



Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura

Práctica Optativa

Evaluación del color, pigmentos, Vitamina C y análisis sensorial de cladodios de *Opuntia* cocidos

Alumna: Paola Mariel Cáceres

Directora: Dra. Adriana María Arias Gorman

Carrera: Bioquímica

2024



Índice

1. Introducción	3
2. Materiales y Métodos	8
Material Vegetal	8
Condiciones de cocción	8
Medición de color superficial	11
Extracción y cuantificación espectrofotométrica de pigmentos	11
Determinación de Ácido Ascórbico (AA)	13
Análisis Sensorial	15
3. Resultados y discusión	16
Color superficial	16
Cuantificación de Clorofila	18
Cuantificación de pigmentos carotenoides	20
Determinación de Ácido Ascórbico	22
Análisis sensorial	23
4. Conclusión	24
5. Referencias	25

1. Introducción

La *Opuntia* pertenece a la familia de las angiospermas dicotiledóneas *Cactaceae*, de la que se conocen alrededor de 1500 especies. Es originaria del continente americano y se encuentra distribuida desde Canadá hasta Argentina, especialmente en zonas áridas y semiáridas (Guzmán Loayza y Chávez, 2007).

La especie de cactácea de mayor importancia económica en el mundo es *Opuntia ficus-indica* (Fig. 1), conocida comúnmente como "tuna", "nopal" o "chumbera". Es una planta arbustiva o arbórea, perenne, de crecimiento lento, que puede alcanzar entre 3 y 5 metros de altura. Los cladodios (tallos del nopal), también conocidos como palas o pencas, son oblongos (hasta 70-80 cm de longitud), con aréolas separadas entre 2 y 5 cm. Son de color verde opaco, ligeramente grisáceo, y las espinas son blancuzcas, generalmente ausentes o con hasta 2 por aréola. En el centro de la penca se encuentra una red bilateral de tejido celulósico que, con el tiempo, se endurece, otorgando una constitución rígida. La forma y el grosor de las pencas es variable (Guzmán Loayza y Chávez, 2007; Kiesling et al., 2012)



Figura 1. *Opuntia ficus indica* f. *ficus-indica*. Tomado de Kiesling et al., 2012.

Gracias a las características morfológicas y fisiológicas que posee, puede soportar desde condiciones de escasa precipitación hasta temperaturas extremas, altas o bajas. Su considerable capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales le permite ser plantada en varios sistemas ecológicos, sin requerir mayores cuidados en su cultivo (Guzmán Loayza y Chávez, 2007).

La *Opuntia* es una fuente interesante de compuestos bioactivos con beneficios nutricionales, que se clasifican en compuestos fenólicos, no fenólicos y pigmentos. Estos compuestos poseen propiedades antioxidantes que han generado un creciente interés en diversas industrias, como la alimentaria, para la producción de nutraceuticos, así como en la elaboración



de jugos, bebidas alcohólicas, mermeladas y edulcorantes líquidos naturales. Además, el nopal se utiliza en la producción de agroquímicos, cosméticos y en el tratamiento de aguas residuales (Aruwa et al., 2018). Estudios han demostrado que los cladodios de nopal, ricos en fenoles, vitamina C y carotenoides, tienen propiedades nutraceuticas que pueden ayudar en la prevención y tratamiento de enfermedades como diabetes, hipercolesterolemia, obesidad e hipertensión. Además, su adaptabilidad ecológica lo convierte en un alimento accesible, sostenible y sabroso (Hernández- Castillo et al., 2016; Hernández-Becerra et al., 2022).

El creciente interés por alimentos naturales, nutritivos y beneficiosos para la salud ha fomentado la inclusión de alimentos funcionales como *Opuntia* en la dieta, ya que ofrece ventajas sin efectos adversos, lo que ha llevado a considerarla una alternativa viable para el consumo humano (Guzmán Loayza y Chávez, 2007). Dos formas usuales de consumir el cladodio de nopal son asado y frito. No obstante, estos tratamientos térmicos generan cambios en la matriz del alimento que pueden influir en la concentración de compuestos bioactivos como carotenoides, vitamina C y fenoles totales, así como en su actividad antioxidante. Además, las reacciones de Maillard y de caramelización contribuyen al desarrollo de tonalidades características que modifican el color, un atributo sensorial clave en la decisión de compra del consumidor. Aunque el uso de altas temperaturas durante estos procesos reduce el riesgo microbiológico y disminuye la actividad enzimática, también pueden impactar en la calidad del producto (Badui Dergal, 1990; Hernández-Castillo et al., 2016).

El color es una propiedad de la materia directamente relacionada con la interacción de la luz y el espectro visible, lo que permite medirlo físicamente en términos de energía radiante, intensidad y longitud de onda. Sin embargo, la percepción del color por el ojo humano es altamente sensible a las diferencias, ya que corresponde a una interpretación subjetiva. Por esta razón, se emplean instrumentos precisos que combinan electrónica y óptica, como los colorímetros, para obtener mediciones objetivas y numéricas del color (Arteaga Dalgo et al., 2014). Un medidor de colorimetría, o colorímetro, es un instrumento portátil diseñado para evaluar con precisión el color de objetos y alimentos, identificando sus características cromáticas y determinando diferencias entre ellos mediante fórmulas estándar o personalizadas. El color de un alimento debe describirse en base a atributos de color: luminosidad, tonalidad y pureza de color. Para expresar objetivamente el color, se emplea el sistema de espacios de color definido por la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), que permite una descripción uniforme y reproducible del color en términos numéricos. Entre los espacios de color propuestos, el modelo CIE Lab (Fig. 2) es uno de los más ampliamente usados, ya que refleja de manera consistente la

percepción visual humana. Este sistema se basa en la teoría del color oponente, que establece que ciertos colores no pueden percibirse simultáneamente, como rojo y verde o amarillo y azul. Consiste en un sistema tridimensional que consta de tres componentes, donde L^* representa la luminosidad, con valores de 0 (negro) a 100 (blanco), y a^* y b^* son las coordenadas cromáticas, a^* indica la transición entre rojo (positivo) y verde (negativo), y b^* entre amarillo (positivo) y azul (negativo) (Konica Minolta Sensing Americas, Inc., 2006–2023; Jaico Varas, 2024; Talens Oliag, 2017).

En este modelo, la media de las diferencias de colores, denominada ΔE^* , representa la distancia entre dos puntos dentro del espacio de color $L^*a^*b^*$. Cuanto mayor es el valor de ΔE^* , indica un cambio más pronunciado en el color. Otros atributos psicofísicos del color incluyen: Chroma (C^*) que indica la intensidad o saturación del color, los colores saturados son intensos, vívidos o fuertes, mientras que los colores menos saturados son pálidos o están más diluidos en blanco; y el ángulo Hue (h°) representa el tono, matiz o longitud de onda dominante, permite diferenciar un color de otro (rojo, verde, azul, violeta, etc.), cada color está asociado a una longitud de onda específica (Konica Minolta Sensing, Inc., 2007; Jaico Varas, 2024).

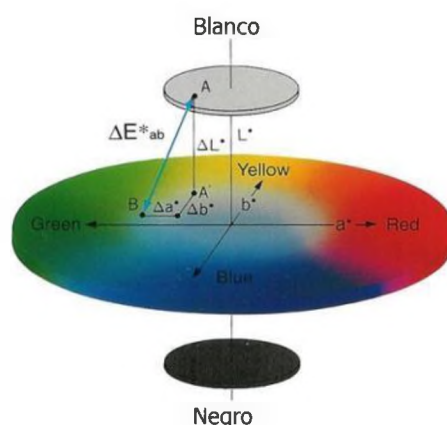


Figura 2. Espacio de color CIE Lab, sistema cartesiano formado por 3 ejes, un eje vertical (L^*) y dos ejes horizontales (a^* y b^*), y estimación de la diferencia de color global ΔE^* Tomado de Talens Oliag, 2017.

