

EFFECTO DE LA LIOFILIZACIÓN SOBRE EL CONTENIDO DE BETACAROTENOS DEL GUACAMOLE

EFFECT OF LYOPHILIZATION ON THE BAC-CAROTENE CONTENT OF GUACAMOLE

***Ayola C. Yoicelin¹, Maldonado M. Lida¹, Yanza H. Erick², Maldonado O. Yohanna¹,**

¹Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Departamento de Alimentos, Especialización en Seguridad Alimentaria. Grupo de Investigación GIBA. Pamplona. Colombia. Correo electrónico: *yoayco14@hotmail.com

²Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Grupo de Investigación GIBA. Pamplona. Colombia.

Recibido: 12 de Marzo de 2019 ; Aprobado 20 Octubre de 2019

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de la liofilización en la conservación de beta-carotenos presentes en el guacamole. Para ello se determinó la cantidad de beta-carotenos contenido en el guacamole, mediante espectrofotometría, se midió el color con un Espectrofotocolorímetro, posteriormente se sometió el guacamole a liofilización a una temperatura de congelación de - 25° C durante 24 horas y por último se analizó su efecto sobre el contenido de beta-carotenos. Los resultados obtenidos se analizaron con el paquete estadístico SPSS

versión 13.0, realizando análisis de varianza (ANOVA), con un grado de significancia de 0.05. Se concluyó que la liofilización es una buena alternativa de conservación para el guacamole ya que conserva las características propias del producto, reteniendo un alto porcentaje del contenido de Beta-carotenos (78 %), incrementa la luminosidad en un 121 % (no pardeamiento) y la pureza del color (mayor viveza), conserva el tono característico del guacamole.

Autor a quien escribir: *Yoicelin Ayola
Coneo. E. Mail:
yoayco14@hotmail.com

Palabras clave: Aguacate, Betacarotenos, Congelación, Guacamole, Liofilización.

SUMMARY

The objective of this research was to study the effect of lyophilization on the conservation of beta-carotenes present in guacamole. For this, the amount of beta-carotenes contained in the guacamole was determined, by spectrophotometry, the color was measured with a Spectrophotometer, subsequently the guacamole was subjected to lyophilization at a freezing temperature of -25°C for 24 hours and finally it was analyzed its effect on the beta-carotene content. The results obtained were analyzed with the SPSS statistical package version 13.0, performing analysis of variance (ANOVA), with a degree of significance of 0.05. It was concluded that lyophilization is a good preservation alternative for guacamole since it preserves the characteristics of the product, retaining a high percentage of the beta-carotene content (78%), increasing luminosity by 121% (no browning) and the purity of the color (greater vividness), preserves the characteristic tone of guacamole.

Key words: Avocado, Beta-carotenes, Freezing, Guacamole, Lyophilization.

INTRODUCCIÓN

Colombia es el quinto productor mundial de aguacate, participa con el 5,7 % de esta producción, con la ventaja comparativa en el rendimiento del cultivo a nivel internacional con 8,80 toneladas por hectárea, por encima de California, Chile y Perú. El área sembrada es de 28 mil hectáreas con una producción de 250 mil toneladas (Díaz P., 2019; Mejía A. 2011; Mejía A. 2015). El 38 % de los cultivos corresponde a la variedad Hass, la de mayor potencial, suma 10.500 hectáreas y 47 mil toneladas. Siendo el departamento de Antioquia el principal productor (Bareno, 2014; Ministerio de Agricultura, 2015).

El aguacate es un alimento apetecido por la mayoría de la población pero por su propia naturaleza es susceptible al deterioro, se ha reportado que su vida útil es de dos semanas en almacenamiento a 7° C, (Sagarpa, 2011; Dorantes *et al.*, 2003; Bolaños *et al.*, 2015; Bolaños *et al.*, 2017), por ello buscar formas de conservación de sus propiedades se convierte en un reto de investigación.

En la industria alimentaria se utilizan diversos métodos de conservación de alimentos, con el fin de preservarlos por tiempos prolongados. Entre ellos destacan la deshidratación, congelación, salado y

salmuera, encurtido, pasteurización, utilización de conservantes, tratamientos con almíbar, etc. En la actualidad se está empleando la nanotecnología como nueva alternativa para el control de microorganismos patógenos en los alimentos con el uso de Nanopartículas de plata (Villamizar, 2015).

El problema de los métodos convencionales de secado, es que si se pretende eliminar el agua de manera rápida, será necesario un gran aporte de calor y trabajar a altas temperaturas, puede dañar y/o endurecer la capa externa del fruto. Otro factor a tener en cuenta es que al producirse la evaporación del agua, la concentración de sales disueltas en ella aumenta progresivamente, quedando las células y proteínas, que conforman el producto, rodeadas de una solución acuosa altamente concentrada, este choque osmótico, unido a las altas temperaturas, lleva a la desnaturalización de los productos alimenticios. Es por esto que la deshidratación convencional se considera como un proceso perjudicial para las propiedades de la fruta (Quiroga O., 1978).

En el caso de preparaciones a partir del aguacate, tal como el guacamole se presenta problemas por oxidación que

generan en corto tiempo el oscurecimiento del producto, estos problemas no han podido ser resueltos mediante técnicas de conservación tradicionales. Por ello se optó por un método alternativo de deshidratación, mucho más complejo, aunque más costoso llamado liofilización, donde el agua del alimento se extrae mediante sublimación, haciéndola pasar desde el estado sólido al gaseoso, sin pasar por el estado líquido, evitándose así los problemas de endurecimiento de la piel y el daño celular interno (Betancourt C., 2014).

