

Efecto del tratamiento térmico en la retención del β -caroteno en zanahoria (*Daucus carota L*) y zapallo (*Curcubita maxima* Duchesne y Lam): implicaciones para la cocción doméstica y procesamiento industrial

Effect of thermal treatment on β -carotene retention in carrot (*Daucus carota L*) and pumpkin (*Curcubita maxima* Duchesne y Lam): implications for domestic cooking and industrial processing

Giuliana RONDÓN SARAVIA¹, Juan Andrés LOPA BOLÍVAR²

¹ Departamento Académico de Ingeniería de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.

² Departamento Académico de Química, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.

Recibido: 15/agosto/2025. Aceptado: 4/septiembre/2025.

RESUMEN

Introducción: Las frutas y verduras como la zanahoria y el zapallo son fuentes importantes de β -caroteno, compuesto con propiedades antioxidantes. Sin embargo, su contenido puede verse afectado por los tratamientos térmicos empleados.

Objetivos: Evaluar el efecto de la fritura y del secado por aire caliente sobre la retención de β -caroteno en zanahoria (*Daucus carota L.*) y zapallo (*Cucurbita maxima* Duchesne y Lam), para identificar condiciones térmicas que favorezcan su conservación.

Material y Métodos: Se caracterizaron fisicoquímicamente las materias primas, se aplicaron tratamientos de fritura (160 °C, 170 °C, 180 °C por 6, 8 y 10 minutos) y secado (60 °C, 70 °C, 80 °C por 2, 3, 4 y 5 horas), y se evaluó la retención de β -caroteno.

Resultados: En muestras de zanahoria, un aumento en la temperatura de secado a 80 °C resulta en una menor pérdida

de β -caroteno (3.549 mg/100 g) en comparación con 60 °C (2.421 mg/100 g). Se observa un patrón similar en el zapallo, con valores a 80 °C de 2.875 mg/100g frente a 60 °C (1.467 mg/100g) en los tratamientos de secado. En el proceso de fritura, se nota un ligero aumento en la retención de β -caroteno con el incremento de temperatura para zanahorias (1.7387 mg/100 g, 2.0005 mg/100 g, 2.2119 mg/100 g) y zapallo (0.9845 mg/100 g, 0.9110 mg/100 g, 0.8925 mg/100 g).

Discusión: La menor pérdida de β -caroteno a 80 °C podría deberse a la concentración de nutrientes por deshidratación y a la reducción de efectos catalíticos que lo degradan. El calor rompe barreras físicas y membranas celulares, aumentando su bioaccesibilidad. En fritura, la grasa y el ablandamiento tisular favorecen su solubilidad, pero la retención fue menor que en el secado.

Conclusiones: El secado a 80 °C conserva más β -caroteno que a 60 °C (3,549 mg/100 g en zanahoria y 2,875 mg/100 g en zapallo). La fritura retiene menos β -caroteno, aunque aumenta ligeramente a mayores temperaturas.

PALABRAS CLAVE

Carotenoides, estabilidad térmica, vegetales procesados, calidad nutricional.

Correspondencia:
Giuliana Rondón Saravia
grondons@unsa.edu.pe

ABSTRACT

Introduction: Fruits and vegetables such as carrot and pumpkin are important sources of β -carotene, a compound with antioxidant properties. However, its content can be affected by thermal processing methods.

Objectives: To evaluate the effect of frying and hot-air drying on the β -carotene content in carrot (*Daucus carota* L.) and pumpkin (*Cucurbita maxima* Duchesne and Lam), in order to identify thermal conditions that favor its preservation.

Material and Methods: The raw materials were physicochemically characterized. Frying treatments were applied at 160 °C, 170 °C, and 180 °C for 6, 8, and 10 minutes, and drying treatments at 60 °C, 70 °C, and 80 °C for 2, 3, 4, and 5 hours. The β -carotene content was then evaluated.

Results: In carrot samples, increasing the drying temperature to 80 °C resulted in lower β -carotene loss (3.549 mg/100 g) compared to 60 °C (2.421 mg/100 g). A similar pattern was observed in pumpkin, with values at 80 °C of 2.875 mg/100 g versus 1.467 mg/100 g at 60 °C. During frying, a slight increase in β -carotene retention was noted with rising temperatures in carrots (1.7387 mg/100 g, 2.0005 mg/100 g, 2.2119 mg/100 g) and pumpkin (0.9845 mg/100 g, 0.9110 mg/100 g, 0.8925 mg/100 g).

Discussion: The lower loss of β -carotene at 80 °C may be due to nutrient concentration from dehydration and the reduction of catalytic effects that degrade it. Heat breaks physical barriers and cell membranes, increasing its bioaccessibility. In frying, fat and tissue softening enhance its solubility, but retention was lower than in drying.

Conclusions: Drying at 80 °C preserves more β -carotene than at 60 °C (3,549 mg/100 g in carrot and 2,875 mg/100 g in pumpkin). Frying retains less β -carotene, although it increases slightly at higher temperatures.

KEYWORDS

Carotenoids, thermal stability, processed vegetables, nutritional quality.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha habido un creciente interés por parte de los consumidores en adoptar un estilo de vida más saludable¹, destacando la conexión entre la dieta y el bienestar. Mantener una alimentación saludable es esencial para reducir el riesgo de diversas enfermedades crónicas; sin embargo, a pesar de esta evidencia, la incidencia de enfermedades relacionadas con la dieta sigue en aumento². Las frutas y verduras son una parte fundamental de una dieta saludable, ya que proporcionan una amplia gama de micronutrientes beneficiosos para la salud³ ricas en fibra, vitaminas, minerales, flavonoides y fitoquímicos incluidos los antioxidantes, las frutas y verduras no solo deben sus colores

vivos a estos antioxidantes, sino que también ayudan a proteger al organismo del daño causado por los radicales libres⁴. Los antioxidantes vegetales tienen beneficios para la salud debido a sus propiedades antialérgicas, antibacterianas, antiinflamatorias y antimutagénicas, proporcionando un efecto protector frente al estrés oxidativo e impidiendo la producción de radicales libres⁵.