El análisis de los pigmentos fotosintéticos, como la clorofila y los carotenos en la *Opuntia*, es importante debido a sus propiedades antioxidantes y su contribución al mantenimiento de la salud. Los carotenos, como el β -caroteno, tienen la capacidad de convertirse en vitamina A en el organismo, fundamental por su participación en funciones biológicas como la visión, el sistema inmunológico y la diferenciación celular. Además, actúan como antioxidantes, protegiendo las



células del daño causado por los radicales libres. Por otro lado, la clorofila, presente en la mayoría de las plantas, participa en la fotosíntesis, un proceso clave para la vida en el planeta. Aunque su función principal es la producción de energía en las plantas, investigaciones recientes sugieren que los productos ricos en clorofila pueden aportar beneficios adicionales para la salud, como propiedades antioxidantes y desintoxicantes (Badui Dergal, 1990; Martins et al., 2023). Para cuantificar los pigmentos fotosintéticos, se emplea el método espectrofotométrico, una técnica precisa, económica y fácil de aplicar. Este método permite medir la cantidad de luz absorbida por una sustancia disuelta en solución. Según la ley de Beer-Lambert, la cantidad de luz absorbida es directamente proporcional a la concentración de la sustancia en la muestra (Gral y Pasotti, 2006). Cada pigmento posee una longitud de onda característica en la que absorbe energía radiante: los carotenoides absorben principalmente alrededor de 450 nm, mientras que las clorofilas absorben en longitudes de onda cercanas a 645 y 662 nm (Davies, Matthews y Kirk, 1969; Lichtenthaler, 1987).

La vitamina C o ácido L-ascórbico (AA), es un importante antioxidante hidrosoluble intracelular por su gran capacidad para donar electrones. Su deficiencia se conoce como escorbuto y se asocia a una mayor susceptibilidad a infecciones, debilidad muscular y fatiga. Es un nutriente esencial que el organismo humano no puede sintetizar, por lo que debe obtenerse a través de la dieta, es fundamental para el fortalecimiento del sistema inmunológico, la síntesis de colágeno y la protección celular contra el daño oxidativo al reducir los radicales libres generados en el metabolismo. Las principales fuentes alimenticias de vitamina C son frutas, hortalizas, jugos y alimentos fortificados. Dada su naturaleza termolábil e inestable, se descompone fácilmente por la acción de factores como la luz, el aire, la humedad y el calor, lo que lleva a pérdidas significativas durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos (Huamán Rosales, 2022).

Para la determinación precisa de la vitamina C, puede utilizarse la Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC), un método conocido por su exactitud y sensibilidad. El sistema HPLC consta de varios componentes esenciales: un reservorio de fase móvil, una bomba, un inyector y un detector. Entre los detectores más comunes se encuentra el UV-Visible (UV-VIS), ampliamente utilizado por su alta sensibilidad y rango lineal, permitiendo detectar analitos en niveles de nanogramos y operando en un rango de longitud de onda de 190 a 800 nm. Dentro de los detectores UV, se encuentran el fotométrico, que emite la mayor parte de la energía a una longitud de onda fija de 254 nm, y el espectrofotométrico, que permite trabajar en un rango más amplio del espectro, mejorando la sensibilidad de los compuestos que no absorben a 254 nm o en otras longitudes de onda con filtros específicos. Finalmente, el detector de arreglo de diodos



(DAD) ofrece la ventaja de obtener en tiempo real todo el espectro UV/Visible dentro de un rango de longitud de onda. Todos estos componentes están conectados a un módulo que integra el sistema con una computadora, donde mediante un software especializado, se analizan los datos y se genera un cromatograma (Hurtado Ulloa, 2017). La técnica de HPLC separa los componentes de una muestra inyectada en un sistema con una fase móvil polar, cuya composición se mantiene constante, conocido como sistema isocrático. La fase estacionaria apolar está contenida en una columna, generalmente formada por sílice tratada con metilclorosilano (C18H37). En esta fase, las moléculas polares eluyen antes que las apolares. El proceso de separación se basa en la "fase reversa", donde los analitos se distribuyen entre la fase estacionaria apolar y la fase móvil polar. La separación depende de la afinidad de los analitos por cada fase. Los analitos polares, como el ácido ascórbico, tienen menor afinidad por la fase estacionaria y eluyen antes que los compuestos menos polares o apolares, permitiendo su diferenciación de otros componentes de la muestra (Sacristán San Cristóbal et al., 2011; Hurtado Ulloa, 2017).

La Evaluación Sensorial, proveniente del latín "sensus" (sentido), es una disciplina científica clave para evaluar la calidad de los alimentos, comprender la percepción o valoración de los consumidores y optimizar la aceptación de los productos en el mercado. Se enfoca en analizar las propiedades sensoriales de los productos alimenticios, como color, sabor, textura, aroma y apariencia, a través de la percepción de los consumidores. El proceso implica la participación de jueces o evaluadores entrenados, quienes emiten juicios sobre los alimentos. La selección y formación rigurosa de estos jueces asegura la fiabilidad y precisión de los resultados. La percepción sensorial se activa cuando los estímulos del producto interactúan con los receptores sensoriales, enviando señales al cerebro, que las interpreta generando una respuesta consciente, influenciada por factores psicológicos. Para llevar a cabo una evaluación adecuada, es esencial contar con un laboratorio acondicionado, muestras representativas, jueces entrenados, métodos estandarizados y un análisis estadístico de los datos, lo que garantiza la validez y precisión de los resultados (Hernández Alarcón, 2005; Wittig de Penna, 2001).

El objetivo de este trabajo es analizar las propiedades bioactivas de pencas de *Opuntia* cocidas, con el fin de determinar las condiciones óptimas de cocción que permitan su inclusión efectiva en la dieta cotidiana. Este trabajo contempla la puesta a punto de diversas técnicas de cocción y su impacto en la conservación o modificación de las características beneficiosas de las pencas. Para ello, se emplearán equipos de alta precisión como el colorímetro, el espectrofotómetro y la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), a fin de conocer la manipulación de estos instrumentos y profundizar en los fundamentos analíticos que los

sustentan, y obtener datos que evidencien cómo las diferentes técnicas de cocción afectan las propiedades del alimento, centrándose en el color, los pigmentos fotosintéticos como clorofilas y carotenos, y la presencia de vitamina C.

2. Materiales y Métodos

Material Vegetal

Las pencas utilizadas en este estudio fueron recolectadas en la provincia del Chaco durante los años 2023 y 2024. Para su selección se consideraron criterios como el color, el tamaño y la ausencia de deformaciones. Tras la recolección, las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Tecnología Química y Bromatología de la FACENA, UNNE, en la ciudad de Corrientes, donde se almacenaron en condiciones de refrigeración hasta su procesamiento.

Los cladodios fueron desespinaados manualmente utilizando pinzas, asegurando la completa eliminación de las espinas. Las pencas fueron lavadas cuidadosamente con abundante agua corriente para retirar suciedad y restos de elementos extraños (Fig. 3). Luego, se cortaron en trozos uniformes y se sometieron a los diferentes métodos de cocción (Figs. 4-9).



Figura 3. Cladodio de *Opuntia*, desespinaado y limpio, preparado para el procesamiento.

Condiciones de cocción

Se llevaron a cabo diversas técnicas de cocción: hervido, microondas, asado y freído en aceite vegetal y al aire. Las muestras, previamente cortadas en trozos, fueron sometidas a los siguientes procedimientos:

- **Hervido:** Se utilizaron 100 gramos de muestra (balanza Radwag PS 2100.R1, Poland) por cada 200 mL de agua corriente. Se llevó a ebullición y mantuvo a temperatura de hervor durante 10 minutos.

Inmediatamente se enfrió por medio de baño maría inverso.