El éxito de este procedimiento reside en que, además de proporcionar estabilidad microbiológica, debido a la reducción de la cantidad de agua, y fisicoquímica, aporta otras ventajas derivadas de la reducción del peso, en relación con el transporte, manipulación y almacenamiento. Estas bondades del guacamole liofilizado permiten que se pueda hacer uso de otro método de conservación que protege compuestos químicos importantes desde el punto de vista nutricional.

El guacamole es una pasta de color verde, típico de México. Es una salsa originaria de Mesoamérica. Está preparada con una base de aguacate o palta. Por un lado, el origen de esta palabra, guacamole, proviene de náhuatl "Ahuacamolli" traducido en español,

que se compone de las palabras "Ahuaca" (aguacate) + " molli "(mole o salsa).

Existen diferentes variaciones de la receta en México. En la cocina mexicana, además se emplean dos tipos de guacamole, el totalmente molido y el que tiene trozos de aguacate, el primero se le denomina de formas populares o puestos ambulantes de comida. El que tiene trozos suele ser más caro y se usa principalmente en el hogar que sirve para acompañar platos de carnes fritas o a la plancha. (Páez M., 2010).

Los aguacates son un alimento perfecto como sustituto natural vegetariano de las proteínas contenidas en carne, huevos, queso y aves de corral. Las propiedades de los aguacates son muy beneficiosas para la salud: contienen los ácidos grasos esenciales y proteínas de alta calidad que se digieren fácilmente sin contribuir negativamente en el colesterol. Por lo cual, el guacamole es considerado un alimento vitamínico, teniendo en cuenta su composición; su valor nutritivo es en efecto una sustancia alimentaria que aporta al organismo unos elementos perfectamente asimilables.

Los tipos de guacamole varían y de alguna manera, dependen de los ingredientes que se tengan disponibles así como del gusto personal de quien lo consume, pero los más

frecuentes son el picante, el suave y la pulpa, que no lleva condimentos y que es sólo la pasta del aguacate, (Páez M., 2010).

La Seguridad Alimentaria se ha convertido durante los últimos años en un tema de enorme trascendencia y preocupación a nivel Mundial. De acuerdo a la definición aprobada por la Cumbre Mundial sobre la Alimentación organizada por la FAO en el año 1996, —existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias a fin de llevar una vida activa y sana, especificando que los cuatro pilares de la seguridad alimentaria son la disponibilidad, el acceso, la utilización y la estabilidad, definición que fue reafirmada en la Cumbre Mundial sobre la Seguridad Alimentaria, FAO Roma 2009, donde la dimensión nutricional y la inocuidad integran del concepto se seguridad alimentaria (FAO, 2009).

El presente proyecto permitió conocer el efecto del método de liofilización como una buena alternativa para conservar los betacarotenos del aguacate y garantizar así la calidad nutritiva de un producto a base de aguacate respecto al uso de otros métodos tradicionales (Torrenegra-Alarcon, 2019; Vinson Ja, *et al*, 2011).

Las plantas sintetizan los carotenoides mientras que los animales no. De los carotenos acíclicos el licopeno y el B-caroteno son los más comunes Schieber, *et al.*, (2002).

La pérdida de carotenoides durante el almacenamiento postcosecha son reportados en algunos vegetales, particularmente las hojas. La temperatura y tiempo de cosecha influyen significativamente en la concentración de carotenoides en los tomates cultivados en invernadero con ambiente controlado. Temperaturas diurnas entre 17 - 25 °C, la concentración de β - caroteno, varía entre 2.97 - 2.19 g/g. en frutas cosechadas entre 7, 14 y 21 días seguida de la coloración inicial (Pua R., 2015; Pua R., 2016).

Méndez en el 2010, analizó el posible efecto que pudiera tener el campo eléctrico (CE) sobre estándares de β -caroteno, α -tocoferol y ácido ascórbico, y a su vez sobre estos mismos compuestos dentro de pasta de aguacate, adicionados como estándar interno. En ácido ascórbico, el CE provocó degradación de la vitamina a una velocidad de 0.188 min⁻¹, hasta llegar al 1.5 % de ácido ascórbico residual con 20 minutos de tratamiento; mientras que en pasta de aguacate no se observó efecto. Por último, el CE no ejerció efecto significativo sobre estándar de α -tocoferol ni cuándo se

encuentra en pasta de aguacate ($p > 0.05$).
(Forero, F., 2007).

Reyes, Luis y Poveda, Guillermo (2013) evaluaron el uso de ácido cítrico en la elaboración de guacamole y su incidencia en el tiempo de vida útil, encontrando que los dos factores influyen significativamente en el proceso de almacenamiento. Mientras que Rangel, Marcela (2004) aplicó la liofilización para la obtención de un guacamole con las características de un guacamole fresco al momento de ser rehidratado. Evaluó el efecto de dos temperaturas de congelación (-35 y -57.5 °C) y 2 temperaturas de calentamiento (5 y 25 °C), también se evaluaron los cambios de color L a y b (Hunter). Los resultados aquí obtenidos muestran la factibilidad de usar la liofilización como medio de conservación de guacamole empleando condiciones de congelación rápidas y bajas temperaturas de sublimación.

Los carotenoides son susceptibles de isomerizarse y oxidarse durante el procesamiento y almacenamiento como consecuencia inmediata la pérdida de color, actividad biológica y formación de compuestos volátiles que imparten sabores deseables o indeseables en algunos alimentos. La oxidación depende de la presencia de oxígeno, metales, enzimas, lípidos insaturados, pro-oxidantes,

antioxidantes; exposición a la luz; tipo y estado físico del carotenoide presente; severidad del tratamiento, el calentamiento promueve la isomerización cis-trans. Por lo anterior se viene innovando en la encapsulación de estos compuestos para conservarlos durante su almacenamiento y ser incorporado en diversos alimentos (Parra, 2015).