Los antioxidantes son inestables en el tracto gastrointestinal, así como durante las etapas de procesamiento y almacenamiento de los alimentos. Factores como la alta temperatura, la congelación, la humedad relativa, el pH, la luz, la presencia de oxidasas, el oxígeno y los metales contribuyen significativamente a la pérdida de estos compuestos. Entre ellos, los carotenoides, junto con las vitaminas C y E y los compuestos fenólicos incluyendo ácidos fenólicos y flavonoides, se consideran actualmente los principales antioxidantes exógenos⁵. Los carotenoides, un tipo de fitoquímico presente en muchas frutas y verduras, son los responsables del color de estos alimentos⁶. Los carotenoides, el grupo más extendido de pigmentos naturales en la naturaleza, son compuestos liposolubles altamente coloreados (rojos y amarillos), conformados por hidrocarburos (carotenos) y sus derivados oxigenados (carotenoides oxigenados o xantofilas). La estructura básica de los carotenoides está compuesta por ocho unidades isoprenoides con una serie de enlaces dobles conjugados⁷. Los carotenoides actúan como antioxidantes al desactivar radicales libres y especies de oxígeno singlete, y se asocian con diversos beneficios para la salud, incluyendo la inhibición de ciertos tipos de cáncer, la prevención de enfermedades cardiovasculares, la reducción del riesgo de formación de cataratas, la prevención de la degeneración macular y la mejora de la función del sistema inmunológico⁸. La mayoría de los carotenoides que se consumen en la dieta humana provienen de frutas y hortalizas⁹.

Las frutas y hortalizas de color amarillo-rojizo, como el melón, el camote, la zanahoria y el zapallo, son ricas en carotenoides, pigmentos naturales que les confieren su color característico. Los carotenoides más abundantes en estos alimentos son α -caroteno, β -caroteno, γ -caroteno, fitoeno y fitoflueno, los cuales pueden elevar las concentraciones de carotenoides en el plasma sanguíneo tras su ingestión¹⁰. El β -caroteno, uno de los carotenoides más estudiados, es el más activo en términos de su actividad provitamina A y se encuentra en diversos productos alimenticios de origen vegetal. En la naturaleza, el β -caroteno se presenta principalmente como all-trans- β -caroteno, la forma termodinámicamente más estable¹¹.

Las zanahorias (*Daucus carota*) desempeñan un papel significativo como cultivo alimentario a nivel mundial. Si bien no constituyen una fuente primaria de energía en la dieta humana, destacan por su elevado contenido de nutrientes, especialmente de α - y β -carotenoides, responsables de su característico color anaranjado. Estos carotenoides actúan como precursores de la vitamina A en el metabolismo humano. El

principal subproducto asociado a la zanahoria es su jugo; sin embargo, este proceso genera residuos que pueden representar hasta el 50 % de la materia prima utilizada⁸. Por ello, es necesario conocer y aplicar formas adecuadas de procesamiento culinario de esta materia prima, especialmente en hogares, establecimientos de restauración y la industria.

El zapallo pertenece a la familia *Cucurbitaceae* y se clasifica, según la textura y forma de sus tallos, en cuatro categorías principales: *Cucurbita pepo*, *Cucurbita moschata*, *Cucurbita maxima* y *Cucurbita mixta*¹². Es reconocido como un alimento saludable debido a su contenido de vitaminas y minerales esenciales¹³, así como de carotenoides, tocoferoles, ácidos fenólicos y flavonoles¹⁴. A partir de la pulpa de zapallo, rica en carotenoides, pueden elaborarse diversos productos como compotas, mermeladas, purés y jugos¹⁵.

Para mejorar la digestión y el metabolismo en el sistema digestivo humano, es fundamental procesar los alimentos antes de su consumo, principalmente mediante la aplicación de temperaturas. Sin embargo, el procesamiento también puede destruir o alterar los fitoquímicos presentes¹⁶. Los tratamientos térmicos son importantes para garantizar la inocuidad de los alimentos, pero también pueden afectar su calidad. Estos tratamientos pueden provocar cambios en el contenido de vitaminas, carotenoides, polifenoles y ácidos orgánicos, así como en el pH y el color de los alimentos⁸.

Hasta el momento, la mayoría de los estudios relacionados con la zanahoria se han centrado en analizar sus propiedades nutricionales a partir de su principal subproducto, el jugo de zanahoria. Sin embargo, son escasas las investigaciones que evalúan el efecto de los tratamientos térmicos aplicados en el ámbito culinario como la fritura y el secado por aire caliente, sobre sus propiedades fisicoquímicas y, en particular, sobre el contenido de β-caroteno. Del mismo modo, existen pocas investigaciones dirigidas a valorar el comportamiento de la pulpa de zapallo frente a estos tratamientos, a pesar de su creciente incorporación en preparaciones domésticas y en negocios gastronómicos locales como alternativa saludable y de valor agregado.