- **Microondas:** Se aplicaron tratamientos de cocción de 3 y 5 minutos a 900 W (máxima potencia) (Microondas BGH B228DB9 900W, Argentina), con y sin previo escaldado por inmersión en agua (5 minutos, 90 °C) (Figs. 6 y 7). En recipiente apto para microondas, se colocaron 50 gramos de muestra y añadieron 125 mL de agua corriente, y se cubrió el recipiente con film plástico perforado. Inmediatamente luego de la cocción, se enfrió por medio de baño maría inverso.

- **Asado:** Se aplicaron dos condiciones: con y sin previo escaldado (5 minutos, 90 °C) (Fig. 8 A). Las muestras, en porciones de 100 gramos por condición, se cocinaron en horno eléctrico (Black & Decker 1500 W, China), precalentado a 180 °C, durante un total de 10 minutos, 5 minutos de cada lado para lograr una cocción uniforme (Fig. 8 B).

- **Freído en aceite vegetal (girasol) y al aire:** Se utilizaron 100 gramos de muestra por vez. Se cocieron a 100 °C durante 10 minutos, 5 minutos por cada lado (Fig. 9).



Figura 4. *Proceso de escaldado de los cladodios de Opuntia.*

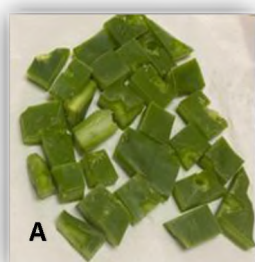


Figura 5. *Comparación de la muestra de cladodios de Opuntia sin pretratamiento (A) y con escaldado (B), ilustrando las diferencias visuales resultantes del proceso de escaldado.*



Figura 6. Cladodios de *Opuntia* antes y después del tratamiento térmico en microondas.

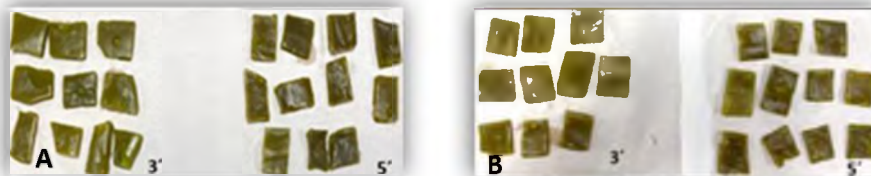


Figura 7. Cladodios de *Opuntia* cocidos por microondas: sin pretratamiento, durante 3 y 5 minutos (A) y con pretratamiento de escaldado, durante 3 y 5 minutos (B).

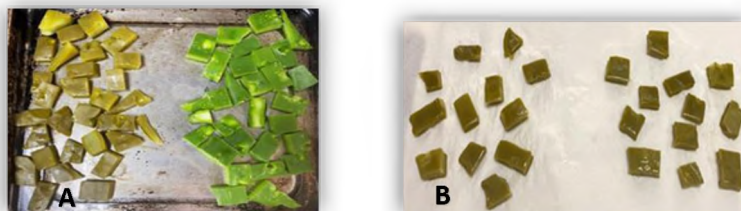


Figura 8. Cladodios de *Opuntia* con y sin pretratamiento de escaldado antes de la cocción en horno eléctrico(A) y después de la cocción en horno eléctrico(B).

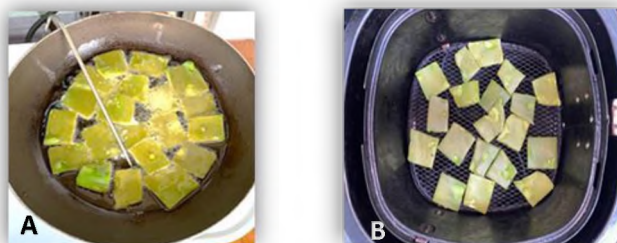


Figura 9. Cladodios de *Opuntia* cocidos por freído en aceite (A) y en freidora de aire (B).



Medición de color superficial

La medición del color superficial se llevó a cabo utilizando un colorímetro Konica Minolta CR 400 (Japón), se analizaron cladodios de *Opuntia* en estado fresco y tras la cocción, evaluando al menos 3 trozos por cada condición, con 4 mediciones por trozo, para obtener un promedio representativo de los parámetros de color. Se obtuvieron valores de L^* , a^* y b^* . Además, se determinaron los parámetros de saturación o intensidad del color Chroma (C^*) y del tono Hue (h°), a partir de los valores de a^* y b^* , utilizando las siguientes fórmulas:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{fórmula 1})$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{fórmula 2})$$

Adicionalmente, la diferencia de color (ΔE) entre la muestra fresca de los cladodios y las muestras cocidas se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (\text{fórmula 3})$$

Extracción y cuantificación espectrofotométrica de pigmentos

El contenido de los pigmentos fotosintéticos clorofilas y carotenoides en los cladodios de *Opuntia* frescos y cocidos se determinó mediante espectrofotometría, utilizando un espectrofotómetro UV-Visible a longitudes de onda específicas. El procedimiento llevado a cabo fue el siguiente:

- **Clorofila**

Para cuantificar el contenido de clorofila se utilizó el método de Arnon (1949) con ligeras modificaciones, en el cual se midió la absorbancia de la muestra a 645 y 662 nm. Para ello se pesaron 2,5 gramos de muestra, se trituro en un mortero con 25 mL de acetona al 100% (Cicarelli, Argentina). El homogeneizado obtenido se trasvasó a un vaso de precipitados donde se agitó durante 10 minutos con un agitador magnético (Thermo Scientific PMC, Malasia), en baño de hielo y protegido de la luz. A continuación, se filtró el extracto al vacío, lavando el residuo sólido con 15 mL de acetona al 100%, el residuo fue descartado y el filtrado se centrifugó en una centrífuga de mesada Presvac (Argentina) durante 10 minutos a 3500 rpm, con el propósito de eliminar cloroplastos intactos y otras partículas, posteriormente se procedió a realizar las lecturas espectrofotométricas utilizando un espectrofotómetro UV-Visible SHIMADZU UV-1800 (Tokio,

Japón). Se calculó la concentración de clorofilas a, b y total mediante las fórmulas 4, 5 y 6 respectivamente, expresando los resultados en μg de clorofila/g tejido fresco.

$$\text{Clorofila a} = 11,24 A_{661.6} - 2,04 A_{644.8} \quad (\text{fórmula 4})$$

$$\text{Clorofila b} = 20,13 A_{644.8} - 4,19 A_{661.6} \quad (\text{fórmula 5})$$

$$\text{Clorofila total} = 7,05 A_{661.6} + 18,09 A_{644.8} \quad (\text{fórmula 6})$$

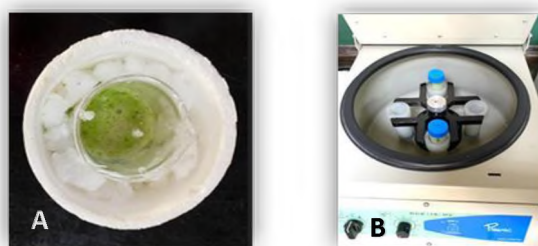


Figura 10. Preparación del extracto acetónico. A) Homogeneizado de *Opuntia* y acetona en baño de hielo. B) Muestra por duplicado antes de la centrifugación.

● Carotenos

El contenido de carotenoides se determinó por espectrofotometría a una longitud de onda de 450 nm, siguiendo el método descrito por Davies, Matthews y Kirk (1969) con ligeras modificaciones. Para ello se transfirieron 20 mL del extracto acetónico previamente preparado para la extracción de clorofila a una ampolla de decantación. Posteriormente se añadieron 20 mL de éter de petróleo 35-60 °C pro-análisis (Cicarelli, Argentina). La mezcla se agitó repetidamente para asegurar una buena interacción entre los solventes, durante este proceso se permitió la liberación de la presión generada dentro la ampolla de decantación. A continuación, se dejó la mezcla en reposo durante unos minutos para permitir la separación del extracto etéreo de la fase acetónica, esta última fue descartada, mientras que el extracto etéreo se recolectó y se registró su volumen final.