El color permite monitorear visualmente la separación de los carotenoides en cromatografía de columna abierta. El espectro visible y ultravioleta es la primera herramienta de diagnóstico para la identificación de carotenoides. La longitud de onda de máxima absorción (máx.) y la forma del espectro son características del cromóforo (Almanza, 2019).

Los carotenoides pueden ser cuantificados espectrofotométricamente, sin embargo, depende de la precisión del coeficiente de absorción, que son difíciles de obtener.

Algunas técnicas permiten de manera rápida y confiable monitorear su presencia y reacciones; como la espectrofotometría ultravioleta visible (UV-Vis), cromatografía capa fina (T.LC.) y Cromatografía Líquida de Alta Resolución (H.P.L.C.), (Rodas, 2003).

En cuanto al análisis de carotenoides en productos alimenticios estos pueden ser

realizados por diferentes métodos: H.P.L.C., espectrofotometría UV-vis o evaluación de color. Para la extracción de carotenoides de la muestra diferentes sistemas pueden ser usados, como extracción líquido-líquido, extracción en fase sólida o extracción con fluidos supercríticos, se recomienda la mezcla TetraHidroFurano (THF)/MTOH (50:50 v/v) para extracción de carotenoides; mientras otros autores usan acetato de etilo (100 %) o diferentes mezclas de etanol/hexano, acetona/etanol/hexano, acetato de etilo/hexano o acetona/hexano. Sin embargo, la mezcla hexano/acetona/etanol (50:25:25 v/v), presenta los mejores resultados obteniendo un perfil espectral característicos de estos compuestos; concentraciones entre 0.47-9.32 M y absorbancia a 446 nm para β -caroteno (Olives Barba *et al.*, 2006).

La precisión de la medida depende del tipo de dispositivo usado en la determinación de la posición exacta de la máxima absorbancia, y desde luego, de la exactitud de los coeficientes de absorbancia usados para el cálculo. La mayor limitación en la identificación de pigmentos es el solapamiento de las bandas de absorbancia de pigmentos individuales presentes en la muestra (Schoefs, 2004; Çinar, I., 2004; Dauguet, D., 2000).

La liofilización es considerada por muchos investigadores como un método apropiado para preservar muestras biológicas que deben ser almacenadas antes de su análisis Grajales, L., *et al.*, (2005). No obstante, la degradación ocurre durante este proceso, ya que la muestra se hace porosa, incrementando la exposición de los carotenoides al oxígeno durante el almacenamiento.

El sistema de secado por vacío, llamado liofilización, ha resultado ser muy eficiente a la hora de preservar las características del fruto inicial (Brennan J., *et al.*, 201; Toor, K. *et al.*, 2006). Este método se diferencia de los convencionales ya que el secado no se produce por el cambio de estado de líquido a gas, sino que se realiza primero por el paso de fase líquida a sólida y luego directamente de sólido a gas (sublimación); evitando así que los componentes del producto queden rodeados de soluciones hipertónicas durante la extracción del agua fuera de él (Quiroga O., 1978; Ramírez, J., 2011).

El proceso de liofilización puede subdividirse en 3 etapas: El pre-congelamiento, congelamiento primario y congelamiento secundario. Cada una de ellas tiene gran importancia en la calidad final del producto.

El tamaño de cristales está determinado en gran parte por la velocidad de enfriamiento: a menor velocidad, mayor es el tiempo que tienen los cristales para difundir, por esta razón los cristales más grandes crecen a expensas de los más chicos aumentando considerablemente el tamaño promedio de ellos. Además, esto da lugar a la formación de grandes cristales de hielo extracelular que separa y rompe las células, provocando alteraciones en la textura del alimento y exudación de agua al momento de descongelar (Brennan J., *et al*, 2012) y (Otero L., *et al*, 2000).

El tamaño de los cristales de hielo también tendrá una influencia significativa en la permeabilidad de la capa seca al vapor que fluye desde la interfase producto congelado-producto seco (hielo-vapor) hacia el exterior, como en el tiempo de rehidratación del producto. Así de un gran número de granos pequeños resultará una capa seca que resulte en caminos intrincados para el paso del vapor, lo que significará una tasa de secado más baja. Por otra parte, significará una gran superficie expuesta al agua al momento de la rehidratación, lográndose esto en corto tiempo (Otero L., *et al*, 2000; Tang, Y. C., y Chen B. H. 2000).

El color se puede evaluar por tres métodos:
1) Métodos Visuales; 2) Espectrofotometría

y 3) Colorimetría Triestimular. La aplicación e interpretación de cada uno requiere una formación física, fisiológica, psicológica, instrumentación y estadística. El sistema CIELAB, es el que más se aproxima a la apreciación visual humana, y ha sido recomendado por diversas sociedades científicas para su uso en las mediciones del color en los alimentos, (Noor, 2012). Por lo tanto, la medición del color de un alimento ha cobrado importancia, por lo que se ha estandarizado y mecanizado, debido a que la apreciación individual puede ser muy variada.

En el sistema CIELab, L^* es la luminosidad, a^* es la saturación y b^* es el ángulo de tono, mientras que C^* es el croma (equivalente a la saturación, es la distancia del punto de color con respecto al punto blanco) y H^* el matiz (que proporciona información sobre la longitud dominante); el parámetro colorimétrico a^* define al componente rojo-verde, mientras que el parámetro b^* define el componente amarillo-azul. (Mattias *et al.*, 2014).

MATERIALES Y METODOS

1. Identificación de la presencia de Beta-carotenos en el guacamole fresco.

Inicialmente se determinó la cantidad de Beta-carotenos presente en el guacamole fresco, para ello se llevó a cabo la siguiente metodología:

1.2. Localización. El trabajo se realizó en el laboratorio de la Maestría Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Pamplona.