En este contexto, los objetivos del presente estudio fueron caracterizar las propiedades fisicoquímicas de las materias primas, zanahoria (*Daucus carota L.*) y zapallo (*Cucurbita maxima* Duchesne y Lam), evaluar su contenido inicial de β-caroteno, y determinar la pérdida de este compuesto bioactivo como consecuencia de la aplicación de tratamientos térmicos convencionales, como la fritura y el secado por aire caliente. Los resultados buscan generar información útil para promover prácticas de cocción más informadas en hogares, establecimientos de restauración y la industria, favoreciendo la conservación del valor nutricional de estos vegetales comúnmente utilizados en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estándar de β-caroteno (pureza del 95 %) fue adquirido de Sigma-Aldrich (Lima, Perú). La acetona de grado analítico

utilizada para la extracción fue obtenida de Thermo Scientific. Todos los solventes y reactivos empleados en esta investigación fueron de grado analítico y adquiridos en QuimLab VALLE, Arequipa, Perú.

Se pesaron 0,1 mg del estándar de β-caroteno y se disolvieron en un matraz aforado de vidrio ámbar de 10 mL con tapa, utilizando acetona como solvente. A partir de esta solución madre se prepararon diluciones en el rango de 35 a 400 μL para la construcción de la curva de calibración. La detección se realizó a una longitud de onda de 450 nm en un espectrofotómetro UV/VIS.

Las muestras frescas de zanahoria (*Daucus carota L.*) y zapallo (*Cucurbita maxima* Duchesne y Lam) fueron adquiridas en un mercado local de la ciudad de Arequipa, Perú. Posteriormente, fueron transportadas a los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Las muestras completas se mantuvieron refrigeradas a 4 °C desde su recepción en el laboratorio hasta su procesamiento, el mismo día de la adquisición. El esquema experimental se muestra en la Figura 1.

En el caso del zapallo, se realizaron cortes longitudinales de un extremo al otro, retirando la cáscara y las semillas internas. Luego, con la ayuda de una cortadora manual, se obtuvieron muestras rectangulares de aproximadamente 3×5 cm y 3 mm de espesor.

Las zanahorias seleccionadas fueron despuntadas con un cuchillo de acero inoxidable y luego cortadas en rodajas de 3 mm de espesor utilizando una cortadora manual.

Se utilizó un secador de aire caliente compuesto por una cámara de acero inoxidable con capacidad para siete bandejas, donde se colocaron las muestras. Para el secado, el equipo se ajustó a las temperaturas deseadas de 60 °C, 70 °C y 80 °C durante 2, 3, 4 y 5 horas.

La fritura se realizó en una freidora con control de temperatura que contenía aceite vegetal en un volumen suficiente para cubrir completamente cada muestra. Las temperaturas de fritura se establecieron en 160 °C, 170 °C y 180 °C durante 6, 8 y 10 minutos.

El análisis del contenido total de β-caroteno se realizó siguiendo el método descrito por Biswas *et al.*¹⁷, con algunas modificaciones. Se trituraron 5 a 8 gramos de zanahoria y zapallo, respectivamente, en un molino de especias durante 2 minutos, hasta obtener un polvo fino. Para la extracción, se pesó exactamente 1 gramo de la muestra molida en un tubo de ensayo de vidrio, se añadieron 5 mL de acetona y se mantuvo a 4 ± 1 °C durante 15 minutos, con agitación ocasional. Luego, la mezcla se centrifugó a 1370 rpm durante 10 minutos. El sobrenadante se filtró a través de papel filtro No. 42 y se recogió en un matraz aforado de vidrio ámbar de 10 mL