La concentración de carotenoides, expresada en microgramos de β -caroteno por gramo de tejido fresco ($\mu\text{g/g}$), se calculó utilizando la fórmula 7. Para este cálculo, se asumió un valor de absortividad molar “ ϵ ” de 2500 dL/g·cm para los carotenoides en éter, “A” representa la absorbancia medida a la longitud de onda correspondiente, “b” es la longitud del recorrido óptico (1 cm) y “C” es la concentración del pigmento absorbente.

$$A_{450} = \varepsilon \times b \times C \quad (\text{fórmula 7})$$

$$\frac{A}{2500} = C \left(\frac{g}{100mL} \right) \times 10^6 = C \left(\frac{\mu g}{100mL} \right)$$



Figura 11. Separación de la fase acetónica (inferior) y la fase etérea (superior) que contiene los carotenos.

Determinación de Ácido Ascórbico (AA)

El extracto se obtuvo mediante la técnica utilizada por Sgroppo y Pereyra (2009). Se pesaron 10 g de cladodio fresco y se trituraron con 30 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4) 0,05 M (Cicarelli, Argentina) utilizando una trituradora manual (Smartlife modelo SL-SM5010FPN, Argentina) (Fig. 12 B). La mezcla se colocó en un vaso de precipitado y agitó magnéticamente durante 15 minutos en baño de hielo. El extracto se centrifugó a 10000 rpm durante 20 min a 4 °C en centrífuga refrigerada Thermo Fisher SCIENTIFIC Sorvall ST 8R (Alemania) (Fig. 12 C), se separó el sobrenadante y filtró mediante filtros de Nylon de 0,45 μm (Agilent, EUA) previo a su inyección en el HPLC.

La fase móvil se preparó utilizando agua bidestilada, ajustada a un pH de 2,6 (pHmetro Metrohm 692, Suiza) mediante la adición de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 95-98% pro análisis (Cicarelli, Argentina), con el fin de optimizar la separación de los componentes en la columna cromatográfica. El ajuste preciso del pH es crucial para asegurar la correcta interacción entre la fase móvil y los analitos, maximizando la eficiencia en la separación. Para la limpieza del sistema cromatográfico, y evitar contaminaciones cruzadas entre las muestras, se utilizó metanol puro grado HPLC (Biopack, Argentina) como solución de lavado. El metanol fue elegido por su alta pureza, que minimiza cualquier interferencia en el análisis. Tanto la fase móvil como la solución de lavado fueron sometidas a filtración al vacío utilizando filtros de membrana de nylon de 0,45 μm (Whatman, EUA) para eliminar impurezas y partículas suspendidas (Fig. 12 A). Ambos

reactivos fueron tratados por sonicación para eliminar burbujas de aire que pudieran afectar la precisión y estabilidad del análisis cromatográfico.

Se utilizó un patrón de ácido ascórbico de 0,017 g/25 mL, el cual permitió establecer la respuesta del detector y garantizar la fiabilidad y exactitud de los resultados obtenidos en cada corrida de muestra.

La separación cromatográfica se realizó empleando un cromatógrafo líquido de alta eficacia (HPLC) Shimadzu (Tokio, Japón) provisto de bombas LC-20 AT y LC-10 AT, con detector UV-VIS SPD10A y detector de arreglo de diodos (DAD) SPD-M20A, provisto de una columna Hypersil ODS C18 (250 mm x 4,6 mm) con un tamaño de partícula de 5 μ m (Fig. 12 D). El sistema de elución, previamente descrito, utilizó agua bidestilada acidificada como fase móvil y metanol puro de grado HPLC como solución de lavado. El análisis se llevó a cabo bajo un método isocrático, con un flujo constante del solvente de 0,8 mL/min. La detección se realizó mediante un detector de arreglo de diodos (DAD), con un máximo de absorción específico para el AA a 245 nm. Antes de iniciar las corridas, se permitió la estabilización de la columna durante al menos 10 minutos, asegurando así la reproducibilidad y fiabilidad de los resultados obtenidos. El tiempo total de corrida fue de 10 minutos, manteniendo un control preciso de las presiones a lo largo del análisis para garantizar la estabilidad del sistema.

Se inyectaron manualmente 20 μ L de muestra y patrón por duplicado (volumen del loop), los cuales fueron conducidos a través de la columna de fase reversa para la separación y detección del AA. Se incluyó una corrida adicional de la muestra enriquecida con el patrón. Este procedimiento tuvo como objetivo asegurar la exactitud y consistencia de los resultados obtenidos, a fin de observar si se producía un incremento en la intensidad de la señal.



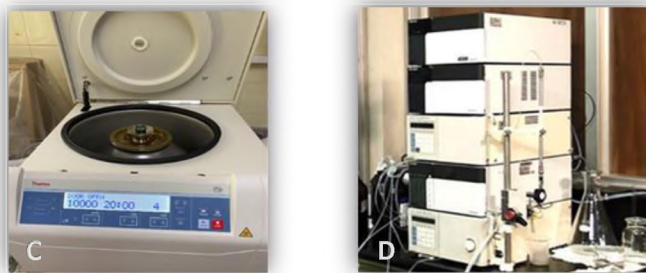


Figura 12. *Proceso de determinación de ácido ascórbico mediante HPLC.*

A) Filtración al vacío de la fase móvil y del metanol. B) Preparación de la muestra hasta consistencia de puré. C) Centrifugación termostatzada a 4 °C. D) Equipo cromatográfico HPLC utilizado en el análisis.

Análisis Sensorial

El análisis sensorial de un producto puede llevarse a cabo mediante diversas pruebas para estudiar las características perceptuales del producto. Para evaluar los cladodios de *Opuntia* cocidos, se diagramaron tres pruebas. En primer lugar, se realiza un análisis descriptivo, en el que un panel de 8 a 10 evaluadores entrenados valora las muestras presentadas en bandejas codificadas con tres dígitos y ordenadas aleatoriamente. Los descriptores seleccionados son color, aspecto general, sabor y aroma, y se asigna un puntaje en una escala estructurada para cada uno según su percepción de cada atributo. A continuación, se lleva a cabo un ordenamiento por preferencias, en el cual se presentan las muestras a los evaluadores y se les solicita que las clasifiquen según su preferencia personal, lo que permite obtener una evaluación comparativa de las muestras en función del gusto de los participantes. Además, se realiza un ensayo de aceptabilidad, en el que se reclutan aproximadamente 120 personas para evaluar el grado de aceptación o rechazo de las muestras. A cada participante se le provee de las muestras de *Opuntia* cocidas por los diferentes métodos y se les solicita que expresen su nivel de aceptación o rechazo hacia el producto, permitiendo obtener una visión general de la respuesta del consumidor ante el producto. Finalmente, se utiliza el método CATA (Check All That Apply), que consiste en entregar a los consumidores una lista de descriptores previamente seleccionados según las características del producto. Los consumidores marcan los atributos que consideren más adecuados para describirlo, sin límite en la cantidad de palabras seleccionadas. Este enfoque permite obtener una evaluación detallada de las características sensoriales del producto desde diferentes perspectivas.



Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados mediante ANOVA aplicando el test LSD para establecer las diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) utilizando el software INFOSTAT versión estudiantil 2020 (Di Rienzo et al., 2011).

Los extractos se prepararon por duplicado, y todas las determinaciones efectuadas se hicieron al menos por duplicado.

3. Resultados y discusión

Color superficial

Los resultados de la medida del color superficial de los cladodios de *Opuntia* obtenidos a través de diferentes métodos de cocción se presentan en la Tabla 1. Estos parámetros permiten observar cómo los tratamientos térmicos afectan a las características visuales del producto.