1.3. Selección de la Materia Prima. Los ingredientes para la elaboración del guacamole se obtuvieron en la plaza de mercado principal del municipio de Pamplona, Norte de Santander.



Figura 1. Etapas de maduración del aguacate Hass. Fuente: disponible en la página: <https://www.saboreauhoy.com/consejos/escoger-comprar-aguacates-hass>

Los aguacates seleccionados fueron de la variedad Hass y se escogieron por

inspección visual representada en la figura 6 con grado de madurez 3 (Maduro) deben encontrarse libre de magulladuras y no deben presentar olor desagradable. Los demás ingredientes deben estar frescos y sin ningún tipo de daño mecánico.

1.4. Formulación para la elaboración del Guacamole. Se utilizó la siguiente formulación: en base a 200 g de aguacate, 21.5 % de Cebolla, 0.65 % de cilantro 0.115 de chile fresco, 1 % de sal y 10 gotas de jugo limón. Fuente: Autor.

1.5. Elaboración del guacamole.

Para la preparación del guacamole se siguió el siguiente procedimiento:

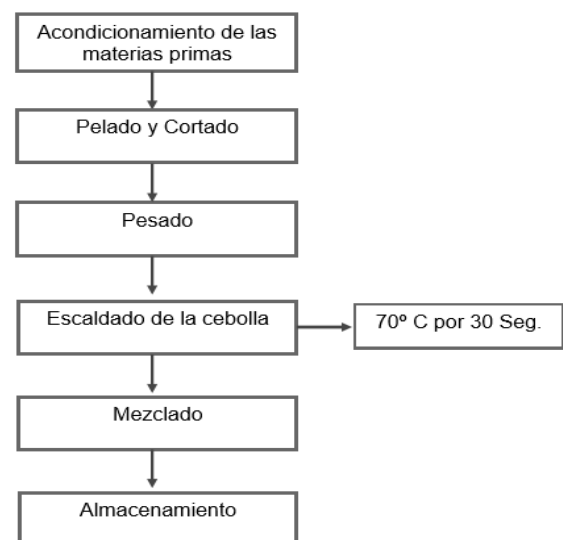


Figura 2. Diagrama del Flujo para la elaboración de Guacamole. Fuente: Autor.

1.6. Identificación y cuantificación de los carotenoides. Se emplearon los siguientes elementos de laboratorio:

□ Equipo utilizado: Espectrofotómetro HACH DR/4000U UV-Vis. □ Celdas de cuarzo de 1 cm³ □ Cloroformo □ Masa de muestra: 0.067 g de guacamole. □ Rango de aplicación: 200 – 600 nm para beta caroteno (slit 1.0 nm).

1.6.1. Determinación de beta caroteno.

Para construir la curva de calibración, se preparó una solución patrón de beta caroteno; Marca Sigma Aldrich, de 100 mg/L para identificar su espectro con su respectiva absorbancia y a partir de esta, se realizaron diluciones de 100, 80, 60, 40, 20, 10, 6, 4 y 2 mg/L, con cloroformo en frascos volumétricos de 10 ml. Cada solución fue pasada por el espectrofotómetro y se determinó su espectro. Se usó Cloroformo como blanco.

Con la curva de calibración lista, el guacamole se llevó al espectrofotómetro y se midió nuevamente su absorbancia. Cabe anotar que cada vez que se realizó un ensayo; las celdas se lavaron con agua destilada, se secaron con papel absorbente y se humedecieron con cloroformo.

2. Evaluación del efecto que tiene la liofilización sobre el contenido de

Betacaroteno presentes en el guacamole fresco.

El procedimiento realizado se presenta en la figura 3.

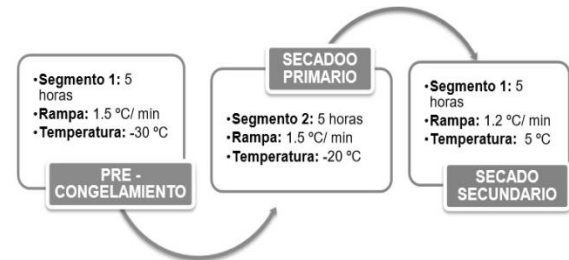


Figura 3. Etapas del proceso de Liofilización.

El proceso de liofilización consta de tres etapas la primera de ellas es el pre-congelamiento, seguida un secado primario y por ultimo un secado secundario, esto teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por el fabricante del Liofilizador marca LABCONCO, automatizado.

Variables propias del liofilizador. En el equipo se manipularon las siguientes variables: Temperatura de la cámara de secado (°C), Alimentación (20 g Max), presión de aspiración (mbar).

En la figura 4 se muestra el procedimiento de secado por liofilización realizado a las muestras de guacamole fresco.

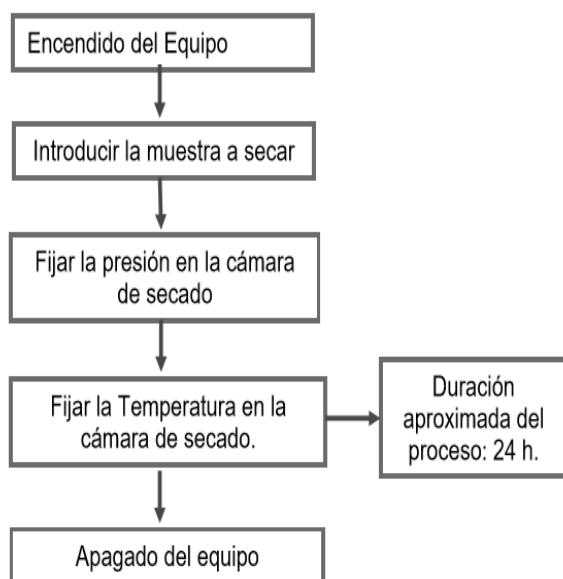


Figura 4. Diagrama del Flujo proceso de liofilización de guacamole. Fuente: Autor.

