126.
  19. Falco G, Nadal M, Llobet J, Roig J. *Riesgo tóxico por metales presentes en los alimentos: Toxicología alimentaria.* España, Madrid. Ediciones Díaz de Santos. 2012. 25 pp.
  20. AOAC (Association of Official Analytical Chemist). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist.* Arlington: 1995. Helrich K (Ed).
  21. Sánchez W, Cortéz-Arredondo J, Solano-Cornejo M, Vidaurre-Ruiz J. 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. *Sci. agropecu.* 2015:6 (2):111-118.
  22. Coy-Barrera C, Acosta GE. Actividad antibacteriana y determinación de la composición química de los aceites esenciales de romero (*Rosmarinus officinalis*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y cúrcuma (*Curcuma longa*) de Colombia. *Rev Cubana Plant Med.* 2013:18(2):237-246.
  23. Albornas-Carvajal Y, Corsano G, Mesa L, Santos R, González E. Estudio de la cinética de la hidrólisis enzimática del bagazo pretratado. *Afinidad LXXII.* 2015:507:127-132.
  24. Burton-Freeman B, Sesso H. Whole food versus supplement: comparing the clinical evidence of tomato intake and lycopene supplementation on cardiovascular risk factors. *Adv. Nutr.* 2014:5(5):457-485.

25. Bonaccio M, Pounis G, Cerletti C, Donati M, Lacoviello L, De Gaetano G. Mediterranean diet, dietary polyphenols and low-grade inflammation: results from the moli-sani study. *British J. Clin. Pharmacol*, 2017; 83(1):107-113.
26. Vilahur G, Cubedo J, Padro T, Casani L, Mendieta G, González A. Intake of cooked tomato sauce preserves coronary endothelial function and improves apolipoprotein A-I and apolipoprotein J protein profile in high-density lipoproteins. *Transl. Res.* 2015; 166(1):44-56.
27. Barragan K, Salcedo J, Hernández E, De Paula C. Efecto de goma xantán en el comportamiento reológico de cremas instantáneas de harina de pescado. *Agron. colomb.* 2016; 34(1):442-445.
28. Gamarra-Ramírez N. Efecto antioxidante del extracto de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) sobre arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) empacada al vacío. *Agroind. Sci.* 2016; 6(1):107-115.
29. González-Cuello R, Paternina L, Carrillo A. Biopelículas terciarias: Fuerza de ruptura y efecto sobre la vida útil de cortes de Tilapia Negra (*Oreochromis niloticus*). *Inf. Tecnol.* 2016;27(1):33-40.
30. Ygnacio-Santa Cruz A. Determinación de parámetros del enlatado de carne de conejo (*Orytolagus cuniculus*). *UCV HACER. Rev. Inv. Cult.* 2017;6(1):26-31.