Los análisis estadísticos realizados mostraron que el tratamiento térmico provocó cambios significativos en los atributos de color de los cladodios ($p \leq 0,05$). En general, se observó que los valores de luminosidad (L^*), la coordenada cromática $+b^*$ (amarillo), la saturación (C^*) y el ángulo de matiz (h°) disminuyeron tras la cocción en comparación con la muestra fresca, lo que indica un oscurecimiento del producto, una pérdida de los tonos amarillos y una menor saturación de los colores originales. Por el contrario, la coordenada cromática $-a^*$ (verde) mostró un incremento significativo, lo que sugiere una disminución del tono verde después del tratamiento térmico (Fig. 13). Los cambios observados reflejan un efecto del tratamiento térmico en la apariencia visual del producto, destacando modificaciones en los tonos y la saturación del color característico de los cladodios frescos. De igual manera, Ramírez-Moreno et al. (2013) informaron disminución de L^* e incremento de a^* en dos variedades de *Opuntia ficus-indica* cocidas por hervor, aunque, contrariamente a lo observado en este trabajo, el parámetro b^* aumentó. E infieren que estos cambios podrían deberse a ácidos orgánicos liberados al medio, los cuales modifican el pH propiciando la formación de feofitinas.

El análisis de la diferencia de color (ΔE^*) según el método de cocción empleado reveló variaciones notables en la apariencia visual de las muestras. De acuerdo con la escala de percepción del color propuesta por Limbo y Piergiovanni (2006), la mayoría de los tratamientos presentaron valores que se sitúan en los rangos de "fuerte diferencia" ($6 < \Delta E < 12$) o "colores diferentes" ($\Delta E > 12$) (Fig. 13), lo que evidencia un efecto significativo de los tratamientos térmicos en la pérdida o modificación de las tonalidades originales.



En conjunto, los valores de ΔE^* obtenidos confirman que el tratamiento térmico genera cambios perceptibles en las características visuales del alimento. Investigaciones previas han subrayado que las condiciones específicas de cada método de cocción, como la exposición al calor directo o la transferencia de calor por convección, influyen significativamente en la percepción del color, un atributo clave para garantizar la aceptación sensorial de los productos procesados (Costa Luengo, 2022).

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros de color (L^* , a^* , b^* , ΔE^* , C^* y h°) de los cladodios de *Opuntia* frescos y cocidos por diferentes métodos.

Método de cocción		Parámetros de color					
		L^*	a^*	b^*	ΔE^*	C^*	h°
Muestra Fresca		55,38 ^{cd}	-12 ^a	16,54 ^d	-	20,44 ^d	-0,94 ^b
Microondas	3' s/e*	50,23 ^d	-2,28 ^b	14,09 ^b	10,62 ^a	14,29 ^b	-1,4 ^{ab}
	5' s/e	46,76 ^b	-0,95 ^{ef}	13,03 ^{ab}	12,46 ^c	13,07 ^{ab}	-1,50 ^a
	3' c/e**	47,30 ^b	-0,88 ^f	14,66 ^{bc}	11,94 ^{bc}	14,69 ^{bc}	-1,51 ^a
	5' c/e	48,06 ^{bc}	-0,39 ^g	13,91 ^{ab}	12,47 ^c	13,92 ^{ab}	-1,02 ^b
Asado	s/e	51,04 ^{de}	-1,72 ^{cd}	16,01 ^{cd}	10,83 ^a	16,10 ^c	-1,46 ^a
	c/e	52,37 ^e	-1,17 ^{ef}	12,71 ^a	11,14 ^{ab}	12,77 ^a	-1,48 ^a
Freído	en aire	49,80 ^f	-1,76 ^c	16,14 ^{cd}	12,35 ^c	16,26 ^c	-1,46 ^a
	con aceite	50,95 ^{de}	-1,31 ^{de}	13,82 ^{ab}	11,84 ^{bc}	13,88 ^b	-1,48 ^a
Hervido		44,70 ^a	-1,21 ^{ef}	13 ^{ab}	12,01 ^c	13,06 ^{ab}	-1,48 ^a

*s/e (sin escaldado), **c/e (con escaldado). Medias con una misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$).

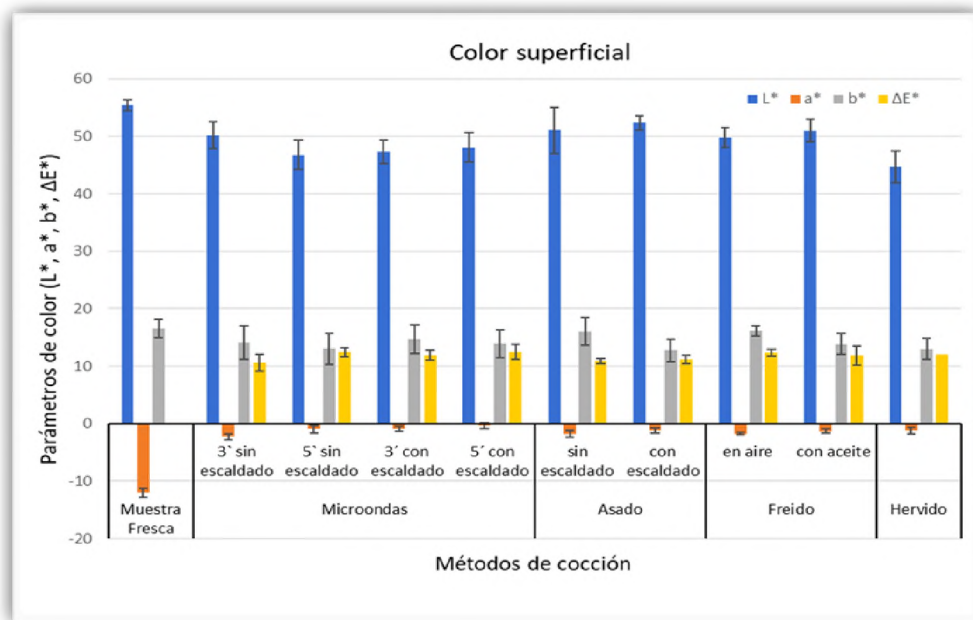


Figura 13. Parámetros de color CIELAB (L^* , a^* , b^*) y diferencia de color (ΔE^*) de los cladodios de *Opuntia*, según los métodos de cocción aplicados.

Cuantificación de Clorofila

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos para el contenido de clorofilas a, b y total en los cladodios de *Opuntia*, tanto en su estado fresco como después de someterlos a diferentes métodos de cocción. La tabla permite observar cómo los diferentes tratamientos térmicos afectan los niveles de clorofila en las muestras, lo que es relevante para evaluar los cambios en la calidad nutricional y visual del producto.

Se observó que los diferentes métodos de cocción afectaron significativamente el contenido de clorofilas en los cladodios de *Opuntia*, según los análisis estadísticos realizados. En general, el tratamiento térmico provocó una disminución en los niveles de clorofila total en comparación con la muestra fresca, con porcentajes de pérdida comprendidos entre 14 y 50%, lo que sugiere que la cocción contribuye a la degradación de los compuestos clorofílicos. Además, analizando los valores obtenidos para cada método de cocción, se observó que la reducción de clorofila total fue más pronunciada en algunos tratamientos que en otros, siendo la cocción por freído en aire la que presentó mayor retención, mientras que las cocciones por microondas (3', s/e) y asado (s/e) fueron las que presentaron mayor pérdida.

Tabla 2. Contenido de clorofilas a, b y total ($\mu\text{g/g}$) en cladodios de *Opuntia* frescos y cocidos por diferentes métodos.