2.1. Cuantificación de los cambios producidos en el beta-caroteno presente en el guacamole después del proceso de liofilización.

Se tomó la muestra de guacamole liofilizado, previamente pesada y se diluyó en cloroformo y se observó si hay presencia de material sólido sin disolver; posterior a esto se pasó la muestra por papel filtro. Con las curvas patrón definidas en un amplio intervalo, se procedió a analizar la muestra y se midió su absorbancia. Se usó el mismo procedimiento empleado en el desarrollo del primer objetivo específico.

2.1.1. Color. El color tiene aplicaciones analíticas o diagnósticas, como determinar el grado de madurez de un fruto. La medida

del color se realizó con un Espectofotocolorimetro de esfera X-RITE, con un espacio de color CIE $L^*a^*b^*$ donde L^* es luminosidad (0, negro; 100, blanco), a^* cantidad de componente rojo-verde en el color medido, para valores positivos y negativos respectivamente y de forma similar, b^* , para el componente amarillo-azul. Con un observador de 10° e iluminante D65. Para iniciar la medida primero se calibró el equipo, luego se activó la opción de análisis; seguidamente se tomó la muestra colocándola en la parte esférica del equipo y se marcó la lectura en tres zonas de dicha muestra. (Noor, 2012).

Análisis estadístico. Se analizaron los resultados obtenidos en la evaluación de β -carotenos y color, tanto para las muestras de guacamole fresco como liofilizado, se tomaron los datos por triplicado, se utilizó el programa estadístico SPSS versión 13.0, realizando análisis de varianza con un grado de significancia de 0.05, para establecer si existe diferencia significativa entre los parámetros analizados de la muestra.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Identificación de la presencia de beta-carotenos en el guacamole fresco.

En la figura 5 se muestra la curva de calibración de la Absorbancia vs Concentración de β -caroteno 6-2 mg/L, dando como resultado una ecuación de la recta necesaria para la obtención de los resultados.

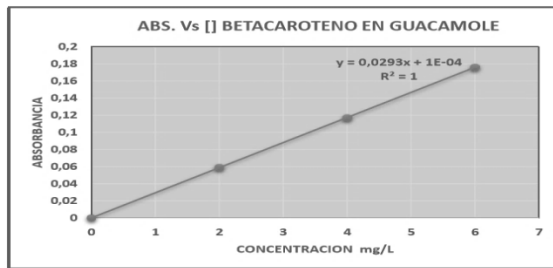


Figura 5. Curva de calibración del estándar de β -caroteno. Fuente: Autor.

Como se observa en la figura anterior, los datos de β -caroteno se ajustaron a un modelo lineal, obteniendo un coeficiente de correlación de $R=1$, con la ecuación que resultó del ajuste, se llevó a cabo la cuantificación de β -caroteno de las muestras, en el anexo 1 los cálculos para determinar la curva de calibración.

Ecuación 1. Regresión lineal para concentraciones entre 6 – 2 mg/L para beta caroteno

$$y=0.0293 \cdot x - 1 \times 10^{-4}$$

Donde x es la concentración (mg/L) y y es la absorbancia.

$$y = 0,0293x + 1E - 04 \quad R^2 = 1$$

En la tabla 1 se observan los resultados cuantitativos de β -carotenos y color presentes en el guacamole fresco.

Tabla 1. Resultados iniciales de β - caroteno y color en el guacamole fresco.

Muestra	β -caroteno (mg/L)	Parámetros de Color			
		Autor	Rangel, 2004*	Vildósola, 2008**	
Guacamole Fresco	1.59	L	51,69	28,27	53,54
		a	-6,059	- 4.02	1,24
		b	29,02	7.79	40,38
		Guacamole*	Puré de aguacate**		

Fuente: Autor.

La cantidad de β - caroteno que se encuentra en el aguacate es pequeña, se reporta de 48 a 81 $\mu\text{g}/100$ g de pulpa de aguacate Hass, (Lu *et al.*, 2005). Comparando estos resultados con los obtenidos que fue de 1.59 mg/L lo equivalente a 0.00159 $\mu\text{g}/0.067$ g de guacamole fresco. Por otra parte según la USDA el Aguacate Tiene 146 UI de Vitamina A por cada 100 gramos de aguacate, esto en relación al resultado obtenido corresponde a 0.73 UI de provitamina A, ya que estructuralmente, la

vitamina A (retinol) equivale a la mitad de la molécula de β - caroteno con la adición de una molécula de agua al final de la cadena poliénica. Así, el β -caroteno es una potente provitamina A y se le asigna el 100% de actividad, (Rodríguez-Amaya, 2001).

□ Parámetros del color

L: Respecto a los parámetros de color del guacamole fresco, se observa en la tabla 4 que en cuanto a la luminosidad los resultados estuvieron muy cercanos a los reportados por Hernández (1999), pero difieren de los publicados por Rangel en el 2004 aun cuando la variedad y estado de madurez fue el mismo.

a* En la tabla 1 se puede deducir que los valores obtenidos en cuanto a el tono representado en el espacio cromaticial a* para el guacamole fresco, cuyo resultado fue de -6.059 caracterizado por la tonalidad verde de la muestra se acerca al reportado por Rangel (2004) que fue de -4.02 y se aleja de los obtenidos por Vildosola (2008) que fue de 1,24.

b* : De acuerdo a la tabla anterior se observa que hay diferencias significativas en el croma representado *b para el guacamole fresco, en los resultados obtenidos en comparación a los obtenidos por los autores Rangel (2004) y Vildosola

(2008), los cuales fueron de 29.02, 7.79 y 40.38 respetivamente.