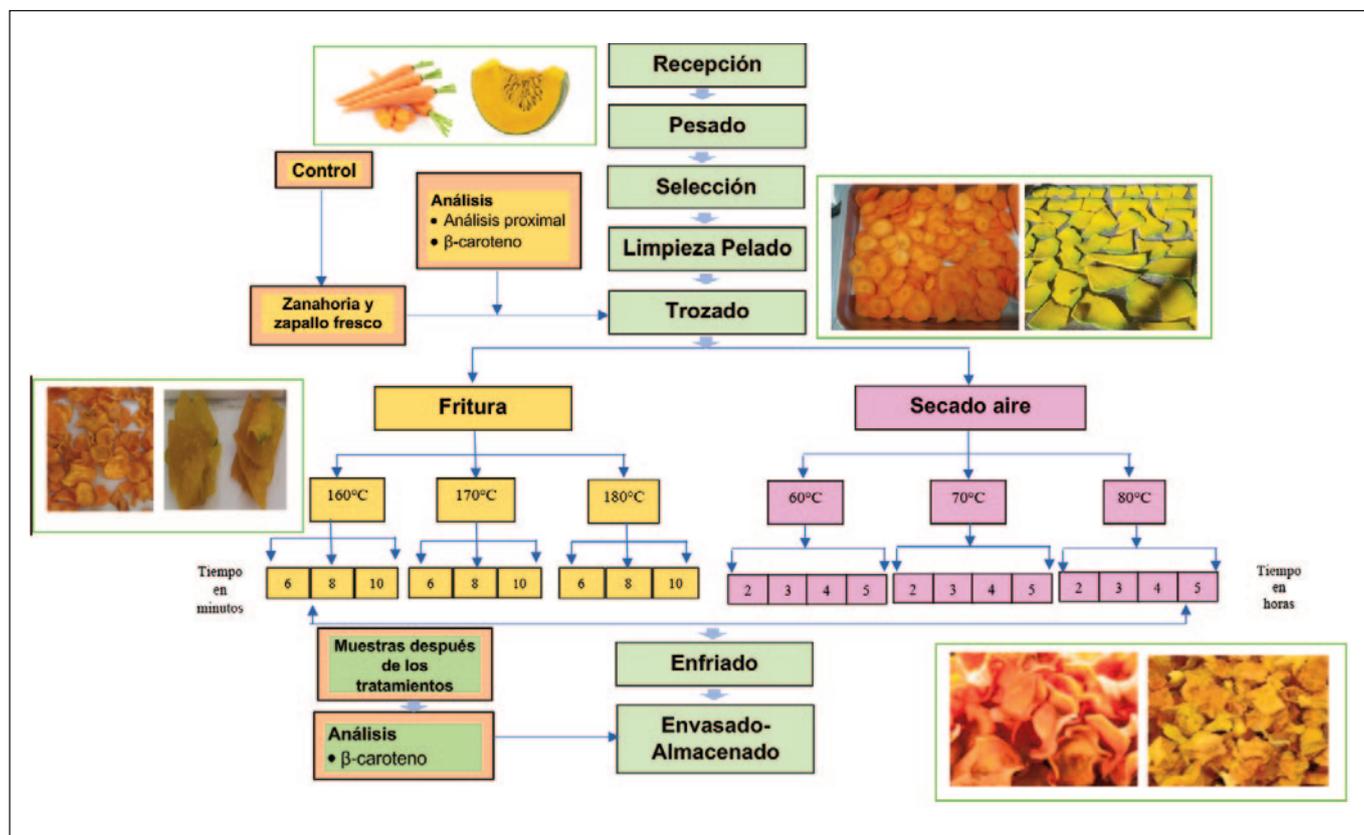


Figura 1. Esquema experimental

con tapa. Este procedimiento se repitió dos veces. La absorbancia del extracto se determinó a una longitud de onda de 450 nm en un espectrofotómetro UV/VIS.

Cada muestra correspondiente a los tratamientos de zanahoria y zapallo fue procesada por triplicado, y los resultados experimentales fueron sometidos a un análisis de varianza multifactorial (ANOVA) para determinar qué factores tuvieron un efecto estadísticamente significativo. Se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey (HSD) para identificar qué medias presentaban diferencias significativas entre sí, considerando un nivel de significancia de $P < 0,05$.

RESULTADOS

Análisis proximal de la materia prima: zanahoria y zapallo

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos del análisis proximal de las materias primas zanahoria y zapallo, en relación con el contenido de humedad en zanahoria (88,85 %) y el contenido de carbohidratos (9,10 %), los cuales coinciden con los valores reportados por Barzee *et al.*⁸, quienes señalan que las zanahorias presentan típicamente entre 86 % y 89 % de humedad y entre 6 % y 10,6 % de carbohidratos. En cuanto al contenido de fibra, cenizas, grasa y proteína, los va-

Tabla 1. Análisis proximal de zanahoria y zapallo

Análisis de	Unid.	Resultado	
		Zanahoria*	Zapallo*
Humedad	%	88.85	80.85
Cenizas	%	0.71	0.68
Grasa	%	0.13	0.24
Proteína (X 6,25)	%	0.49	0.81
Fibra	%	0.72	1.22
Carbohidratos	%	9.10	16.20
Energía	Kcal/100g	40.97	72.64

*Análisis proximal de las materias primas utilizadas en la investigación.

lores obtenidos se encuentran por debajo de los indicados por Barzee *et al.*⁸, quienes reportan rangos entre 1,2 % a 2,8 % para fibra, 1,1 % para cenizas, 0,2 % a 0,5 % para grasa, y entre 0,7 % a 0,93 % para proteína.

Según el trabajo de Kulczyński *et al.*¹⁴, que realizó un análisis comparativo del potencial antioxidante de 14 cultivares de zapallo de la especie *Cucurbita maxima*, el contenido de humedad varió desde un valor máximo de 94,85 % hasta un mínimo de 78,76 %. El contenido de humedad de nuestra muestra (80,85 %) se encuentra dentro de este rango. En el estudio realizado por Cardozo *et al.*¹⁸, se reportó un contenido de humedad en la pulpa de *C. maxima* de 92,70 %, un valor superior al obtenido en nuestra variedad (80,85 %), y valores similares en cuanto al contenido de fibra, cenizas, grasa y proteína, es decir, 2 %, 0,64 %, 0,173 % y 0,68 %, respectivamente. Cabe destacar que en nuestra variedad se observó un mayor contenido de carbohidratos (16,20 %) en comparación con el valor de 3,81 % reportado por Cardozo *et al.*¹⁸. Estas diferencias observadas, como ocurre en muchos otros alimentos de origen vegetal, indican que el contenido nutricional depende de la variedad, las condiciones climáticas en las que se cultiva, el estado de madurez y el manejo agronómico del cultivo.

Contenido de β -caroteno en zanahoria y zapallo frescos

Los resultados del contenido de β -caroteno en pulpa fresca de zanahoria y zapallo se presentan en la Tabla 2. En la pulpa de zanahoria fresca se obtuvo un valor de 7,91 mg de β -caroteno/100 g de muestra, el cual es superior al reportado por Barzee *et al.*⁸ en la composición bioquímica de zanahoria cruda, con un valor de 5,33 mg/100 g de muestra. Resultados similares han sido reportados por González-Peña *et al.*⁹, con rangos de $6,00 \pm 0,39$ a $12,52 \pm 0,49$; de 2,00 a 10,00; y de hasta 14,82 mg de β -caroteno/100 g para zanahorias frescas.

Tabla 2. Contenido de β caroteno en zanahoria y zapallo frescos

Muestra	Carotenoide (mg of β -caroteno/100 g)
Zanahoria	7.91±0.06
Zapallo	3.96±0.11

En cuanto a la pulpa de zapallo, presentó un contenido de β -caroteno de $3,96 \pm 0,11$ mg/100 g de muestra. El contenido de carotenoides en la pulpa difiere de los valores reportados por Márquez Cardoso *et al.*¹⁸, quienes informaron $4,11 \pm 1,6$ mg de β -caroteno/g (base seca), y del valor señalado por Jacobo-Valenzuela *et al.*¹⁹ para *C. moschata*, con un valor máximo de 4,79 y un mínimo de 1,32 mg de β -caroteno/g (base seca).