Método de cocción		Contenido de clorofila		
		Clorofila a ($\mu\text{g/g}$)	Clorofila b ($\mu\text{g/g}$)	Clorofila total ($\mu\text{g/g}$)
Muestra Fresca		88,87 ^d	23,41 ^d	112,27 ^f
Microondas	3' s/e*	47,99 ^a	7,29 ^{abc}	55,28 ^a
	5' s/e	60,53 ^b	5,50 ^a	66,02 ^{bc}
	3' c/e**	66,12 ^{bc}	6,67 ^{abc}	72,79 ^{cd}
	5' c/e	67,04 ^{bc}	6,46 ^{ab}	73,50 ^{cd}
Asado	s/e	51,81 ^a	4,89 ^a	56,70 ^{ab}
	c/e	65,77 ^{bc}	6,24 ^{ab}	72,01 ^{cd}
Freído	en aire	86,84 ^d	9,18 ^c	96,02 ^e
	con aceite	67,02 ^{bc}	5,89 ^{ab}	72,91 ^{cd}
Hervido		72,96 ^c	8,34 ^{bc}	81,30 ^d

*s/e (sin escaldado), **c/e (con escaldado). Medias con una misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$).

El análisis de los valores de clorofila a y b mostró diferencias significativas entre los métodos, algunos tratamientos generaron una mayor retención de clorofila que otros. Respecto a clorofila a, la cocción por freído en aire no mostró diferencias significativas respecto a la muestra fresca; los cladodios cocidos por hervor experimentaron menor pérdida, seguido por microondas (5', c/e) y freído en aceite, siendo las variaciones inducidas por todos los métodos entre 2 y 46%. En cuanto a clorofila b, la mayor retención se obtuvo en la cocción por freído en aire; en cuanto a la degradación o pérdida, no se evidenciaron diferencias significativas entre varios de los métodos de cocción (Tabla 2), con porcentajes de pérdida que superaron el 60%. Del análisis estadístico realizado, se desprende que ciertos métodos de cocción, aunque producen variaciones en el contenido de clorofila, no difieren sustancialmente entre sí, como es el caso de las cocciones por microondas durante 3 y 5 minutos con escaldado previo, freído con aceite y hervido. Estos resultados son clave para entender cómo los diferentes procesos térmicos pueden afectar la calidad nutricional y visual de los cladodios, especialmente en productos procesados, para los cuales se busque preservar sus características clorofílicas.

Este análisis destaca la importancia de seleccionar el método de cocción adecuado para maximizar la retención de nutrientes como la clorofila, contribuyendo a la mejor conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales del producto. De manera similar, estudios previos han mostrado que la disminución de clorofilas a y b por cocción depende no solo del método aplicado, sino también del tipo de vegetal. Turkmen et al. (2006) evaluaron los efectos de tres métodos de cocción (hervido, microondas y vapor) en seis vegetales verdes, reportando pérdidas de clorofila a entre 9% y 81% y de clorofila b entre 20% y 61%. Ambos pigmentos se degradan mayoritariamente a feofitinas a y b, respectivamente.

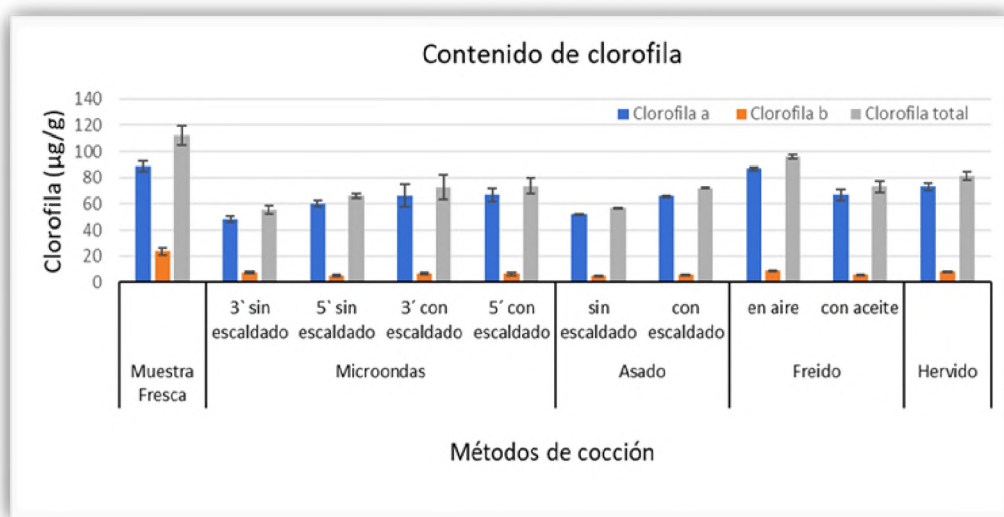


Figura 14. Concentraciones de clorofila a, b y total (µg/g) en cladodios de *Opuntia*, según los métodos de cocción aplicados.

Cuantificación de pigmentos carotenoides

Los resultados obtenidos para el contenido de carotenoides en los cladodios de *Opuntia* fresco y después de someterlos a los diferentes métodos de cocción se detallan en la Tabla 3.

El contenido de carotenoides determinado en el cladodio fresco fue mayor que el reportado por Du Toit (2013), quien informó contenidos de carotenos entre 6,72 a 18,15 µg/g de tejido fresco para 7 cultivares de *Opuntia ficus-indica* y uno de *Opuntia robusta*, provenientes del distrito de Bloemfontein (Estado Libre, República de Sudáfrica).

Tabla 3. Contenido de pigmentos carotenoides ($\mu\text{g/g}$) de los cladodios de *Opuntia* frescos y cocidos por diferentes métodos.

Método de cocción		Carotenoides ($\mu\text{g/g}$)
Muestra Fresca		45,25 ^e
Microondas	3' s/e*	37,34 ^d
	5' s/e	25,68 ^{ab}
	3' c/e**	35,34 ^{cd}
	5' c/e	33,52 ^{cd}
Asado	s/e	22,83 ^{ab}
	c/e	23,18 ^{bc}
Freído	en aire	39,59 ^{cd}
	con aceite	29,92 ^{bc}
Hervido		21,66 ^a

*s/e (sin escaldado), **c/e (con escaldado). Medias con una misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$).

Los análisis estadísticos realizados mostraron que el contenido de carotenoides en los cladodios de *Opuntia* disminuyó significativamente al someterlo a los diferentes métodos de cocción en comparación con la muestra fresca, aunque no se observaron diferencias significativas entre la mayoría de los métodos de cocción aplicados ($p \leq 0,05$). Las pérdidas más considerables se observaron en los tratamientos de hervido y asado, donde se redujo a más de la mitad del contenido inicial, mientras que los métodos de microondas y freído en aire fueron los que generaron menores pérdidas. A diferencia de lo hallado en este estudio, González-Cruz et al. (2018) observaron un comportamiento aleatorio respecto al efecto de la temperatura, el tiempo y el tipo de tratamiento térmico sobre la extracción de carotenoides, e indicaron que los métodos de asado y freído incrementaron la extracción de carotenoides en comparación con la muestra fresca, debido a que la temperatura favorece la ruptura de complejos proteína-carotenoide, la disminución de interacciones mucílago-carotenoide y la desestructuración de tejidos. Estas discrepancias podrían deberse a diferencias en las características de los tejidos, las condiciones de cocción o de análisis empleadas.

En concordancia con el estudio de Meléndez-Martínez et al. (2004), se observó que el hervido es el tratamiento que provoca la mayor reducción de carotenoides, ya que aceleraría la oxidación debido a la exposición al agua y al calor, lo que resulta en una pérdida significativa de los pigmentos. Estos resultados refuerzan la conclusión del estudio de que la interacción entre el calor, el oxígeno y el agua favorece la degradación de los carotenoides. Además, otros métodos como el asado y el microondas (5', s/e) también mostraron pérdidas de magnitud similar a las del hervido, lo que podría estar relacionado con la exposición prolongada al calor, favoreciendo la degradación de los carotenoides por oxidación.