2. Cuantificación de los cambios producidos en el β -caroteno presente en el guacamole después del proceso de liofilización.

En la tabla 2. Se muestran los resultados del análisis estadístico preliminar que fue determinar el porcentaje de pérdida con respecto a la media de las muestras antes (guacamole fresco) y después del proceso de deshidratación.

Tabla 2. Pérdida de β -caroteno, después de la liofilización. Sustancia Guacamole Fresco (mg/L) Guacamole Liofilizado (mg/L)

Sustancia	Guacamole Fresco (mg/L)	Guacamole Liofilizado (mg/L)	Pérdida (%) Con respecto a la media
β -caroteno	1.771	0.2014	22 %
	1.600	0.3720	
	1.395	0.4744	
Media (\bar{x})	1.59	0.35	

En la tabla anterior se observa que el 78 % de β -caroteno se conserva en la muestra de guacamole después del proceso de liofilización lo que indica que este método no incide de manera significativa sobre el precursor de la provitamina A, esto comparado con los resultados obtenidos por Yanza, 2013 quien analizó el efecto de la liofilización en la conservación de β -

carotenos y α -tocoferoles en tomate de árbol el cual obtuvo un porcentaje de pérdida de 41.08 %, lo que indica que el porcentaje de pérdida obtenido fue menor, a pesar de la inestabilidad del β -caroteno a factores externos. La principal causa de las pérdidas de carotenoides es la oxidación, depende del oxígeno disponible, los carotenoides involucrados y su condición física. La luz, calor, metales, enzimas y peróxidos estimulan la oxidación que es inhibida por los antioxidantes tales como tocoferoles (vitamina E) y ácido ascórbico (vitamina C). (Méndez, 2010; Luterotti, 2006; Kim Ok, *et al.*, 2000). De acuerdo a lo anterior, es factible, que el menor porcentaje de pérdidas de β -caroteno en el guacamole comparado con el tomate de árbol sea por el ácido ascórbico aportado por las gotas de limón adicionadas al mismo.

- **Parámetro de color**

La disminución de los valores de luminosidad de las frutas es un indicador del oscurecimiento que sufren durante su almacenamiento (Pérez A., 2012).

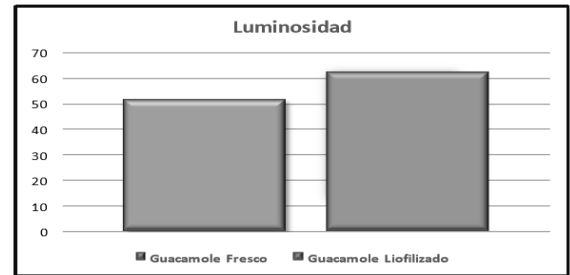


Figura 6. Resultado de la luminosidad L del color para el guacamole fresco y liofilizado.
Fuente: Autor.

En la figura 6, se muestra los resultados obtenidos de este parámetro en el guacamole liofilizado, dando un promedio de 62.75; comparado con la muestra de guacamole fresco que fue de 51.59, lo que indica que existe un aumento significativo. El incremento en la luminosidad se puede atribuir a la adición del limón en el guacamole ya que este le aporta un alto contenido de antioxidantes y tiene un efecto alcalinizante, lo que indicaría el aumento en el pH del guacamole ayudando a contrarrestar la acción de los radicales libres que ocasionan la degradación de los carotenoides responsables de la coloración en el guacamole.

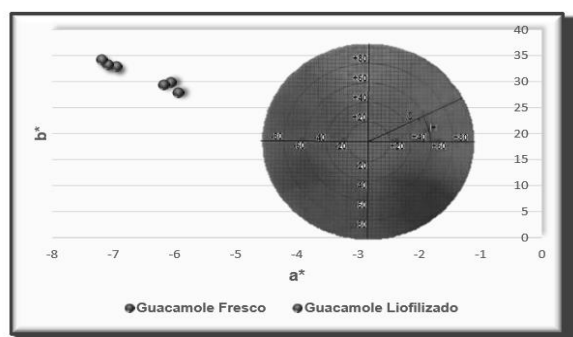


Figura 7. Resultado de los tonos presentados en el espacio cromático a^* y b^* para el guacamole fresco y liofilizado. Fuente: Autor.

En la Figura 7 se muestra que los resultados obtenidos sobre la variable cromática y ángulo de tono del color (a^* y b^*) de las muestras de guacamole fresco y liofilizado se encuentran un poco dispersos, pero en el mismo cuadrante coloración, considerándose su tendencia a una coloración verde-amarilla, este comportamiento debe a que la clorofila es una molécula que puede sufrir distintos tipos de alteraciones. La más frecuente, y la más perjudicial para el color de los alimentos vegetales que la contienen, es la pérdida del átomo de magnesio, formando la llamada feofitina, de un color verde oliva con tonos marrones, en lugar del verde brillante de la clorofila. Esta pérdida del magnesio se produce por sustitución por dos iones H^+ . La pérdida es irreversible en medio acuoso, por lo que el cambio de color de los vegetales verdes es un fenómeno

habitual en procesos de cocinado, enlatado, etc. (Calvo, 2008; Granados, *et al.*, 2016; García, *et al.*, 2016).

En la tabla 3 se muestra los resultados estadísticos de la prueba de evaluación de color y contenido de β -caroteno en guacamole fresco y liofilizado.