Estas diferencias en los contenidos de ambas matrices alimentarias están estrechamente relacionadas con factores de estrés biótico y abiótico²⁰, así como con el efecto del genotipo, factores climáticos (temperatura, luz), tipo de suelo, época de cosecha, tamaño del fruto, efectos postcosecha y de almacenamiento, y tecnologías de procesamiento⁹.

Efecto del tiempo y temperatura de secado sobre el contenido de β -caroteno en muestras de zanahoria y zapallo

El contenido de β -caroteno en las muestras de zanahoria y zapallo sometidas a secado a diferentes temperaturas y tiempos se presenta en las Tablas 3. Los valores iniciales para las

Tabla 3. Efecto del tiempo y la temperatura de secado sobre el contenido de β caroteno (mg de β caroteno/100 g) en muestras de zanahoria y zapallo

Temperatura (°C)	Tiempo de secado (H) Muestra de zanahoria			
	2	3	4	5
60	1.984±0.004 ^{CC}	2.050±0.003 ^{BB}	1.855±0.001 ^{DC}	3.797±0.003 ^{AB}
70	2.866±0.005 ^{CB}	1.699±0.002 ^{DC}	3.655±0.001 ^{BA}	3.922±0.010 ^{AA}
80	4.517±0.016 ^{AA}	3.133±0.008 ^{CA}	3.084±0.004 ^{DB}	3.463±0.005 ^{BC}
Temperatura (°C)	Tiempo de secado (H) Muestra de zapallo			
	2	3	4	5
60	1.290±0.002 ^{CC}	0.813±0.001 ^{DC}	1.858±0.001 ^{BB}	1.907±0.001 ^{AB}
70	1.904±0.004 ^{AB}	1.879±0.002 ^{BB}	1.761±0.004 ^{DC}	1.833±0.006 ^{CC}
80	3.386±0.003 ^{AA}	2.134±0.005 ^{DA}	3.165±0.008 ^{BA}	2.816±0.004 ^{CA}

Los resultados corresponden al promedio \pm desviación estándar. Las letras minúsculas en superíndice indican diferencia significativa entre columnas (prueba de Tukey, $p < 0,05$), mientras que las letras mayúsculas en superíndice indican diferencia significativa entre filas (prueba de Tukey, $p < 0,05$).

muestras frescas de zanahoria y zapallo fueron de $7,91 \pm 0,06$ y $3,96 \pm 0,11$ mg/100 g, respectivamente. Las muestras de zanahoria secadas a 60 y 70 °C presentaron sus niveles más altos de β -caroteno después de 5 horas, mientras que aquellas secadas a 80 °C mostraron una disminución del contenido con el tiempo hasta las 4 horas, tras lo cual la concentración aumentó, aunque sin alcanzar el valor inicial.

En el caso del zapallo, el comportamiento de las muestras secadas a 60 °C fue similar al observado en las zanahorias a la misma temperatura y a 70 °C. Las muestras de zapallo secadas a 70 °C y 80 °C mostraron un comportamiento similar al de las zanahorias tratadas a esas mismas temperaturas.

En las muestras de zanahoria se observó que los tiempos de secado más cortos (2 y 3 horas) a la temperatura más alta (80 °C) resultaron en los valores más altos de β -caroteno. En cambio, en el caso del zapallo, se observó que las muestras secadas a la temperatura más alta presentaron los valores más altos en todos los tiempos evaluados.

Efecto del tiempo y la temperatura de fritura sobre el contenido de β -caroteno en muestras de zanahoria y zapallo

Las Tablas 4 muestra el efecto de la combinación de temperatura (160 °C, 170 °C y 180 °C) y tiempo de fritura (6, 8 y 10 minutos) como variables de proceso sobre el contenido de β -caroteno en muestras fritas de zanahoria y zapallo. Los resultados muestran una tendencia general a la disminución del contenido de β -caroteno en comparación con el conte-

nido inicial. Las muestras de zanahoria fritas a 170 y 180 °C presentaron el mayor contenido de β -caroteno después de freír durante 8 minutos, mientras que aquellas fritas a menor temperatura (160 °C) requirieron más tiempo (10 minutos). En las muestras de zapallo, el menor tiempo de fritura (6 minutos) resultó en los valores más altos. La temperatura más baja (160 °C) produjo los valores más altos para frituras de 6 y 10 minutos, mientras que la más alta (180 °C) mostró valores menores. El promedio de β -caroteno por temperatura indica que, en general, la fritura reduce los niveles de este carotenoide en ambos vegetales, con una disminución más pronunciada en la zanahoria que en el zapallo. Esto sugiere que la respuesta del β -caroteno a la fritura puede variar entre diferentes tipos de vegetales.

DISCUSIÓN

En relación al efecto del tiempo y la temperatura de secado sobre el contenido de β -caroteno en muestras de zanahoria y zapallo, se observa una disminución general en el contenido de β -caroteno en comparación con las zanahorias frescas para las diferentes combinaciones de tiempo y temperatura de secado. De manera similar, en la investigación desarrollada por Quispe *et al.*⁵, quienes evaluaron la capacidad antioxidante del néctar de unguirahui (*Oenocarpus bataua*) durante las etapas de elaboración (selección, precocción, estandarización y producto final) complementado con un análisis fitoquímico se evidenció una reducción de la capacidad antioxidante desde la etapa de selección (4,61 mg/g) hasta el producto final (0,89 mg/g), siendo la precocción la etapa con mayor im-

Tabla 4. Efecto del tiempo y la temperatura de fritura sobre el contenido de β caroteno (mg de β caroteno/100 g) en muestras de zanahoria y zapallo