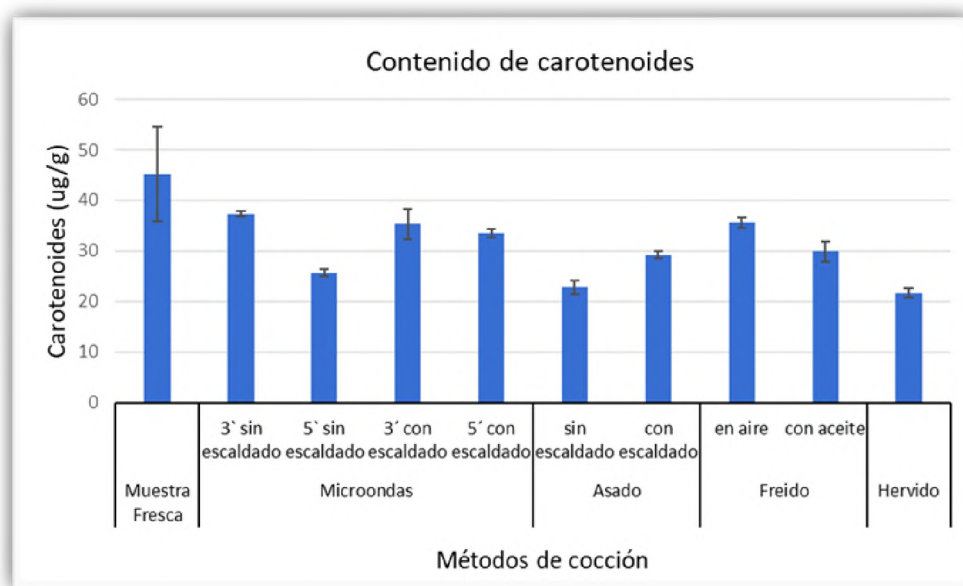


Figura 15. Promedios de las concentraciones de carotenoides ($\mu\text{g/g}$) en los cladodios de *Opuntia*, en función de los métodos de cocción aplicados.

Determinación de Ácido Ascórbico

Los resultados obtenidos del análisis por HPLC para la determinación de ácido ascórbico (AA) en la muestra fresca de *Opuntia* se muestran en los siguientes cromatogramas obtenidos a 245 nm (figuras 16 a 19), los cuales corresponden a la muestra fresca de *Opuntia*, patrón estándar de ácido ascórbico, muestra adicionada con el patrón y una superposición de los cromatogramas de la muestra y el patrón estándar, respectivamente. A pesar de que otros estudios, como el de Ramírez-Moreno et al. (2013), documentan la presencia de ácido ascórbico en los cladodios de *Opuntia*, en este análisis no fue posible detectarlo. En la Fig.19, mediante el solapamiento de cromatogramas, se observa la ausencia total del pico característico del ácido ascórbico en la

muestra analizada lo cual podría ser resultado de varios factores, como la variabilidad genética, la degradación del compuesto durante el manejo postcosecha, las condiciones de almacenamiento o la sensibilidad del ácido ascórbico a factores ambientales como la exposición al oxígeno o la luz. Además, es posible que las condiciones analíticas empleadas, como el método de extracción o los parámetros cromatográficos seleccionados, hayan influido en los resultados.

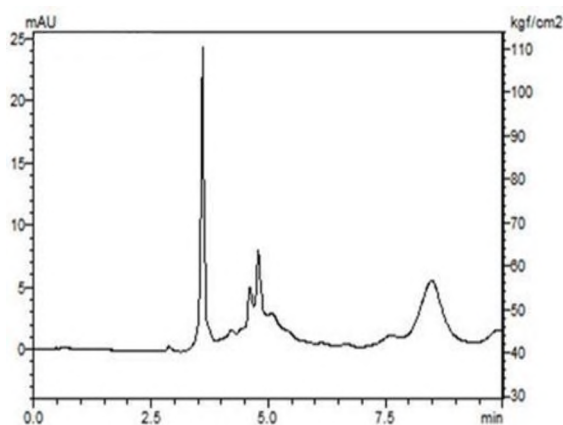


Figura 16. Cromatograma a 245 nm de la muestra fresca.

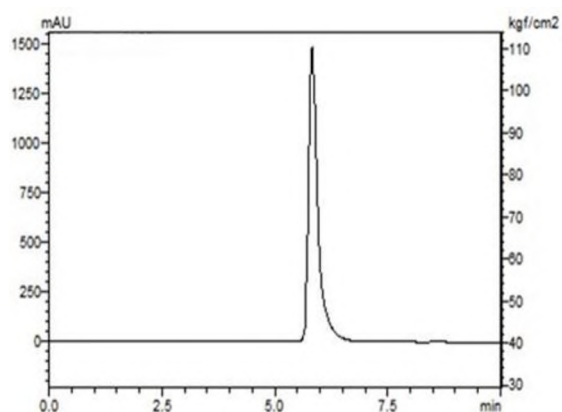


Figura 17. Cromatograma a 245 nm del patrón de ácido ascórbico de 0,017 g/25

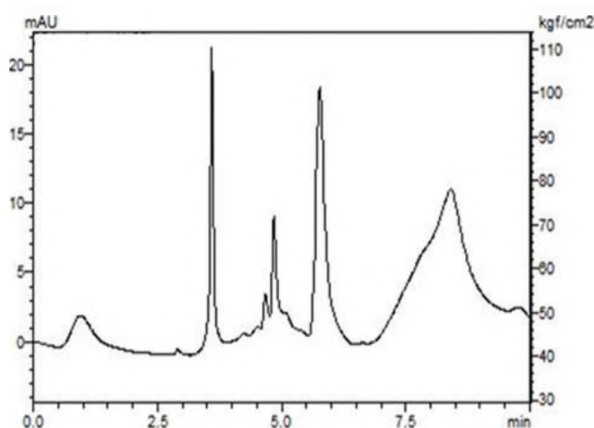


Figura 18. Cromatograma a 245 nm de la muestra enriquecida con el patrón de AA.

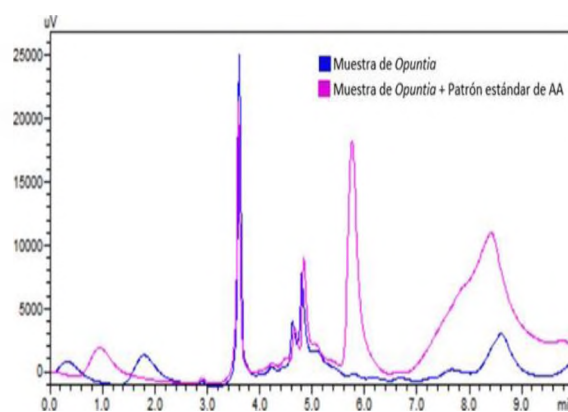


Figura 19. Solapamiento de cromatogramas a 245 nm.

Análisis sensorial

Las pruebas planeadas y diagramadas para evaluar sensorialmente los cladodios de *Opuntia* cocidos no fueron realizadas debido a imprevistos que derivaron en la falta del material vegetal necesario.



4. Conclusión

Este trabajo de Práctica Optativa me ha permitido desarrollar competencias en áreas como la investigación, la Tecnología y la Bioquímica de los Alimentos, mediante el análisis de las pencas de *Opuntia*, con un enfoque en su valor nutricional y la puesta a punto de diversas técnicas de cocción. A través del uso de equipos especializados de alta precisión, como el colorímetro, el espectrofotómetro y el HPLC, adquirí experiencia en su manejo y comprendí los fundamentos analíticos detrás de su funcionamiento; como así también en el análisis estadístico de los datos, mediante el uso del programa Infostat, y la posterior interpretación de los datos. Las técnicas empleadas permitieron evaluar cómo los tratamientos térmicos impactan en las propiedades del alimento, particularmente en el color y los pigmentos fotosintéticos, como las clorofilas y los carotenoides. La interpretación de los resultados mediante software estadístico evidenció cómo los tratamientos térmicos afectan significativamente los parámetros de color, con variaciones notables en luminosidad, saturación y tonalidades. Estos cambios están relacionados con la degradación de los pigmentos, compuestos que son sensibles al calor y cuya descomposición se intensifica bajo ciertos tratamientos térmicos. En cuanto a la vitamina C, no se logró su identificación, lo que resalta la necesidad de optimizar tanto las condiciones de extracción como los métodos analíticos empleados para su detección.