Tabla 3. Resultados estadísticos del color y β -caroteno en guacamole fresco y liofilizado.

Muestra	β -caroteno (mg/L)	Color		
		L	a	B
Guacamole Fresco	1,58867±0,188256	51,69000±1,379819	-6,05900±0,118503	29,02000±1,035229
Guacamole Liofilizado	0,34927±0,137912	62,75333±1,446041	-7,07667±0,120554	33,45667±0,676782
P-valor	0,001	0,001	0,000	0,003

$n=3$ p -valor $\leq 0,05$ existen diferencias significativas al 95 % de significancia. Fuente: Autor.

En la tabla 3 se evidencia que existe diferencias estadísticas significativas con un nivel de significancia del 95 %, comparando la muestra de guacamole liofilizado con la fresca, se observa un aumento considerable en los parámetros del color, mayor intensidad en la luminosidad, caso contrario sucede frente a la cantidad de β -caroteno donde la muestra de guacamole liofilizado presenta una disminución, lo que determina que existe un efecto significativo del método y tiempo de liofilización.

CONCLUSIONES

Las pérdidas de provitamina A son menores en guacamole liofilizado que en guacamole fresco.

La luminosidad del guacamole liofilizado se vio incrementado con respecto al guacamole fresco lo cual es beneficioso para las características sensoriales del producto final.

La liofilización como método de conservación del guacamole, es recomendable para conservar las características propias del producto, retiene alto porcentaje de beta-carotenos en un 78 %, incrementa la luminosidad (no pardeamiento) en un 121 % y la pureza del color (mayor viveza), conserva el tono característico del guacamole.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Almanza H., Kevin, Navarro U. Miguel, Ruiz C. Javier. (2019). Extracción de colorante en polvo a partir de la semilla de aguacate en variedades Hass y Fuerte. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 17 N° 1. Pp: 5 – 14.

Bareno, N. (2014). Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural. Obtenido de https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basicpage/files/cadena_de_aguacate.pdf Colombia.

Betancourt R. César A. Colombia, (2014). Colombia quiere abarcar el mercado del aguacate, disponible en la página: http://www.elmundo.com/portal/noticias/economia/colombia_quiere_abarcar_el_mercado_del_aguacate.php#.VmCxy0bW6eM.

Bolaños Ch., Cristian F., Caicedo M., Catalina, Portilla B., Sonia A. (2015). Análisis de las variables para la Exportación de Aguacate Hass desde Colombia a la unión Europea (España, Holanda, Francia Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium –Unicatólica, Cali, Colombia.

Bolaños, C. Cristian. (s.f.). Europa, E. C., & Gaonzales, A. (2017). <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Exportacionesaguacate-triunfan-enEuropa.aspx>. Obtenido de MinAgricultura.

Brennan J., (2012). A. Grandison. Food Processing Handbook. Second edition,.

Calvo, M. (2008). Bioquímica de los alimentos. Clorofila. Disponible en

<http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/pigmentos/clorofila.html>. Leído el 02 de mayo de 2018.

Çinar, I. (2004). Carotenoid pigment loss of freeze-dried plant samples under different storage conditions. *L.W.T.* vol.37. p. 363–367.

Dauguet, D. (2000). The beta-sitosterol reported to reduce the uptake of both testosterone and DHT. *Lipid Technology*, 12, 77-80.

Díaz Paz, Carlos J. (2019). Implementación de un plan de manejo ambiental al sistema de producción de aguacate Hass en la finca Jireh, vereda La Claridad, municipio de Popayán. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, y del Medio Ambiente Pregrado en Ingeniería Ambiental.

Dorantes, L., Parada, L., y Ortiz, A. (2003). Avocado. En Mejía, D. y Parrucci, E. *Post-Harvest Operation* (pág. 27 p). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compensium_-_Avocado.pdf.

Exportación del aguacate Hass en Colombia. Disponible en la página:

<https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Exportaciones-aguacatetriunfan-en-Europa.aspx> 07/07/2015

Forero, F., García, J. y Cárdenas, J. (2007). Situación y avances en la postcosecha y procesamiento del aguacate (*Persea americana* Mill.) EN: *Revista colombiana de ciencias hortícolas*. Vol. 1 n° 2, p. 189 – 200.

García B., Yulieth P., Caballero P. Luz A. y Maldonado O. Yohanna. (2016). Evaluación del color en el tostado de Haba (*Vicia faba*). *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 14, N° 2, p. 53 -66.

Grajales, L., Cardona, W. y Orrego, C., (2005). Liofilización de carambola (*averrhoa carambola* L.) osmodeshidratada. *Ingeniería y competitividad*, 7(2), pp.19-26.

Granados, C. C., Torrenegra, M. A. (2016). Elaboración de una mermelada a partir del peciolo de ruibarbo (*Rheum rhabarbarum*). *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 14 N° 2. Pp: 32 – 40.