Temperatura (°C)	Tiempo de fritura (min) Muestra de zanahoria		
	6	8	10
160	0.851±0.002 ^{cc}	1.982±0.001 ^{bc}	2.384±0.006 ^{aA}
170	1.423±0.008 ^{cb}	2.920±0.012 ^{aA}	1.659±0.007 ^{bc}
180	2.046±0.007 ^{bA}	2.634±0.006 ^{aB}	1.978±0.004 ^{cb}
Temperatura (°C)	Tiempo de fritura (min) Muestra de zapallo		
	6	8	10
160	1.173±0.004 ^{aA}	0.781±0.003 ^{cb}	1.000±0.003 ^{bA}
170	1.029±0.006 ^{aC}	0.845±0.003 ^{bA}	0.858±0.004 ^{bB}
180	1.105±0.004 ^{aB}	0.743±0.004 ^{cc}	0.830±0.003 ^{bc}

Los resultados corresponden a la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas como superíndice indican diferencia significativa entre columnas (prueba de Tukey, $p < 0.05$), mientras que las letras mayúsculas como superíndice indican diferencia significativa entre filas (prueba de Tukey, $p < 0.05$).

pacto negativo. Este efecto se atribuye principalmente a la degradación de compuestos fenólicos, flavonoides y otros metabolitos secundarios de naturaleza termolábil, cuya pérdida se acentúa durante la pasteurización y el procesamiento térmico.

Sin embargo, en nuestro caso se pudo observar que, a 80 °C la reducción de β-caroteno fue menor que a 60 °C, lo que sugiere una posible relación con los cambios en el contenido de agua. Goula y Adamopoulos²¹ señalan que el agua actúa como un solvente para los nutrientes esenciales presentes en el producto, y a medida que se elimina, se incrementa la concentración de dichos compuestos. Además, indican que ciertos compuestos solubles en agua pueden desempeñar un papel catalítico en los procesos de descomposición. Sin embargo, estos efectos catalíticos disminuyen considerablemente conforme se reduce la humedad. Durante el secado, la temperatura del producto aumenta y la actividad de agua disminuye; por lo tanto, inicialmente, la tasa de degradación puede incrementarse cuando predomina el efecto de la temperatura, mientras que posteriormente puede disminuir cuando la menor actividad de agua se convierte en el factor dominante²². Otro aspecto a considerar es la bioaccesibilidad de los fitoquímicos en los alimentos. Según Schieber y Weber²³, las etapas de procesamiento como el calor o la homogeneización contribuyen significativamente a la liberación de carotenoides presentes en la matriz alimentaria. Schweiggert y Carle²³ mencionan que la biodisponibilidad de los carotenoides se ve notoriamente influenciada por las etapas de procesamiento y preparación aplicadas. En el estudio de Knockaert *et al.*²⁴, que evaluó el efecto de la homogeneización a alta presión sobre el β-caroteno en puré de zanahoria a 10, 50 y 100 MPa, se observó que el aumento de la presión de homogeneización tuvo un efecto positivo sobre la bioaccesibilidad *in vitro* del β-caroteno, y se evidenció que la cantidad de β-caroteno bioaccesible se duplicó tras la homogeneización a 100 MPa. Esta mejora en la bioaccesibilidad *in vitro* del β-caroteno después de la homogeneización a alta presión podría estar relacionada con los cambios estructurales observados en los purés de zanahoria.

En el caso de las muestras de zapallo, el análisis de los datos (Tabla 3) muestra que la concentración de β-caroteno varía según la combinación de temperatura y tiempo de secado utilizados. Se observa un rango que va desde $0,813 \pm 0,17$ mg de β-caroteno hasta $3,386 \pm 0,08$ mg de β-caroteno, correspondientes a las condiciones de 60 °C durante 2 horas y 80 °C durante 2 horas, respectivamente. El estudio realizado por Mbondo *et al.*²⁵ se centró en investigar cómo diferentes métodos de secado afectan la retención de compuestos bioactivos en berenjena africana, utilizando el método de secado al vacío a tres temperaturas diferentes (50, 60 y 70 °C) y una presión de 60 mbar. Los resultados revelaron que la mayor retención de β-caroteno (91,93 %) se observó en el secado al vacío a 70 °C, específicamente en la variedad *manyire green*, mientras que la retención más baja fue del 7,63 %, observada después

del secado en horno a 60 °C. En el trabajo de Chang *et al.*²⁶, que comparó las propiedades antioxidantes de tomates frescos, liofilizados y secados por aire caliente, se observó que el proceso de secado por aire caliente incrementó significativamente el contenido de licopeno de los tomates frescos. El proceso térmico puede romper las paredes celulares y debilitar las fuerzas de unión entre el licopeno y la matriz tisular, haciendo que el licopeno sea más accesible y, por lo tanto, aumentando su contenido durante el secado por aire caliente de los tomates²⁶. En el caso de la zanahoria y el zapallo, aunque ambas son reconocidas por su contenido de β-caroteno, la bioaccesibilidad puede diferir debido a características específicas, como la estructura de la matriz alimentaria, y no necesariamente es la misma en ambos vegetales.