Considerando los resultados obtenidos de contenido de clorofilas a, b y total y de carotenoides, podríamos concluir que el método de cocción más adecuado para preservar el valor nutricional de las pencas de *Opuntia* sería el freído en aire. Este método mostró una mayor retención de estos compuestos bioactivos y una menor diferencia respecto a la muestra fresca. Asimismo, evidenció una buena conservación del color.

Sin embargo, las pencas cocidas bajo las diferentes condiciones de microondas también arrojaron buenos resultados en cuanto al contenido de los compuestos bioactivos analizados. Y si bien, como fuera mencionado anteriormente, quedó pendiente la ejecución del análisis sensorial, las observaciones realizadas de manera preliminar evidenciaron un mejor aspecto general de los cladodios cocidos por microondas.

En conclusión, los cladodios de *Opuntia* presentan un notable potencial como fuente de compuestos bioactivos, a pesar de las variaciones provocadas por los tratamientos térmicos. Estos resultados sugieren que, optimizando las técnicas de cocción, los cladodios se perfilan como una opción valiosa en la dieta, preservando tanto sus beneficios nutricionales como sus características sensoriales. Además, es fundamental investigar los factores que afectan la estabilidad de los



compuestos bioactivos durante el proceso térmico, con el objetivo de minimizarlos para favorecer su preservación.

5. Referencias

- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1). <http://dx.doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Arteaga Dalgo, M., Andrade Cuví, M. J., y Moreno Guerrero, C. (2014). Relación del desarrollo del color con el contenido de antocianinas y clorofila en diferentes grados de madurez de mortiño (*Vaccinium floribundum*). *Revista Científica Yachana*, 3(2), 14–25.
- Aruwa, C.E., Amoo, S. O., Kudanga, T. (2018). *Opuntia* (Cactaceae) plant compounds, biological activities and prospects – A comprehensive review. *Food Research International*, 112, 328344. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.047>
- Badui Dergal, S. (1990). *Química de los alimentos* (2ª ed.). Editorial Alhambra Mexicana.
- Costa Luengo, G. A. (2022). *Evaluación del efecto de diferentes métodos de cocción sobre el contenido de β -caroteno en zanahorias, folatos en espárragos y sus propiedades físicas* [Tesis de maestría, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Santiago de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/188465/Evaluacion-del-efecto-de-diferentes-metodos-de-coccion-sobre-el-contenido-de-%ce%b2-caroteno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Davies, B. H., Matthews, S., y Kirk, J. T. O. (1969). The nature and biosynthesis of the carotenoids of different colour varieties of *Capsicum annuum*. *Biochemical Journal*, 603, 591.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2011). InfoStat. Grupo Infostat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Du Toit, A. (2013). *Antioxidant content and potential of fresh and processed cladodes and fruit from different coloured cactus pear (*Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta*) cultivars* [Tesis de maestría, Universidad del Estado Libre, Facultad de Ciencias Naturales y Agrícola. Bloemfontein Sudáfrica].
- González-Cruz, L., Hernández-Castillo, J.B.E., Juárez-Goiz, J.M.S., Flores-Martínez, N.L. y Bernardino-Nicanor, A. (2018). Efecto del tratamiento térmico tradicional sobre la actividad antioxidante y contenido de carotenoides de los nopalitos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(3), 823-833.



- Guzmán Loayza, D. y Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(1), 41-45.
- Gral, C. R. y Pasotti, N. S. (2006). Espectrofotometría visible – ultravioleta. Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura, UNNE.
- Hernández-Becerra, E., Aguilera-Barreiro, M. de los A., Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., y Rodríguez-García, M. E. (2022). Nopal cladodes (*Opuntia ficus indica*): Nutritional properties and functional potential. *Journal of Functional Foods*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105183>
- Hernández-Castillo, JBE, Bernardino-Nicanor, A, Juárez-Goiz, JMS y González-Cruz, L. (2016). Determinación de los cambios originados por los procesos de asado y freído del nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) sobre la concentración de carotenoides, fenoles totales y la actividad antioxidante. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 526-531.
- Hernández Alarcón, E. (2005). *Evaluación sensorial*. Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogotá DC, Colombia.
- Huamán Rosales, E. R. (2022). Capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C en frutos frescos y liofilizados de tres variedades de fruto de tuna (*Opuntia ficus indica*) [Tesis de grado, Universidad Nacional José María Arguedas, . Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Andahuaylas, Perú].https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/661/Edith_Rosaluz_Tesis_Bachiller_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hurtado Ulloa, N. I. (2017). Comparación entre metodologías analíticas por HPLC con detectores de arreglo de diodos y fluorescencia para la determinación de eritromicina en plasma de salmónidos [Tesis de Grado. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2017/fch967c/doc/fch967c.pdf>
- Jaico Varas, S. M. (2024). *Estudio comparativo de los resultados obtenidos con el test de visión del color Farnsworth-Munsell 100-Hue y la versión digital desarrollada en la FOOT* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Cataluña].
- Kiesling, R., Saravia, M., Oakley, L., Muruaga, N., Metzing, N., y Novara, L. (2012). *Cactaceae*. 10(7). <http://eprints.natura.unsa.edu.ar/424/1/CACTACEAE.pdf>
- Konica Minolta Sensing, Inc. (2007). *Color communication: Concept and measurement*. Konica Minolta. https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf



- Konica Minolta Sensing Americas, Inc. (2006-2023). *Entendiendo el espacio de color CIE Lab*. Konica Minolta. <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-colorcie-lab/>
- Lichtenthaler, H. K. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382).
- Limbo, S., y Piergiovanni, L. (2006). Shelf life of minimally processed potatoes. Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. *Postharvest Biology and Technology*, 39(3), 254–264.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.10.016>
- Martins, T., Barros, A. N., Rosa, E., y Antunes, L. (2023). Enhancing Health Benefits through Chlorophylls and Chlorophyll-Rich Agro-Food: A Comprehensive Review. *Molecules*, 28(14), 5344. <https://doi.org/10.3390/molecules28145344>
- Meléndez-Martínez, A. J., Vicario, I. M., y Heredia, F. J. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 54(2), 209-215. Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Ramírez-Moreno, E., Córdoba-Díaz, D., Sánchez-Mata, M de C., Díez-Marqués, C. y Goñi, I. (2013). Effect of boiling on nutritional, antioxidant and physicochemical characteristics in cladodes (*Opuntia ficus indica*). *LWT - Food Science and Technology*, 51(1), 296–302.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.005>
- Sacristán San Cristóbal, M., Díaz Peña, E. M., Alarcón Agualeles, B., Córdoba, C. V., y Legaz González, M. E. (2011). Curso de cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC): Prácticas de laboratorio y cuestiones teórico-prácticas. Parte III. Práctica de laboratorio: optimización en la separación de compuestos semejantes mediante modificación de la fase móvil. *Reduca (Biología)*, 4(3), 48-78.
- Sgroppo, S.C.; Pereyra, M.V. (2009). Using mild heat treatment to improve the bioactive related compounds on fresh-cut green bell peppers. *International Journal of Food Science and Technology*. 44, 1793–1801. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.01998.x
- Talens Oliag, P. (2017). *Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB*. Departamento Tecnología de Alimentos, Centro Universitat Politècnica de Valencia.
- Turkmen, N., Poyrazoglu, E. S., Sari, F. y Velioglu, Y. S. (2006). Effects of cooking methods on chlorophylls, pheophytins and colour of selected green vegetables. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(3), 281–288. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.01061.x



- Wittig Rovira, E. (2001). *Evaluación sensorial: Una metodología actual para tecnología de alimentos*. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121431>