Kim Ok, Murakami A, Nakamuray, Takeda N, Yoshizumi H, And Ohigashi H. (2000). Novel Nitric Oxide and Superoxide Generation Inhibitors, Persenone A and B,

- from Avocado Fruit EN: J. Agric. Food chem. April Vol. 48, n° 5, p. 1557 - 1563.
- Luterotti, S., Bicanic, D., Požgaj, R. (2006). New simple spectrophotometric assay of total carotenes in margarines. *Analytica Chimica Acta*. vol. 573-574. p. 466-473.
- Mathias- Rettig., K, y Ah - Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. Universidad Nacional de Chile. *Revista Agro Sur* 42 (2): X-X.
- Mejía A. (2011). Cadena productiva del aguacate. Memorias seminario internacional de actualización tecnológica "el cultivo del aguacate".
- Mejía, A. (2015). Consejo Nacional del aguacate. Obtenido de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/004%20-%20Documentos%20Competitividad%20Cadena/004%20-%20D.C.%20-%20Estado%20del%20Arte%20Cadena%20Aguacate.pdf>
- Méndez M. Guadalupe, México, (2010). Trabajo de grado (Estudio del efecto del campo eléctrico sobre las vitaminas C, E y A del aguacate). Instituto Politécnico Nacional. Centro De Investigación En Biotecnología Aplicada.
- Noor, A. I., Mokhtar, M. H., Rafiqul, Z. K., & Pramod, K. M. (2012). Understanding Color Models : A Review. *ARPN Journal of Science and Technology*, 2(3), 265–275
- Olives Barba, A.I., Cámara M., Sánchez M.C., Fernández-Ruiz, V., M. López, M. (2006). Application of a UV–vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and b-carotene in vegetables. *Food Chemistry*, vol. 95. p. 328–336.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. (2009). Panorámica de la seguridad alimentaria y nutricional en américa latina y del caribe. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Consultado en línea: <http://www.fao.org/3/a-as580s.pdf>.
- Otero L., Martino M. (2000). Preservation of Microstructure in Peach and Mango during High-pressure-shift Freezing. *Journal of Food Science*, 65 16-22.
- Páez María M., (2010). Factibilidad para el montaje de una empresa procesadora y comercializadora de guacamole en el municipio de San Vicente de Chucuri, Santander. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. Instituto de proyección regional y educación a distancia producción agroindustrial.

Parra H. Ricardo A. (2015). Características fisicoquímicas y microbiológicas de yogur a partir de colorante de remolacha (*Beta Vulgaris L.*) encapsulado Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 13, N° 1, pp: 20 -27.

Pérez S. Antonio. (2012). Influencia del estado de desarrollo en las características físicas y químicas de frutos de granado (*punica granatum l.*) Uchcod provenientes de dos regiones de Chile. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Agronómicas Escuela de Pregrado. Chile.

Púa R., Amparo L., Barreto R., Genisberto E., González A., Jessica., Acosta V., César. (2016). Composición nutricional de las hojas del silbadero (*geoffroea spinosa jacq*) del municipio de Tubará (Atlántico). Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 14, N° 1, p. 38 -48.

Pua, R. Amparo L. y Barreto, G. R., Ariza, C. S. (2015). Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir de la cáscara de limón Tahití (*citrus x latifolia*) en dos estados de maduración. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 13, N° 2, p.p: 180 – 194.

Quiroga O. 1978. Estudio teórico experimental en secado de frutas por liofilización. Universidad de Chile.

Ramírez, J., (2011). Liofilización de alimentos. Universidad del Valle. Cali, Colombia.: Edición ReCiTeIA, V.6 n.2.

Rangel M. México, 2004. Trabajo de grado. Guacamole Liofilizado. Universidad de las Américas Puebla Escuela de Ingeniería Departamento de Ingeniería Química y Alimentos.

Reyes L. y Poveda G., (2013). Uso de ácido cítrico en la elaboración de guacamole y su incidencia en el tiempo de vida útil. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Rodas, B., Morera P. S., Castellote, A. I., López-Sabater, M. C. (2003). Rapid determination by reversed-phase high-performance liquid chromatography of Vitamins A and E in infant formulas. Journal of Chromatography A, vol. 1018. p. 197–202.

Rodríguez-Amaya A, D.B. A guide to carotenoid analysis in foods. (2001) ILSI Human Nutrition Institute.

Rodríguez-Amaya D. B. (2001). A guide to carotenoid analysis in foods. OMNI Research. United States of America.

- Sagarpa (2011) Monografía de cultivos. Aguacate. México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
- Schieber, A., Marx, M., Reinhold, C. (2002). Simultaneous determination of carotenes and tocopherols in ATBC drinks by highperformance liquid chromatography. Food Chemistry. vol.76. p. 357–362.
- Schoefs, B. (2004). Review: Determination of pigments in vegetables. Journal of Chromatography A, vol. 1054. p. 217–226.
- Tang, Y. C., y Chen B. H. (2000). Pigment change of freeze-dried carotenoid powder during storage. Food Chemistry. vol. 69. p. 11-17.
- Toor, K. R., Savage, G.P. (2006).Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. Food Chemistry. vol. 94. p. 90-97.
- Torrenegra-Alarcon, Miladys, Granados-Conde, Clemente, Leon-Mendez, Glicerio, Arrieta Pineda, Yurica, Villalobos-Lagares, Oscar y Castellar-Abello, Ernesto. (2019). Pasteurización mediante microondas una novedosa alternativa a los procesos tradicionales. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 17 N° 1. Pp: 76 - 87.
- Vildósola P. Quillota M, Undurraga P. Olaeta J., Quillota-Chile, 2008.Efecto del escaldado sobre la calidad del puré congelado de palta cv. Hass, cosechada con dos índices de madurez. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Facultad de Agronomía Área de Postcosecha e Industrialización.
- Villamizar, R Parra, MLM (2015). Uso de Nanopartículas de plata en el control de microorganismos patógenos presentes en alimentos. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 13 N° 1. Pp: 54 – 59.
- Vinson Ja, Su X, Zubik L, And Bose P. (2001) .Phenol Antioxidant Quantity and Quality in Foods: Fruits EN: J. Agric. Food chem. October Vol. 49, n° 11, p. 5315 – 5321.
- Yanza E., Maldonado L., (2013). Tesis de Maestría. Efecto del proceso de liofilización en la conservación de β -tocoferol y α - β - carotenos presentes en el tomate de árbol (Cyphomandra Betacea Cav sendt). Maestria en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Universidad de Pamplona.