En la investigación desarrollada por Veda *et al.*²⁷, que evaluó el efecto del tratamiento térmico sobre la bioaccesibilidad de β-caroteno en vegetales como la zanahoria y el zapallo, se observó que, entre los tres métodos de cocción empleados, el salteado presentó el mayor incremento en el porcentaje de bioaccesibilidad, con aumentos del 81% y 67% en zanahoria y zapallo, respectivamente. En ambas matrices alimentarias, se registró un incremento en la recuperación de β-caroteno al aumentar la temperatura de fritura de 160 °C a 180 °C, en comparación con el contenido inicial (7.910 ± 0.06 y 3.962 ± 0.11 mg β-caroteno en zanahoria y zapallo, respectivamente). Estos resultados sugieren que, aunque la fritura afecta el contenido de β-caroteno, el uso de temperaturas más altas podría favorecer una mayor recuperación relativa. Este ligero aumento probablemente se deba a la combinación de dos mecanismos: (i) el ablandamiento de las estructuras tisulares inducido por la breve exposición a altas temperaturas (180 °C), que facilitaría la extracción de carotenoides ligados a las células, y (ii) la presencia de grasa durante el tratamiento, que podría mejorar la solubilidad de los carotenoides durante el proceso térmico²⁸. Los hallazgos reportados por Cardona y López²⁹, quienes evaluaron la elaboración de compotas a base de ahuyama (*Cucurbita máxima*) y zanahoria (*Daucus carota*) procesadas mediante ultrapasteurización (UHT), aunque dicho trabajo no analizó específicamente carotenoides, las autoras señalaron que estas matrices vegetales fueron seleccionadas por ser fuentes de vitaminas y antioxidantes, lo que indirectamente sugiere la presencia de β-caroteno observaron que este tratamiento térmico no afectó negativamente las propiedades nutricionales de los productos finales. Con base en los resultados obtenidos, podría recomendarse ajustar la temperatura y el tiempo de fritura, buscando un equilibrio entre la retención de nutrientes y las características organolépticas deseadas del producto final.

Estadísticamente, es evidente que estos factores tienen un efecto significativo en los resultados del estudio, influyendo en la retención de β-caroteno respecto al contenido inicial en la muestra fresca. Las diferencias en la cantidad de β-caroteno re-

tenido en zanahoria y zapallo, bajo el mismo método de procesamiento (fritura), podrían atribuirse a la distinta susceptibilidad al tratamiento térmico como consecuencia de las características propias de la matriz vegetal que afectan la degradación del compuesto. Aunque el análisis estadístico confirma la influencia significativa de la temperatura y el tiempo de fritura en el contenido de β -caroteno, es fundamental equilibrar estos hallazgos con las preferencias organolépticas que determinan la calidad sensorial del producto.

CONCLUSIONES

La evaluación del contenido de β -caroteno después de los tratamientos de secado y fritura evidencia que la temperatura y el tipo de procesamiento influyen directamente en su retención.

En zanahoria y zapallo, el secado a 80 °C reduce de manera más eficiente la pérdida de β -caroteno (3,549 mg/100 g; 2,875 mg/100 g respectivamente) respecto a 60 °C (2,421 mg/100 g; 1,467 mg/100 g respectivamente), sugiriendo que temperaturas moderadamente elevadas favorecen su conservación.

En el proceso de fritura, se observa un ligero aumento en la retención de β -caroteno conforme aumenta la temperatura (1,7387 mg/100 g, 2,0005 mg/100 g y 2,2119 mg/100 g para zanahoria frita; y 0,9845 mg/100 g, 0,9110 mg/100 g y 0,8925 mg/100 g para el zapallo frito), aunque en niveles menores que los observados en el secado.

Por lo tanto, conocer estos parámetros de proceso resulta fundamental en el ámbito doméstico, la restauración y la industria, donde la zanahoria y el zapallo son ampliamente utilizadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa por el apoyo financiero brindado para esta investigación bajo el Contrato de Subvención N°04-2019-UNSA.

BIBLIOGRAFÍA

- Ballco P, Gracia A. Tackling nutritional and health claims to disentangle their effects on consumer food choices and behaviour: A systematic review. *Food Quality and Preference*. 2022; 101: 104634 <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104634>
- Saba A, Sinesio F, Moneta E, Dinnella C, Laureati M, Torri L, et al. Measuring consumers attitudes towards health and taste and their association with food-related life-styles and preferences. *Food Quality and Preference*. 2019; 73:25-37. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.11.017>
- Appleton KM, Dinnella C, Spinelli S, Morizet D, Saulais L, Hemingway A, et al. Consumption of a High Quantity and a Wide Variety of Vegetables Are Predicted by Different Food Choice Motives in Older Adults from France, Italy and the UK. *Nutrients*. 2017;9(9):E923. <https://doi.org/10.3390/nu9090923>
- Pem D, Jeewon R. Fruit and Vegetable Intake: Benefits and Progress of Nutrition Education Interventions- Narrative Review Article. *Iran J Public Health*. 2015;44(10):1309-21. PMC46444575
- Quispe-Herrera R, Belizario-Ferrel JC, Quispe-Solís JC, Quispe-Solís H, Paredes-Valverde Y, Cahuana-Mamani P, et al. Capacidad antioxidante del néctar de unguirahuí (*Oenocarpus bataua*). *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*. 2022; 42(01). <https://revista.nutricion.org/index.php/ncdh/article/view/209>
- Tanumihardjo SA. Carotenoids: Health Effects. En: Caballero B, editor. *Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition)*. Waltham: Academic Press. 2013. p. 292-7. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375083-9.00045-3>
- Murray MT, Capelli B. 57 - Beta-Carotene and Other Carotenoids. En: Pizzorno JE, Murray MT, editores. *Textbook of Natural Medicine (Fifth Edition)*. St. Louis (MO): Churchill Livingstone; 2020 [citado 25 de mayo de 2022]. p. 443-450.e2. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-43044-9.00057-1>
- Barzee TJ, El-Mashad HM, Zhang R, Pan Z. Chapter 12 - Carrots. En: Pan Z, Zhang R, Zicari S, editores. *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products [Internet]*. Academic Press; 2019 [citado 18 de febrero de 2022]. p. 297-330. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00012-5>
- González-Peña MA, Lozada-Ramírez JD, Ortega-Regules AE. Carotenoids from mamey (*Pouteria sapota*) and carrot (*Daucus carota*) increase the oxidative stress resistance of *Caenorhabditis elegans*. *Biochemistry and Biophysics Reports*. 2021; 26:100989. <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2021.100989>
- Lerfall J. Carotenoids: Occurrence, Properties and Determination. En: Caballero B, Finglas PM, Toldrá F, editores. *Encyclopedia of Food and Health*. Oxford: Academic Press; 2016; p. 663-9. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00119-7>
- Knockaert G, Pulissery SK, Lemmens L, Van Buggenhout S, Hendrickx M, Van Loey A. Isomerisation of carrot β -carotene in presence of oil during thermal and combined thermal/high pressure processing. *Food Chemistry*. 2013;138(2):1515-20. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.080>
- Xanthopoulou MN, Nomikos T, Fragopoulou E, Antonopoulou S. Antioxidant and lipoxygenase inhibitory activities of pumpkin seed extracts. *Food Research International*. 2009; 42(5):641-6. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.003>
- Hussain A, Kausar T, Sehar S, Sarwar A, Ashraf AH, Jamil MA, et al. A Comprehensive review of functional ingredients, especially bioactive compounds present in pumpkin peel, flesh and seeds, and their health benefits. *Food Chemistry Advances*. 2022; 1:100067. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100067>
- Kulczyński B, Gramza-Michałowska A, Królczyk JB. Optimization of Extraction Conditions for the Antioxidant Potential of Different Pumpkin Varieties (*Cucurbita maxima*). *Sustainability*. 2020; 12(4):1305. <https://doi.org/10.3390/su12041305>
- Paris HS, DAUNAY MC, PITRAT M, JANICK J. First Known Image of *Cucurbita* in Europe, 1503–1508. *Annals of Botany*. 2006; 98(1):41-7. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl082>

16. Nayak B, Liu RH, Tang J. Effect of Processing on Phenolic Antioxidants of Fruits, Vegetables, and Grains—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015; 55(7):887-918. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.654142>
17. Biswas AK, Sahoo J, Chatli MK. A simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of β -carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets. *LWT - Food Science and Technology*. 2011; 44(8):1809-13. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.017>
18. Márquez Cardozo CJ, Molina Hernández D, Caballero Gutiérrez BL, Ciro Velásquez HJ, Restrepo Molina DA, Correa Londoño G, et al. Physical, physiological, physicochemical and nutritional characterization of pumpkin (*Cucurbita maxima*) in postharvest stage cultivated in Antioquia-Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 2021; 74(3):9735-44. <http://doi.org/10.15446/rfnam.v74n3.90820>
19. Jacobo-Valenzuela N, Zazueta-Morales J de J, Gallegos-Infante JA, Aguilar-Gutierrez F, Camacho-Hernandez IL, Rocha-Guzman NE, et al. Chemical and Physicochemical Characterization of Winter Squash (*Cucurbita moschata* D.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2011; 39(1):34-40. <http://doi.org/10.15835/nbha3915848>
20. Karabacak C, Karabacak H. FACTORS AFFECTING CAROTENOID AMOUNT IN CARROTS (*Daucus Carota*). *E-journal of New World Sciences Academy*. 2019; 14:29-39. DOI:10.12739/NWSA.2019.14.2.5A0113
21. Goula AM, Adamopoulos KG. Kinetic Models of β -Carotene Degradation During Air Drying of Carrots. *Drying Technology*. 2010; 28(6):752-61. <http://doi.org/10.1080/07373937.2010.482690>
22. Eim VS, Urrea D, Rosselló C, García-Pérez JV, Femenia A, Simal S. Optimization of the Drying Process of Carrot (*Daucus carota* v. Nantes) on the Basis of Quality Criteria. *Drying Technology*. 2013; 31(8):951-62. <http://doi.org/10.1080/07373937.2012.707162>
23. Schieber A, Weber F. 5 - Carotenoids. En: Carle R, Schweiggert RM, editores. *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages* [Internet]. Woodhead Publishing; 2016; p. 101-23. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00005-1>
24. Knockaert G, Lemmens L, Van Buggenhout S, Hendrickx M, Van Loey A. Changes in β -carotene bioaccessibility and concentration during processing of carrot puree. *Food Chemistry*. 2012; 133(1):60-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.066>
25. Mbondo NN, Owino WO, Ambuko J, Sila DN. Effect of drying methods on the retention of bioactive compounds in African eggplant. *Food Sci Nutr*. 2018; 6(4):814-23. doi: 10.1002/fsn3.623
26. Chang CH, Lin HY, Chang CY, Liu YC. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering*. 2006; 77(3):478-85. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.061>
27. Veda S, Platel K, Srinivasan K. Enhanced bioaccessibility of β -carotene from yellow-orange vegetables and green leafy vegetables by domestic heat processing. *International Journal of Food Science & Technology*. 2010; 45(10):2201-7. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02385.x>
28. Schmiedeskamp A, Schreiner M, Baldermann S. Impact of Cultivar Selection and Thermal Processing by Air Drying, Air Frying, and Deep Frying on the Carotenoid Content and Stability and Antioxidant Capacity in Carrots (*Daucus carota* L.). *J Agric Food Chem*. 2022; 70(5):1629-39. <http://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c05718>
29. Cardona M, López B. Desarrollo de una compota autóctona e inocua para lactante de 6 a 12 meses utilizando como método de higienización la Ultrapasteurización. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*. 2020; 40(2):25-31. <https://doi.org/10.12873/402cardona>